

環境に配慮した地域づくり施策評価モデル構築に関する研究

2005年 12月

国土交通省 国土交通政策研究所

前研究調整官 瀬本 浩史

研究調整官 山田 哲也

前研究官 高森 秀司

前研究官 江岡 幸司

研究官 森山 弘一

はじめに

本研究は、以前の研究（「都市環境施策の社会的・経済的影響の定量評価に関する研究」）による、3つの評価モデル（環境負荷、生活の質、経済）を用いて行った都市環境施策の総合評価の成果を踏まえ、以前の研究では対象としていなかった自然環境に関わる効果を考慮に加え、自然環境および都市環境を対象とする地域づくり施策が自然および都市活動に与える影響、さらに相互の関係を評価する「地域づくり施策評価モデル」の開発を行ったものである。

本研究の実施にあたっては、「環境に配慮した地域づくり施策評価モデル構築に関する研究会」を設置し、下記の先生方にご指導をいただいた。ここに感謝の意を表する。

谷口 守（岡山大学 環境理工学部 環境デザイン工学科 教授）
兵藤 哲朗（東京海洋大学 海洋工学部 流通情報工学科 助教授）
吉田 朗（東北芸術工科大学 デザイン工学部 環境デザイン学科 助教授）
武藤 慎一（大阪工業大学 工学部 都市デザイン工学科 講師）

なお、本報告書については事実の誤認や不十分な理解などお気づきの点があれば、ご指摘いただければ幸いです。

2005年 12月

国土交通省 国土交通政策研究所

前研究調整官 瀬本 浩史
研究調整官 山田 哲也
前研究官 高森 秀司
前研究官 江岡 幸司
研究官 森山 弘一

本研究の要旨

1. 「地域づくり施策評価モデル」の開発方針

本研究では、交通施策、土地利用施策、民生施策、水環境施策が、交通行動および都市構造に与える影響を予測するための都市活動モデルを構築し、その結果を環境負荷、生活の質、経済、水環境の指標により定量的に評価するための、地域づくり施策評価モデルを開発する。本章では、モデルの開発方針を検討した。対象地域は、仙台都市圏である。

2. 水環境モデルの開発

本研究で開発するモデルを構成する要素モデルである水環境モデルを開発した。水環境モデルは、土地利用施策や上下水道整備が水循環に与える影響を予測し、その結果を、河川の水量、水質により評価するモデルである。

3. 交通モデルの開発

本章では、まず、海外における交通・土地利用モデルの研究をレビューし、本研究で開発する交通モデルの開発方針を検討した。次に、パーソントリップ調査データを用い、詳細なゾーン区分での予測が可能な交通モデルを構築した。

4. 経済モデルの開発

本研究で開発するモデルを構成する要素モデルである経済評価モデルを開発した。経済評価モデルは、人口分布を内生的に予測する応用一般均衡モデルである。

5. 生活の質モデルの開発

市民の視点からの施策評価を行うため、アンケート調査データを用い、生活の質評価モデルを開発した。生活の質評価モデルは、地区の客観的なデータから、利便性、安全性等の主観的な指標を予測する共分散構造モデルである。

6. 地域づくり施策の総合評価

本研究で開発した、地域づくりのための施策評価モデルを用い、交通施策、土地利用施策、民生施策、水環境施策による影響を総合的に評価した。総合評価は、評価指標の一覧表とレーダーチャートを用いて行った。

7. 研究成果と課題

本研究において開発した地域づくりのための施策評価モデルの成果と、研究上の課題を整理した。

キーワード：環境負荷、水環境モデル、交通モデル、応用一般均衡モデル、総合評価

Summary

Chapter 1 Policy of Evaluation Model Development for Regional Planning measures

We formulate urban activity model, which forecasts effects on travel behaviors and urban structures by the measures concerning transportation, land use, civilian and water environment. To appraise its results quantitatively, we develop the evaluation models to for measures of implementing the regional planning with indices of burdens on the environment, quality of life, economy, and water environment.

In this section, the policy of development models is drawn up in the object area of Sendai Metropolitan Area.

Chapter 2 Development of Water Environment Model

In this section, the water environment model, as one of the element models on our study, is developed. The water environment model is to forecast effects of land use measures or water & sewerage installations on hydrologic circulation, then to evaluate its results by quantity and quality of river water.

Chapter 3 Development of Transportation Models

In this section, firstly, the existing foreign researches on transportation and land use models are reviewed for the purpose in developing our policy of developing our transportation models. Secondly, the transportation models are developed to forecast by minute zoning segment generated from the data based on Person Trip Survey.

Chapter 4 Development of Economic Evaluation Models

The economic evaluation model as one of the element models on our study is developed in this section. It is an applied general equilibrium model to forecast population distribution endogenously.

Chapter 5 Development of Quality of Life (QOL) Evaluation Models

In terms of evaluating measures from the viewpoint of general citizens, the QOL model is developed from the data of inquiry survey. This is a covariance structure model to forecast subjective indices such as convenience and safety from objective data at the area.

Chapter 6 Comprehensive Evaluation of Regional Development Measures

Finally, we comprehensively evaluate the effects of the measures concerning transportation, land use, civilian and water environment with the overall application of the developed models in this study. For the comprehensive evaluation, we use both the evaluation list and the radar chart.

Chapter 7 Achievements and Issues

In this section, the outcome of the evaluation model and the issues on this study are sorted out.

Keywords : environmental burden, water environment model, transportation model, applied general equilibrium model, comprehensive evaluation

目 次

第1章「地域づくり施策評価モデル」の開発方針	
1 - 1 . 研究方針	1
1 - 2 . モデルの全体設計	5
1 - 3 . 評価ケースの設定	11
第2章 水環境モデルの開発	
2 - 1 . 水環境モデルの開発方針	13
2 - 2 . 既往研究の整理	15
2 - 3 . データの収集・加工	19
2 - 4 . 水環境モデルの構築	36
2 - 5 . シミュレーション結果	62
2 - 6 . 今後の課題	89
第3章 交通モデルの開発	
3 - 1 . 交通モデル研究の方向性	91
3 - 2 . 交通モデルの改良方針	123
3 - 3 . 交通モデルの構築	125
3 - 4 . シミュレーション結果	131
3 - 5 . 今後の課題	138
第4章 経済モデルの開発	
4 - 1 . 経済モデルの全体構成	139
4 - 2 . 経済モデルの構築	144
4 - 3 . 施策評価シミュレーション	155
4 - 4 . 今後の課題とまとめ	168
第5章 生活の質モデルの開発	
5 - 1 . 生活の質モデルの開発方針	171
5 - 2 . 既往研究のレビュー	174
5 - 3 . 生活の質に関するデータベースの作成	177
5 - 4 . モデル構築	198
5 - 5 . シミュレーションによる評価	201
5 - 6 . 今後の課題	212
第6章 地域づくり施策の総合評価	
6 - 1 . 評価方法	213
6 - 2 . 地域づくり施策の総合評価	215
第7章 研究成果と課題	223
参考文献	

第1章.

「地域づくり施策評価モデル」 の開発方針

第1章 「地域づくり施策評価モデル」の開発方針

1 - 1 . 研究方針

本研究では、以前の研究における成果を踏まえ、以下にあげる点を強化し、地域づくり施策を総合的に評価し、その結果を国土交通施策や自治体の施策に反映できるシミュレーションモデルを開発した。

(1) 研究目的

国土交通政策研究第 31 号「都市環境施策の社会的・経済的影響の定量評価に関する研究」においては、都市構造施策、交通施策、民生施策の効果を活動モデルにより表現し、3つの評価モデル（環境負荷、生活の質、経済）を用い多様な評価指標を算出し、都市環境施策の総合評価を行った。

この研究においては人や自動車、経済活動を対象としたが、持続可能な地域を形成していくためには、都市活動が自然環境に与える影響、自然環境から得られる効果など、相互の影響をとらえることが重要である。

そこで本研究においては、自然環境及び都市環境を対象とした地域づくり施策が、自然及び都市活動に与える影響、さらに相互の関係を評価する「地域づくり施策評価モデル」を開発することを目的とした。

表 1 - 1 評価の視点・対象施策

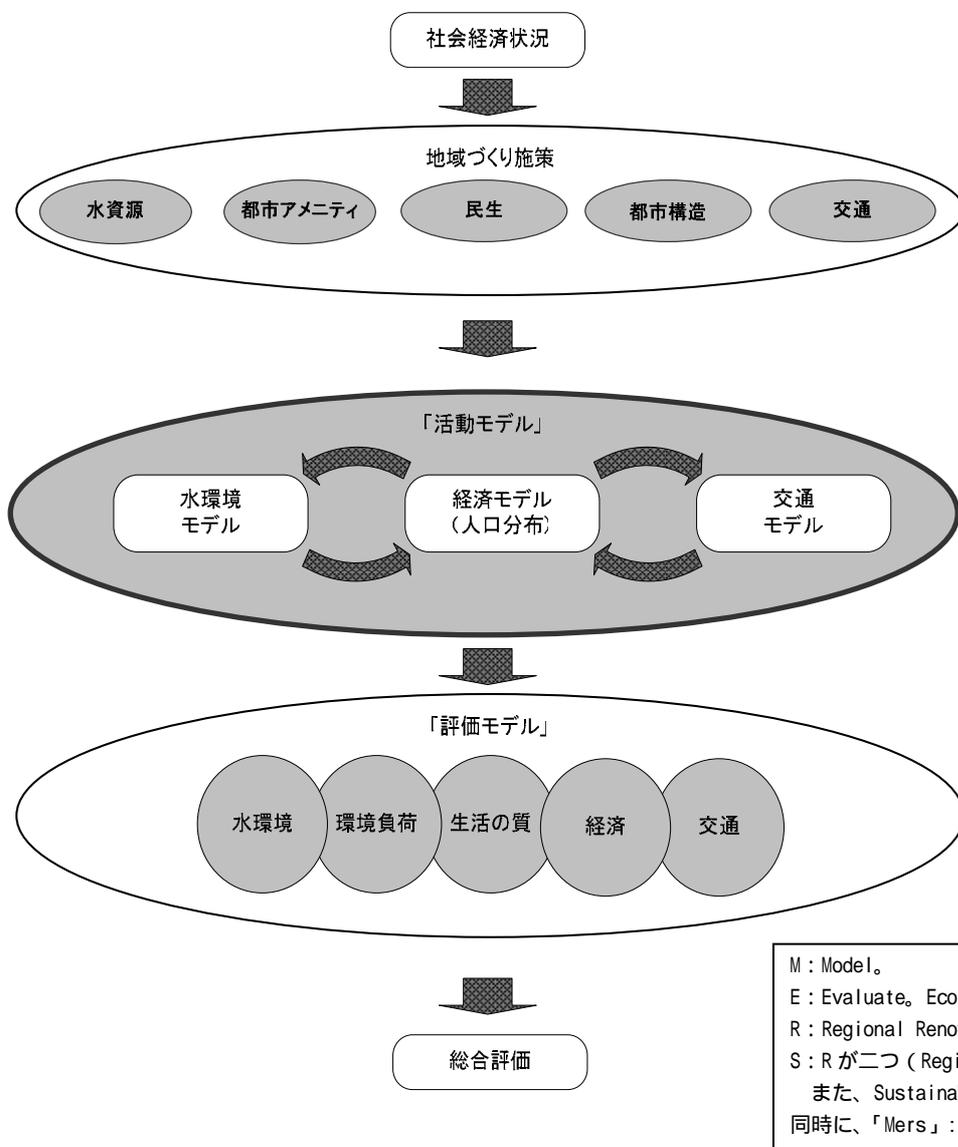
	評価の視点	対象施策
国土交通 政策研究 第 31 号	環境：地球環境、地域・地区の環境 生活の質 経済	【都市環境施策】 都市構造 交通（複数の施策パッケージとして） 民生
本研究	国、自治体の施策を基本に再整理 視点：暮らし、経済社会、安全、環境、 等	【地域づくり施策】 「国土交通省政策評価」の業績指標・ 主な施策、自治体の基本計画等を基本 に再整理 水環境等の地域資源に関連する施策 を追加

(2) モデルの全体構成

以前の研究におけるモデルは、都市活動を表現するため活動モデル（人口配置・交通モデル）を構築し、その結果を3つの評価モデル（環境、生活の質、経済）に入力し、環境負荷、生活の質、経済の視点から様々な指標を用い総合評価を行った。すなわち、都市域に関する施策について、都市活動を中心に評価を行ってきた。

本研究において評価対象とする地域づくり施策では、水環境等の地域資源についても扱うこととし、活動モデルに水環境モデルを加えることとした。さらに、人口配置については経済モデルに内生化するモデル構造とした。このように、本研究の活動モデルは、水環境モデル、経済モデル、交通モデルから成り、相互に関連を持ちながら都市活動を表現するものとした。

評価モデルとしては、3つの活動モデルの予測値を受け、水環境、環境負荷、生活の質、経済、交通の5つの視点から総合評価を行った。



MERS (Models to Evaluate Regional Renovation (for Sustainability))

図1 - 1 地域づくり施策評価モデル

(3) 対象地域

評価モデルは、先に構築した以前の研究のモデルを発展させて構築するため、対象都市圏は仙台都市圏とした。水環境モデルを構築する地域は、名取川・広瀬川流域とした。

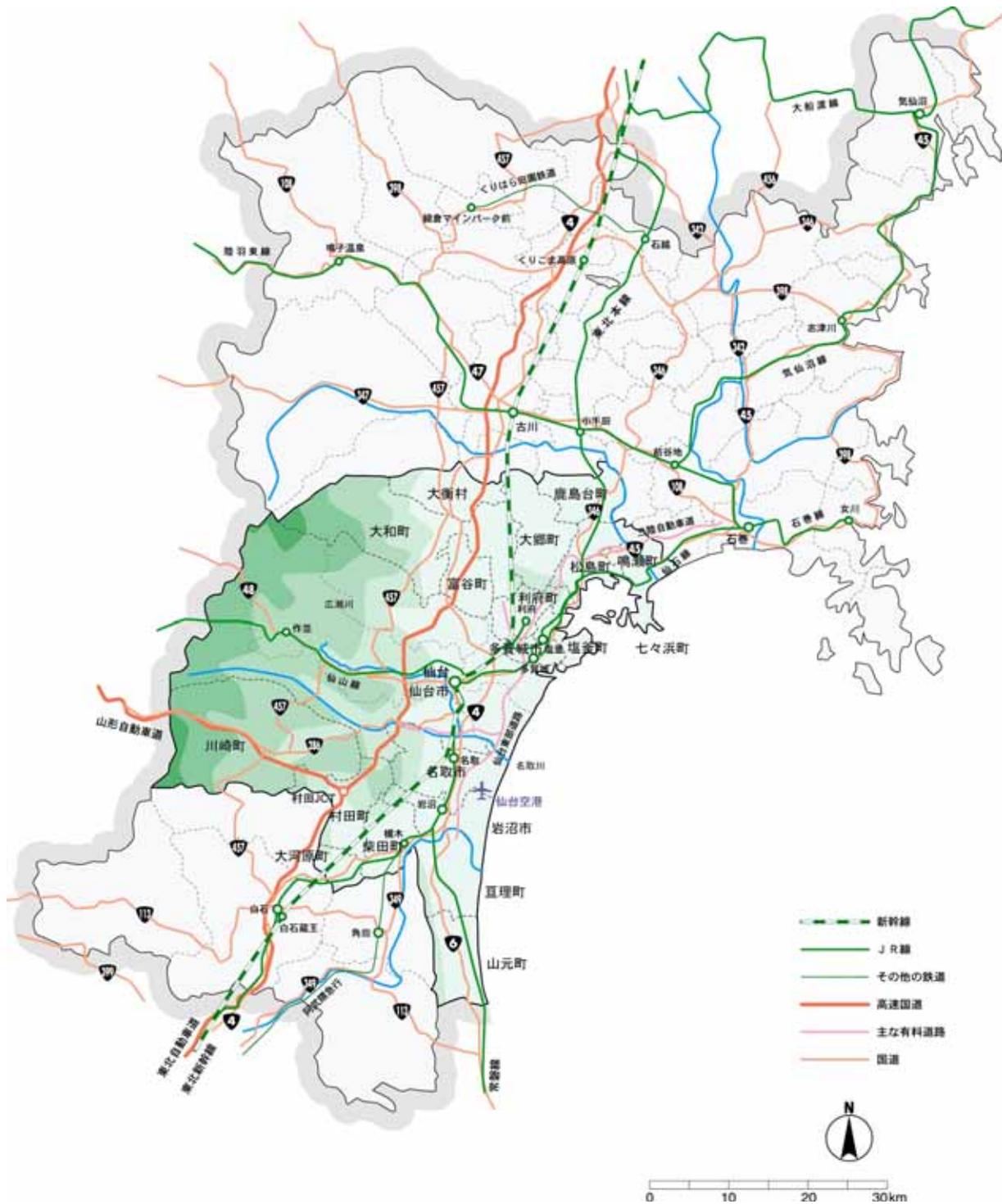


図1 - 2 仙台都市圏



■ 地域づくり施策

自然系施策： 治山 治水 土地利用

都市系施策： 都市構造 民生 交通



図1-3 施策評価のイメージ

1 - 2 . モデルの全体設計

(1) 地域づくり施策の設定

本研究において対象とする施策と要素モデルの関係は、下表に示すとおりである。

表 1 - 2 施策の整理

分類	区分	施策 以前の研究の施策 本研究の施策(追加)	施策を入力する 要素モデル	説明変数
土地利用 施策 (人口配 置)	趨勢型	トレンドの人口動向	土地利用・交通モデル	
	都心居住型	都心地域における家賃補助、密 集市街地の整備	土地利用・交通モデル	
	副都心型	従業人口を副都心に配分する ことによる職住近接	土地利用・交通モデル	
交通施策	道路ネットワーク	道路整備	土地利用・交通モデル	
	公共交通	鉄道・バスのサービス向上	土地利用・交通モデル	
	TDM	駐車容量のコントロール	土地利用・交通モデル	
	自動車	環境低負荷型の自動車	-	
民生施策	住宅	戸建て住宅から集合住宅への 住替え	環境負荷評価モデル(大 気拡散)	
		住宅の省エネルギー化	環境負荷評価モデル	
	地域冷暖房 等	地域冷暖房システムの導入	環境負荷評価モデル	
		業務ビルにおけるコジェネレ ーション導入	環境負荷評価モデル	
都市アメ ニティ施 策	都市緑化	業務ビルにおける屋上緑化	環境負荷評価モデル	
		都市部における緑の保全・創出 (都市公園等の整備、里山の保 全・整備)	環境負荷評価モデル	
	都市親水	良好な河畔・海岸の整備	水環境評価モデル	アケシ ^レ リティ
		都市河川の整備	水環境評価モデル	アケシ ^レ リティ
		自然再生・多自然型河川づくり	水環境評価モデル	アケシ ^レ リティ
水資源施 策	上下水道	下水道の整備・合流式下水道の 改善	水環境モデル	下水道処理区域
		水源域における下水道の整備	水環境モデル	下水道処理区域
		高度処理の促進普及・浄化事業	水環境モデル	下水道処理効率、処 理区域
	水資源	ダム等の整備(含、緑のダム、 棚田)	水環境モデル	浸透率

注)低公害車の普及による、排出原単位の変化については、将来的な動向を踏まえ設定する(政策目標 22(1)、23(1))

(2) モデルの全体像

本研究で開発する「地域づくり施策評価モデル」の全体像は、以下に示すとおりである。

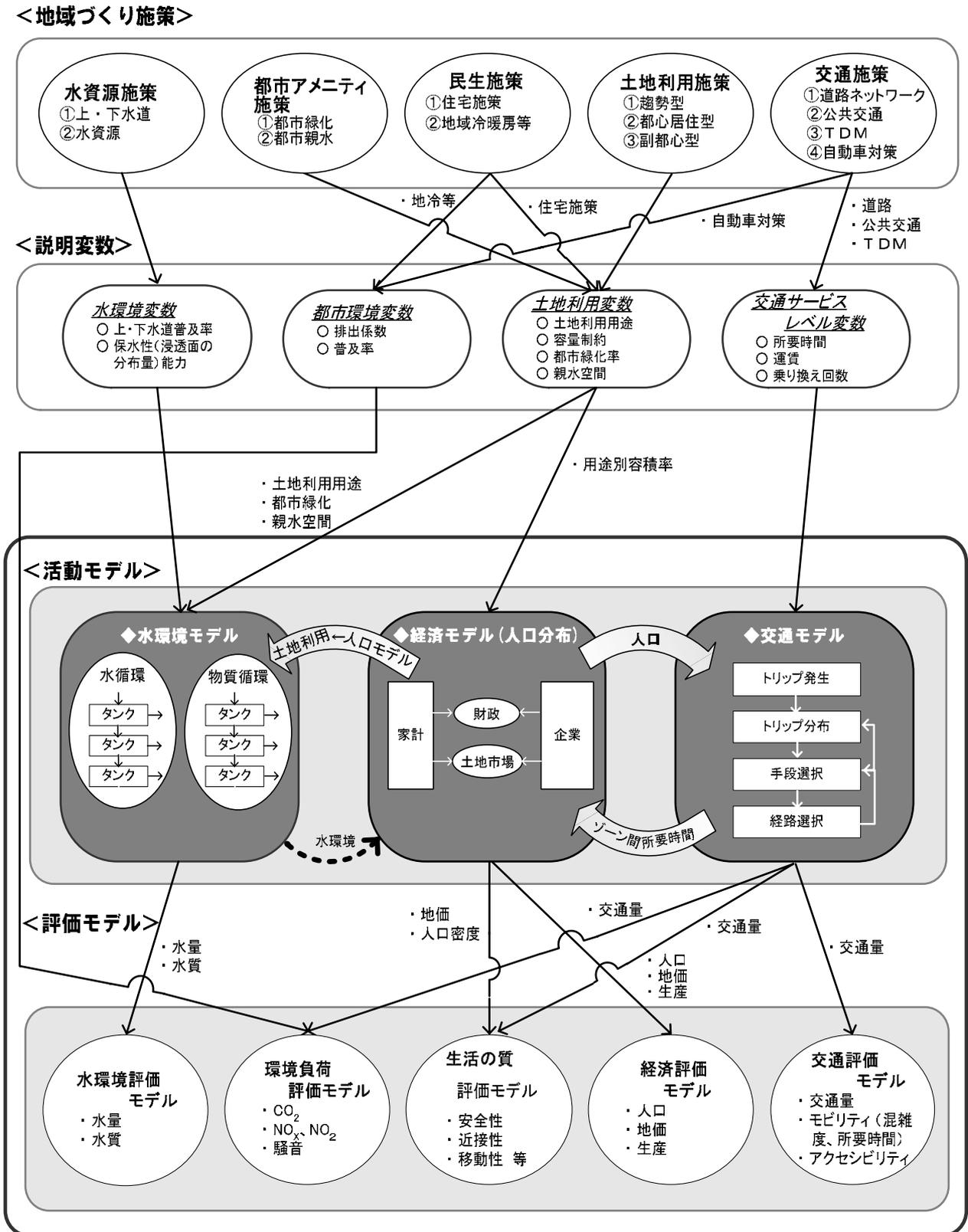


図1-4 モデルの全体像

(3) 要素モデルの開発方針

全体のシミュレーションモデルを構成する個々のモデルを「要素モデル」と呼ぶこととした。活動モデル及び評価モデルの要素モデルは、以前の研究におけるモデルを基本とした改良を行い、必要なモデルについては新たに開発した。各モデルの改良・開発方針は下表に示すとおりである。

予測年次は平成 32 年(2020 年)とし、国立社会保障・人口問題研究所推計(平成 14 年)及び宮城県推計値をもとに設定した。

表 1 - 3 要素モデルの開発方針

		モデル構築	
		改良 / 開発	使用データ
活動モデル	水循環モデル	新規開発	最新時点データ ・雨水データ ・河川データ ・上下水データ
	経済モデル	改良 ・人口分布の推計を内生するモデルに改良	交通モデルで推計されたデータ ・ゾーン間所要時間
	交通モデル	改良 ・海外モデルのレビューを踏まえ改良 ・ゾーンの細分化、ピーク時予測等ができるよう改良	平成 9 年度仙台都市圏 PT 調査データ(平成 14 年データの公開後入れ替え)
評価モデル	水環境評価モデル	水循環モデルと一体で新規開発	-
	環境負荷評価モデル	以前の研究のモデルを活用	平成 9 年
	生活の質評価モデル	改良 ・より多面的な評価できるよう改良	-
	経済評価モデル	経済モデルと一体で開発	-
	交通評価モデル	交通モデルと一体で開発	-

環境負荷評価モデルについては、「国土交通政策研究第 31 号 都市環境施策の社会的・経済的影響の定量評価に関する研究(2003.12、国土交通省国土交通政策研究所)」を参照

(4) 入力データ・評価指標

本研究の要素モデルにおいて算出される評価指標は、以下に示すとおりである。

表 1 - 4 水環境評価モデルの評価指標

入力データ	地区	都市圏	(備考)
雨水データ	(ゾーン)		
河川データ	(ゾーン)		
上下水データ	(ゾーン)		

評価指標	地区	都市圏	(備考)
流量	(メッシュ、ゾーン)		
水質	(メッシュ、ゾーン)		
エネルギー・CO ₂	(メッシュ、ゾーン)		

表 1 - 5 環境負荷評価モデルの評価指標

入力データ	地区	都市圏	(備考)
交通部門 交通量、速度	(リンク)		交通モデルより
民生・その他部門 NO _x 排出量データ 世帯・事業所データ	(メッシュ)		

評価指標	地区	都市圏	(備考)
CO ₂ 排出量	(メッシュ、ゾーン)		
NO _x 排出量	(メッシュ、ゾーン)		
NO ₂ 濃度	(メッシュ、ゾーン)		曝露人口、環境目標超過メッシュ数
騒音	(メッシュ、リンク)		平日(昼間)、平日(夜間)、休日(昼間)、休日(夜間)

: 絶対評価 (基準あり)

: 相対評価

: 参考

表 1 - 6 生活の質評価モデルの評価指標

入力データ	地区	都市圏	(備考)
施設近接性、交通、 自然、建物・人口 データ	(メッシュ)		
環境負荷(NO ₂) (騒音)	(メッシュ、ゾーン) (メッシュ、リンク)	- -	環境負荷評価 モデルより
評価指標	地区	都市圏	(備考)
安全性	(ゾーン)		
近接性	(ゾーン)		
移動性	(ゾーン)		
居住性	(ゾーン)		
快適性	(ゾーン)		

表 1 - 7 経済評価モデルの評価指標

入力データ	地区	都市圏	(備考)
ゾーン別容積率	(ゾーン)	-	
ゾーン間所要時間	(ゾーン)	-	交通モデルより
評価指標	地区	都市圏	(備考)
人口(夜間人口、 従業人口)	(ゾーン)		
生産額	(ゾーン)		
地代水準	(ゾーン)		
厚生水準	(ゾーン)		

: 絶対評価(基準あり)
: 相対評価
: 参考

表 1 - 8 交通評価モデルの入力データ・評価指標

入力データ	地区	都市圏	(備考)
人口フレーム	(ゾーン)		
交通サービス変数	(ゾーン)		
評価指標	地区	都市圏	(備考)
交通手段別トリップ数	(ゾーン)		
交通手段別トリップ長、分布	(ゾーン)		
目的別トリップ長、分布	(ゾーン)		
自動車台キロ	(ゾーン)		
道路混雑度	(リンク、ゾーン)		

: 絶対評価 (基準あり)

: 相対評価

: 参考

1 - 3 . 評価ケースの設定

(1) ケース設定の考え方

以前の研究においては、都市構造施策と交通施策の組み合わせたケースを設定し、都市構造別に相応しい交通施策を明らかにした。

本研究においては、都市構造による水循環施策を組み合わせたケースを設定することにより、都市構造に相応しい水循環施策について分析することとした。

また、都市アメニティ施策のうちの都市親水に関する施策も合わせて評価することとした。

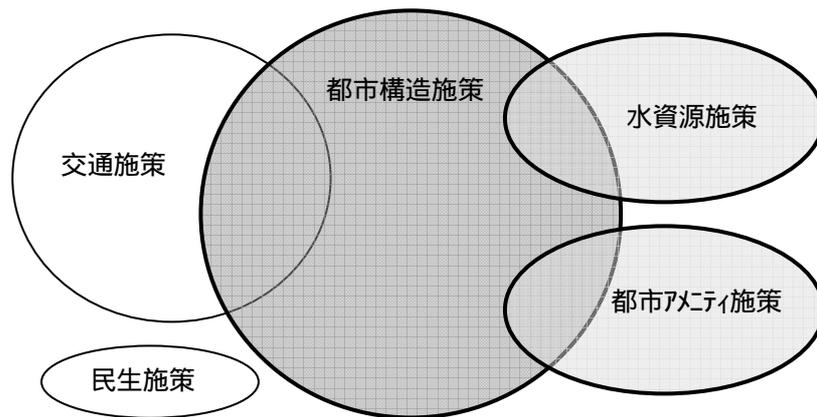


図 1 - 5 ケース設定の考え方

(2) ケース設定

都市構造と水資源施策に関連する下表の評価ケースを設定した。

表 1 - 9 評価ケース

都市構造 水資源	都市構造	趨勢型	都心居住型	副都心型
【施策なし】		ケース A	ケース B	ケース C
【水資源施策】 下水道の整備 緑の配置（保水性の向上）		ケース A - 1 ケース A-1-1 ケース A-1-2		
【都市親水施策】 良好な河畔・海岸の整備 都市河川の整備 自然再生・多自然型河川づくり		ケース A - 2		

交通施策は将来の基本ケースとする、民生施策はなし

第2章.

水環境モデルの開発

第2章 . 水環境モデルの開発

2 - 1 . 水環境モデルの開発方針

持続可能な地域形成に向けた社会資本整備の環境改善効果を計測することを目的に、これまで大気環境に関わるモデルの構築を進めてきた。本調査では、資源循環の枠組みを更に広げ、人口配置や土地利用といった社会資本の変化が自然環境、特に河川の流量や水質に与える影響を予測するモデルを開発する。

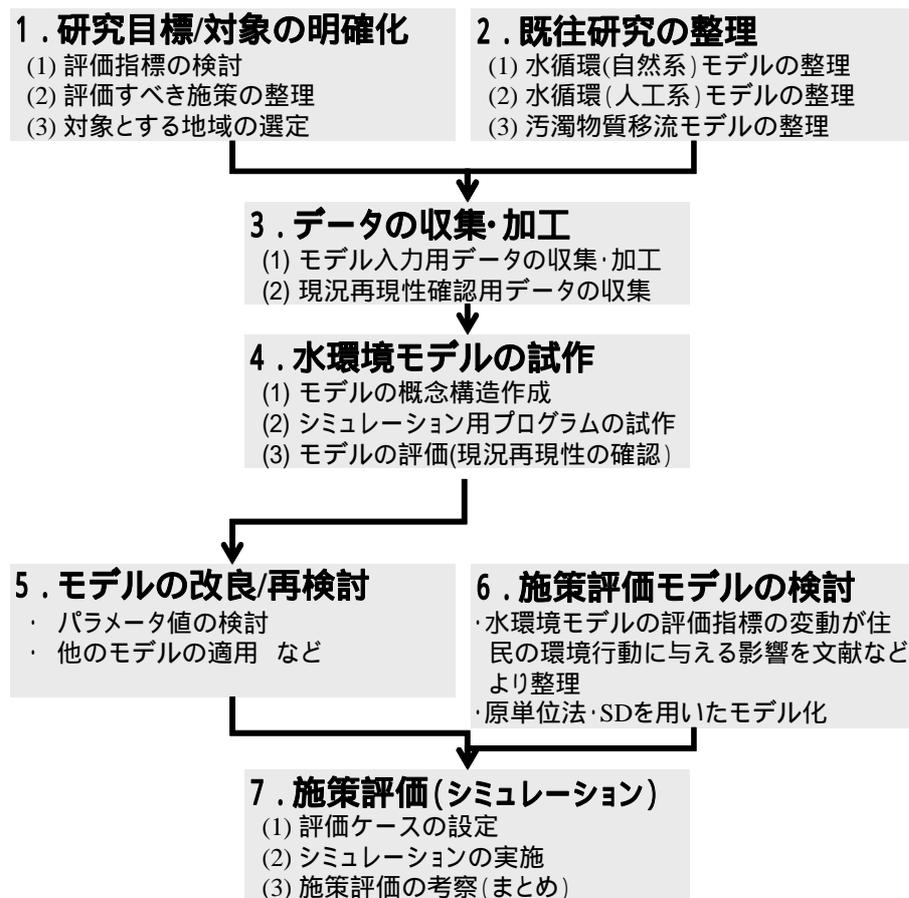


図 2 - 1 水環境モデルの開発フロー

(1) 評価指標の検討

水環境モデルの評価指標は、大きく「水量」「水質」「エネルギー消費量・CO2 排出量」に分けられる。各指標の細目を以下の表に示す。

表 2 - 1 評価指標

評価指標	細目
水量	・ 基底流量（日平均水量） ・ 降雨時流量（洪水流量）
水質	・ BOD
エネルギー / CO ₂	・ エネルギー削減量 / 率 ・ CO ₂ 削減量 / 率

(2) 評価すべき施策の整理

評価すべき施策については、施策を「都市構造施策」「下水道施策」「水資源施策」に大別して整理を行った。検討した各施策とモデルで反応する評価指標を以下の表に示す。

表 2 - 2 評価対象施策

	施策	反応する指標
都市構造施策	・ 趨勢（市街地のスプロール） ・ 都心居住 ・ 副都心育成	浸透面分布・量の変化に伴う 水量 の変化 汚濁発生場所の変化に伴う 水質 の変化 配管網の変化によるポンプ圧等 エネルギー / CO₂ 排出量 の変化
下水道施策	・ 下水道区域の拡大 ・ 水源域における高度処理	汚濁発生量の変化に伴う 水質 の変化
水資源施策	・ 緑のダム（保水性の向上）	浸透面の拡大および保水能力の向上ともなう 基底流量 の変化 流量増加に伴う 水質 の変化

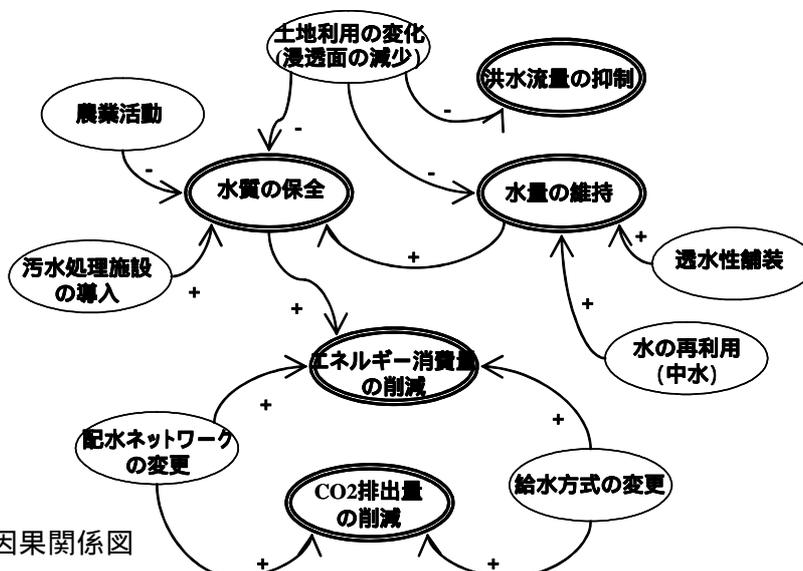


図 2 - 2 各施策の因果関係図

2 - 2 . 既往研究の整理

(1) 既往研究のレビュー

水循環モデルに関連して 18 の既往論文を収集して、本調査の目的に合致すると思われる論文 5 編（以下のリストを参照）を中心にレビューを行った（次頁以降を参照）。これらの論文のモデルは、流域という広い地域での水（水量）および物質（水質）の循環を表現する適切なモデルではあるが、各モデルには特徴があることから以下の図で整理した。モデルは斜面系と河道系で異なるモデルが適用されることが多く、斜面系では分布型メッシュタンクモデル、斜面系では kinematic wave 法を用いるケースが多い。



図 2 - 3 論文に使用されているモデルの特徴

表 2 - 3 既往研究における水循環モデルの概要 (その 1)

	1. 国環研モデル	2. 奥川モデル	3. 馬場モデル
対象流域	茨城県桜川流域(霞ヶ浦)	富山県小矢部川流域 河川長 69.9km、流域面積 677km ² 、1440 メッシュ	神奈川県鶴見川支流の梅田川流域 河川長 2.2km、流域面積 3.7km ² 、 750 メッシュ
利用データ	主に国土数値情報、数値地図、メッシュ 統計のデータを用いて 3 次メッシュデー タに加工	主に国土数値情報(河川/流路,土地利用)等 の 3 次メッシュデータ	1:25000 の地形図・土地利用図・土壌図・ 地質図から 10m メッシュのデータを作 成
モデルの範囲	自然系		
	人工系	×	×
	水質		×
モデルの構造	自然系 (河川, 用水, 地下水等)	<p>[斜面：流域タンクモデル] [河道：排水路・河川タンクモデル]</p>	<p>[斜面：タンクモデル(メッシュ毎)] 表面流は Kinematic wave 法 [河道：Kinematic wave 法]</p>
	人工系 (上下水道, 中水道)		
	水質	<p>[負荷流出モデル] 汚濁負荷の発生 山地, 農地, 市街地(家庭)別に推計(原単位 法?) 流出過程 各タンクにおける堆積、掃流、溶脱、吸 着の各プロセスの物質収支式</p>	<p>[汚濁負荷発生モデル] 生活系, 事業所系, 畜産系別に原単位法を 適用 [流出・流下過程モデル] 地表面からの流出：流出率と流出距離よ り推計 河川における流下：流下率と流下時間よ り推計</p>
モデルの時間単位	1 日単位	1 日単位	1 時間単位(表面流は 10 分単位)
評価指標	水量、COD、T-P(P)、T-N(窒素)	水量、BOD	水量、洪水流量
評価可能(と思われる)施策	土地利用の変化、人口配置の変化、 下水道・浄化槽などの整備、 生活、工業、農業の経済活動の変動	土地利用の変化、人口配置の変化、 下水道・浄化槽などの整備、 生活、工業、農業の経済活動の変動	土地利用の変化

表 2 - 3 既往研究における水循環モデルの概要 (その 2)

	4. 国総研[河川環境研]モデル	5. 日本工営モデル
対象流域	茨城県霞ヶ浦流域 流域面積 2,135km ² 、 1811 メッシュ(1km メッシュ)	多摩川(白丸調整池ダム下流域)流域 河川長(河口から)80km、流域面積 845km ² 、(200m メッシュ)
利用データ	土地利用(国土数値情報)、標高(数値地図 50m メッシュ)、土壌・表層地質は?	土地利用(国土数値情報、細密数値情報)、 標高(1/25,000 の地形図) など
モデルの範囲	自然系 人工系 水質	×
モデルの構造	<p>自然系 (河川, 用水, 地下水等)</p> <p>人工系 (上下水道, 中水道)</p> <p>水質</p> <p>[斜面：タンクモデル(メッシュ毎)] 表面流：Kinematic wave 法 不透和浸透流、地下水流(浅)：ダルシー則 地下水流(深)：準 3 次元地下水流動モデル [河道：Kinematic wave 法]</p> <p>[汚濁負荷発生モデル] 生活系, 農業系, 工業系で原単位を適用 [流出・流下過程モデル] タンク：各タンクにおける堆積、掃流、吸脱着の各プロセスを定式化し、次メッシュへ引き渡す 河道：タンクと同様の手法を用いる</p>	<p>自然系 (河川, 用水, 地下水等)</p> <p>人工系 (上下水道, 中水道)</p> <p>水質</p> <p>[斜面：タンクモデル(メッシュ毎)] 表面流：Kinematic wave 法 表層土壌水分移動：鉛直一次元の Richards 式 +中間流+蒸発散+漏水 帯水層水分移動：地下水流動モデル [河道：Kinematic wave 法]</p>
モデルの時間単位	1 日単位(Kinematic は 1 時間)	1 時間単位(河道計算)、1 日単位(評価)
評価指標	水量、COD、T-P(P)、T-N(窒素)	水量(河道、地下水)、洪水流量
評価可能(と思われる)施策	土地利用の変化、人口配置の変化、 下水道・浄化槽などの整備、 生活, 工業, 農業の経済活動の変動	土地利用の変化、人口配置の変化、 生活, 工業, 農業の経済活動の変動

表 2 - 4 水循環に関する収集論文

タイトル	著者	内容
水文大循環と地域水代謝(2003)技報堂	丹保憲仁ら (京都防災研)	<ul style="list-style-type: none"> ・流量、水質を予測可能。人工系の水循環は対象とせず ・流域はメッシュ型多層流出モデル ・河道は Kinematic wave 法を使用 ・10分単位で流出量を出す
実時間洪水予測のための分布型流出モデルの開発(1996)土木技術資料	鈴木俊朗ら (旧土研)	<ul style="list-style-type: none"> ・10分単位で流出量を出す。水質、人工系の水循環は対象とせず ・流域は多段タンクモデル ・河道は Kinematic wave 法を使用
融雪を考慮した山地流出モデルに関する研究(2001)土木学会論文集	中山恵介ら	<ul style="list-style-type: none"> ・流量を予測可能。水質、人工系の水循環は対象とせず ・不飽和浸透流を考慮した流出解析モデル
流域地形の新たな数値表現形式に基づく流域流出系シミュレーションシステムの開発(2001)土木学会論文集	市川温ら	<ul style="list-style-type: none"> ・流量を予測可能。水質、人工系の水循環は対象とせず ・斜面・河道に Kinematic wave 法を使用
ニューラルネットワークによる流出解析手法(日流量)に関する研究(2000)土木学会論文集	阿部清明ら	<ul style="list-style-type: none"> ・流量を予測可能。水質、人工系の水循環は対象とせず ・ニューラルネットワークにより予測
分布型流出モデルの広域的適用(2002)水工学論文集	阿部和雄ら (国総研)	<ul style="list-style-type: none"> ・2003年論文の雛形
SMPT モデルを用いた分布型水循環モデルの改良について(2002)水工学論文集	天口英雄ら	<ul style="list-style-type: none"> ・日単位 時間単位での分析可能 ・浸透能は土壌水分量をパラメータとする Horton 式を採用 ・東川上流域(流域面積:1.81km²を対象) ・河道は Kinematic wave 法を使用
表層浸透能の変化を考慮した多摩丘陵都市流域における水循環解析(2002)水工学論文集	藤村和正ら	<ul style="list-style-type: none"> ・低水流量を計算するモデル ・浸透能式に Diskin-Nazimav (1995)の降雨強度を考慮した浸透能式を適用 ・不飽和帯からの中間流出はないものと想定
分布型水文モデルに基づく水利用シミュレーションモデル開発の試み(2002)水工学論文集	陸 ら	<ul style="list-style-type: none"> ・流量を予測可能。水質、人工系の水循環は対象とせず。 ・河道は Kinematic wave 法を使用
農地と都市が混在する流域における WEP MODEL を用いた水循環解析(2002)水工学論文集	木内豪ら	<ul style="list-style-type: none"> ・分布物理型水循環モデル(WEP MODEL)を使用 ・モデルにおいて地表面の熱収支を解析するため、大気モデルとの統合が可能 ・表面流・河道は Kinematic wave 法を使用
Stanford Watershed Model の流出特性に関する検討(2000)水工学論文集	林誠二ら (国環研)	<ul style="list-style-type: none"> ・SWMM(Stormwater Management Model) ・HSPF(Hydrological Simulation Program Fortran) ・AGNPS(Agricultural Nonpoint Source Pollution Model)
分布型流出モデル BTOPMC の大流域へ適用する場合の地形解析に関する研究(2003)水工学論文集	敖天其ら (独)土研)	<ul style="list-style-type: none"> ・流量を予測可能。水質、人工系の水循環は対象とせず ・BTOPMC(筆者ら開発)は大流域を対象としたモデル。分布型モデルであるが、メッシュではなく流域単位。流域分割は Pfafstetter 流域分割法を使用

2 - 3 . データの収集・加工

(1) 収集が必要なデータの確認

2 - 2 で概要整理を行った論文のモデルを参考に、水循環モデルを構築する上で必要となるデータを整理した。水循環モデルには自然系と人工系の循環があり、モデルの作成ではそれぞれにデータを必要とする。また、これらのデータも、モデルの入力用データ、出力用データおよびパラメータの設定等に必要なデータなど多岐にわたる。

表 2 - 5 自然系の水循環モデルに用いるデータ

モデル入力データ	推計値チェックデータ	パラメータの設定等に 必要なデータ	原単位・パラメータなど
降水量	流量 水位 (地下水量)、水位	河道・水路(勾配) 河道・水路(幅) 河道・水路(等価粗度) 標高(落水線)、勾配 土地利用 土壌	土地利用別透水係数 土地利用別浸透能 土地利用別蒸発散 土壌別有効間隙率 土壌別の土壌圧

表 2 - 6 人工系の水循環モデルに用いるデータ

モデル入力データ	推計値チェックデータ	位置の特定に必要な データ	原単位・パラメータなど
夜間人口 従業人口 土地利用	上水取水量 下水処理量 工業用水取水量 農業用水取水量	上水路(取水口) 下水路(排水口) 工業用水路(取水口) 農業用水路(取水口)	上水量原単位 下水排出原単位 農業用水量原単位 工業用水量原単位

表 2 - 7 物質循環(水質予測)モデルに用いるデータ

モデル入力データ	推計値チェックデータ	位置の特定に必要な データ	原単位・パラメータなど
夜間人口 工場製造品出荷額 畜産飼育頭数 土地利用	BOD TN(総窒素) TP(総燐)	下水処理区域 工場立地 畜舎立地	住宅汚濁負荷量原単位 工場汚濁負荷量原単位 畜産汚濁負荷量原単位 面源汚濁負荷量原単位 下水処理効率 モデルのパラメータ (吸着脱着速度係数等)

(2) 自然系水循環のモデル化に必要なデータ

流量・水位

流量および水位データは、国土交通省東北地方整備局より名取川、広瀬川における5観測所（閑上第二、名取橋、余方、広瀬橋、落合）のデータを入手した。これらのデータは国土交通省水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/> からアクセス可能である。また、釜房ダム、大倉ダムなどの放水量についても併せてデータを入手した。収集した流量・水位データは1時間値である。以下に、閑上第二と名取橋の年間流量グラフを示す。

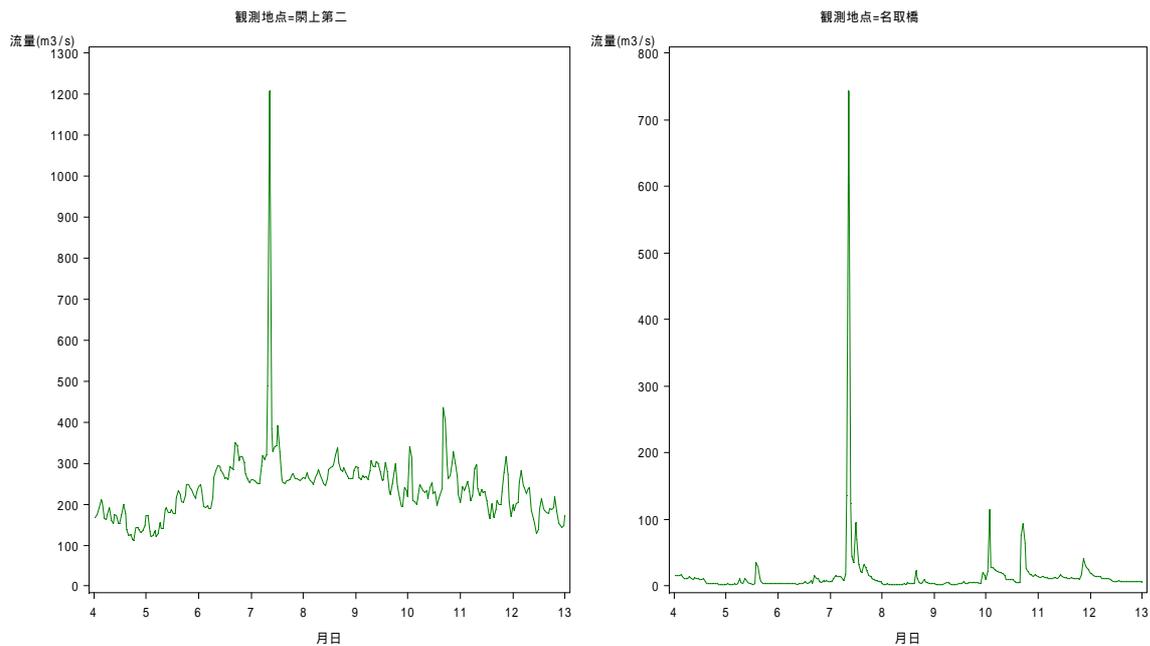


図2-4 年間流量グラフ（左:閑上第二、右:名取橋）

水質

水質データは、国土交通省東北地方整備局及び宮城県より名取川、広瀬川における16観測地点のデータを入手した。収集した水質データは、年間で10～14時点のサンプリングデータであり、DO、SS、BOD、T-N(全窒素)、T-P(全燐)が計測されている。以下に、閑上第二と名取橋の年間水質グラフを示す。

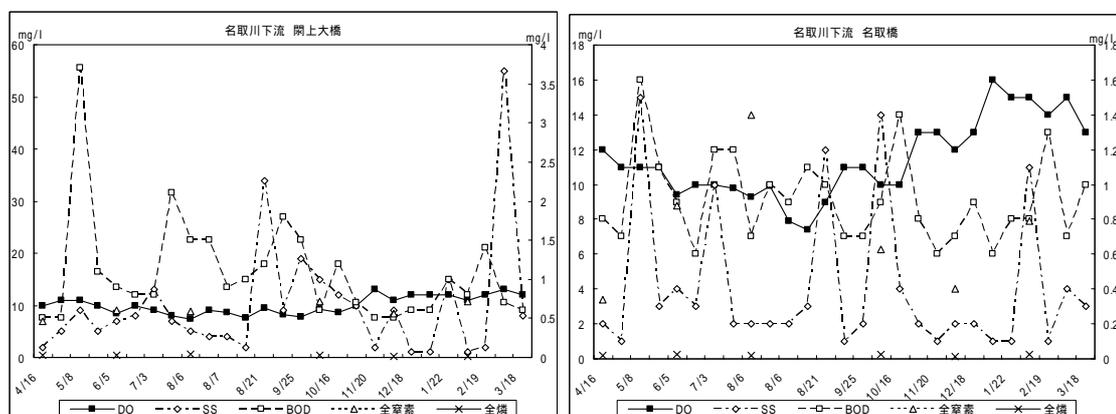


図2-5 年間水質グラフ（左:閑上第二、右:名取橋）

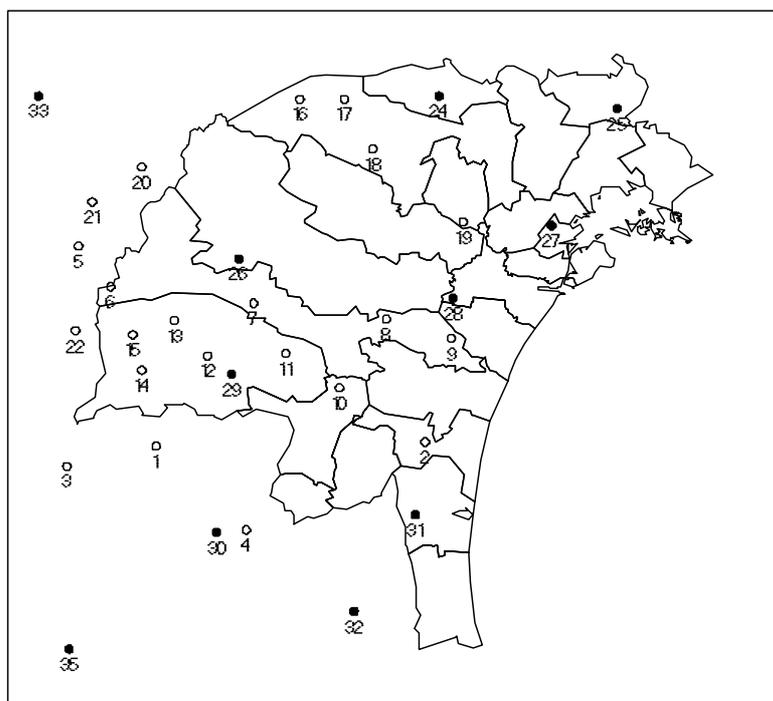
降水量

降水量データは、国土交通省東北地方整備局の名取川、広瀬川流域の観測データ(以下、河川局データと言う。)およびアメダスデータを収集した。河川局データは以下の表に示す観測所のうち、網掛けの観測所データを使用する。

表 2 - 8 観測所コード

Number	Station Name			Latitude		Longitude	
	(Kanji)	(Kana)	(ROMAN)	(degree)	(minutes)	(degree)	(minutes)
1	遠刈田	トオガッタ	TOOGATTA	38	6.15	140	32.65
2	岩沼	イヌマ	IWANUMA	38	6.416667	140	52
3	舟引	フナヒキ	FUNABIKI	38	4.866667	140	26.23333
4	白石	シロイシ	SHIROISHI	38	0.85	140	39.13333
5	作並	サクナミ	SAKUNAMI	38	18.81667	140	27.08333
6	二口	フタクチ	FUTAKUCHI	38	16.23333	140	29.38333
7	秋保	アキウ	AKIU	38	15.18333	140	39.66667
8	佐保山	サボヤマ	SABOYAMA	38	14.18333	140	49.2
9	郡山・仙台	コオリヤマ	KOORIYAMA	38	12.96667	140	53.88333
10	上菅生	カミスゴウ	KAMISUGO	38	9.833333	140	45.83333
11	釜房	カマフサ	KAMAFUSA	38	12.01667	140	41.98333
12	下原	シモハラ	SHIMOHARA	38	11.86667	140	36.36667
13	川音岳	カワオトダケ	KAWAOTODAKE	38	14.1	140	33.96667
14	小屋の沢	コヤノサワ	KOYANOSAWA	38	10.95	140	31.63333
15	笹谷	ササヤ	SASAYA	38	13.2	140	30.98333
16	升沢1	マスザワ	MASUZAWA	38	28.1	140	43
17	嘉太神	カダイジン	GADAIJIN	38	28.1	140	46.2
18	難波	ナニワ	NANIWA	38	24.95	140	48.23333
19	明石	アカシ	AKASHI	38	20.33333	140	54.73333
20	関山	セキヤマ	SEKIYAMA	38	23.81667	140	31.63333
21	田麦野	タムキノ	TAMUGINO	38	21.6	140	28.06667
22	関沢	セキザワ	SEKIZAWA	38	13.45	140	26.86667

の観測局データを使用



凡例 ○ ○ ○ RIVER ● ● ● AMEDAS

図 2 - 6 観測所位置

河道・水路

河道・水路の勾配、粗度、幅のデータは、国土交通省東北地方整備局より入手した。

表2 - 9 名取川水系の計画河床勾配（左：名取川、右上：広瀬川、右下：笹川）

距離標(量水標零点高からの距離)	計画河床勾配	距離標(名取川合流点からの距離)	計画河床勾配
0.0 ~ 2.0 km	1 / 3,119	0.0 ~ 0.8 km	1 / 761
2.0 ~ 4.4 km	1 / 1,999	0.8 ~ 1.6 km	1 / 394
4.4 ~ 5.4 km	1 / 1,188	1.6 ~ 3.6 km	1 / 335
5.4 ~ 8.8 km	1 / 621	3.6 ~ 3.7 km	1 / 326
8.8 ~ 9.6 km	1 / 348		
9.6 ~ 10.4 km	1 / 258	距離標(新笹川橋からの距離)	
10.4 ~ 11.2 km	1 / 219	0.0 ~ 1.0 km	1 / 400
11.2 ~ 12.1 km	1 / 211	1.0 ~ 2.0 km	1 / 300
		2.0 ~ 2.5 km	1 / 200

表2 - 10 名取川水系の粗度係数

河川名	区間	粗度係数
名取川	0.0 ~ 4.0 km	0.030
"	4.0 ~ 7.6 km	0.040
"	7.6 ~ 12.5 km	0.045
広瀬川	0.0 ~ 3.9 km	0.035

表2 - 11 名取川の川幅

河口からの距離	川幅1	川幅2	川幅3	川幅4	河口からの距離	川幅1	川幅2	川幅3	川幅4
0.0	236.96				6.2	48.97	43.25		
0.2	266.75				6.4	31.33	22.26		
0.4	252.77	47.00			6.6	19.70	22.46	6.66	
0.6	201.96	59.87			6.8	22.13	5.38		
0.8	240.18				7.0	16.22	9.12		
1.0	239.06	19.27			7.2	60.85			
1.2	284.68				7.4	55.35			
1.4	51.96	208.84			7.6	10.95			
1.6	43.89	211.11			7.8	69.87			
1.8	35.09	224.26			8.0	39.95			
2.0	26.78	158.18			8.2	17.65			
2.2	25.92	140.13			8.4	16.17			
2.4	211.83				8.6	2.41	53.16		
2.6	237.81				8.8	5.44	39.27		
2.8	168.81	45.03			9.0	7.32	31.45		
3.0	184.96				9.2	26.76	22.95		
3.2	225.67				9.4	16.52	18.48		
3.4	170.89				9.6	33.24	10.22		
3.6	107.33				9.8	23.97			
3.8	137.62				10.0	30.92			
4.0	13.25	95.58			10.2	18.14	21.13		
4.2	118.80				10.4	15.74			
4.4	112.50				10.6	59.66			
4.6	176.20				10.8	35.74			
4.8	48.08	42.55	108.99		11.0	23.02	6.24		
5.0	9.31	42.63	62.62	41.55	11.2	5.95	24.73		
5.2	107.99	24.68			11.4	4.69	2.18	4.18	16.54
5.4	93.05	13.11			11.6	35.38			
5.6	64.96				11.8	39.17	12.13		
5.8	68.97				12.0	8.53	26.59		
6.0	72.97								

河口からの距離はkm、川幅はm

表 2 - 12 広瀬川の川幅

合流点からの距離	川幅1	川幅2	川幅3
0.0	36.29		
0.2	49.04		
0.4	38.87		
0.6	22.88		
0.8	3.34	19.96	
1.0	11.81	5.55	
1.2	22.79		
1.4	21.82		
1.6	32.54		
1.8	23.79		
2.0	21.61		
2.2	36.97		
2.4	25.6		
2.6	10.12	8.46	3.3
2.8	23.67		
3.0	39.65		
3.2	41.77		
3.4	36.63		
3.6	10.28	16.65	7.39

名取川合流点からの距離はkm、川幅はm

標高

標高データは、国土数値情報から入手した。国土数値情報は標準 3 次メッシュ(1km × 1km)で整備されている。以下に、仙台都市圏のランク別標高図を示す。この標高データを用いて水の流下方向および勾配を設定することが可能である。

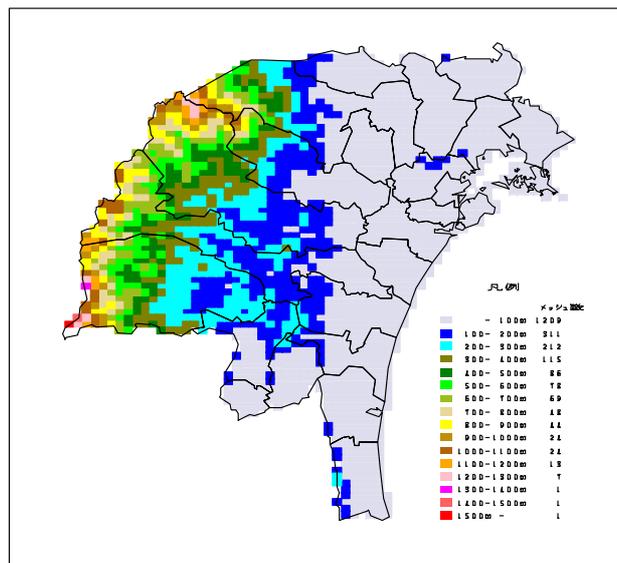


図 2 - 7 国土数値情報 S56 標高データ

土地利用

土地利用データは、国土数値情報から入手した。標高データと同様、標準 3 次メッシュ(1km × 1km)で整備されている。以下に、土地利用データを使用して作成した仙台都市圏の建物用地面積率と森林面積率を示す。また、表に示すような土地利用別の浸透能データを整備した。面的な土地利用データとこの表の浸透能データを組み合わせることで、仙台都市圏の浸透能を面的に把握することが可能である。

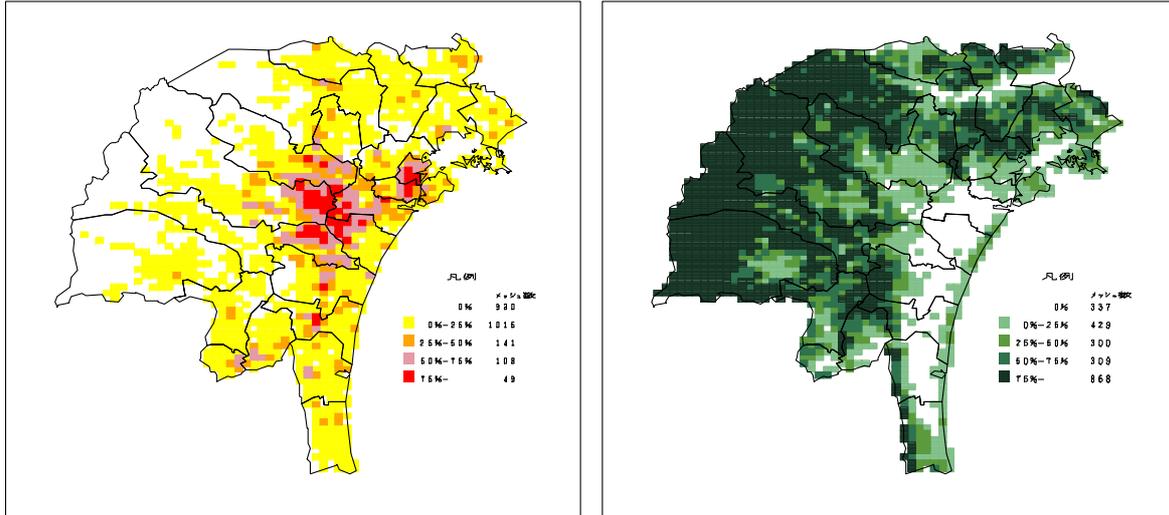


図2 - 8 国土数値情報 H9 土地利用データ (左:建物用地面積率、右:森林面積率)

表2 - 13 「仙台市水環境プラン」の土地利用別浸透能

(単位 mm/h)

森林	200	草地	100	畑・裸地	100	踏圧裸地	50
道路	0	住宅地	20	商業地	0	工業地	15

土壌、地質

土壌、地質データは、国土数値情報から入手した。標高、土地利用同様、標準3次メッシュ(1km×1km)で整備されている。以下に、仙台都市圏の表層地質図および土壌図を示す。これらのデータはタンクモデルのタンク深を決定する際に利用することになる。

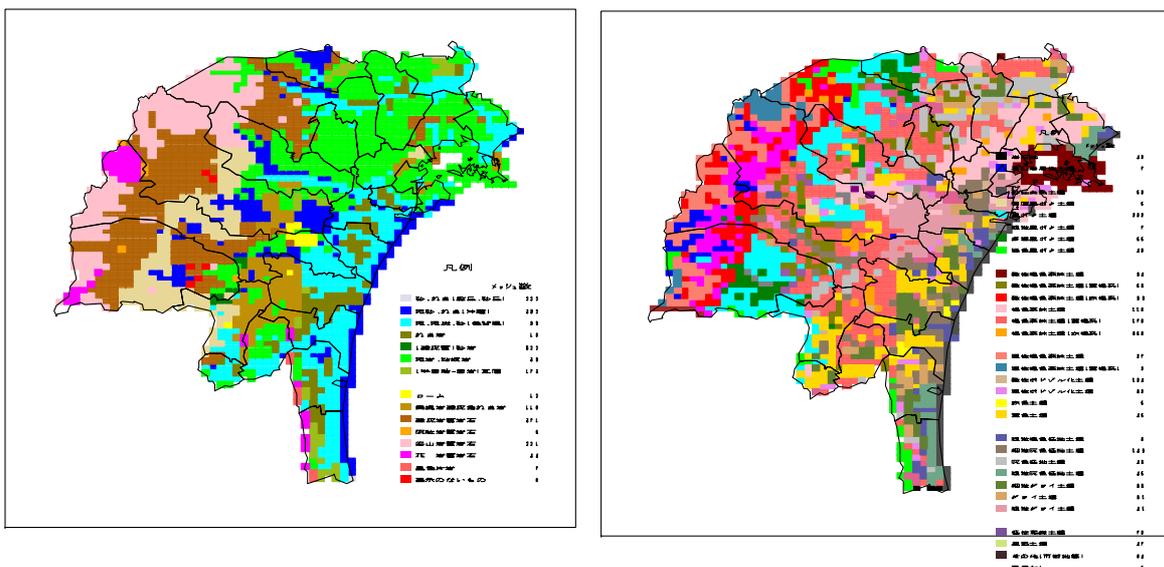


図2 - 9 国土数値情報 S54 土地分類データ (左:表層地質、右:土壌)

土地利用別蒸発散量

蒸発散量は、「仙台市水環境プラン」から土地利用別に設定した。

表 2 - 14 「仙台市水環境プラン」の土地利用別蒸発散量

(単位 mm/日)

森林	3.0	草地	2.0	水面	3.0	水田	4.0	畑・裸地	2.0
道路	0	住宅地	0.8	商業地	0.4	工業地	0.6		

(3) 人工系水循環のモデル化に必要なデータ

夜間人口・従業員人口

夜間人口・従業員人口のデータは、国勢調査および事業所・企業統計調査の地域統計データから仙台都市圏のデータを抽出した。地域統計データは標準3次メッシュ(1km×1km)で整備されている。

上水利用原単位

上水利用原単位データは、『空気・調和衛生工学便覧』から設定した。

表2-15 上水利用原単位

(単位 l/m²日)

使用用途 建物用途	風呂	台所・厨房 (湯沸)	手洗・洗面	洗濯	空調用水	水洗便所 洗浄用水
産業業務	0.0	2.2	1.2	0.0	2.0	2.4
商業(物販)	0.0	9.6	1.5	0.0	0.9	8.7
商業(飲食)	0.0	85.0	7.4	0.0	7.4	41.1
ホテル	0.0	6.1	1.2	0.7	4.4	4.8
住宅	2.1	2.6	0.8	2.4	0.0	2.1

社員食堂等を含む

下水排出原単位

下水排出原単位データは、『流域マネジメント 新しい戦略のために』の「生活排水に関わる原単位と濃度」から設定した。

表2-16 生活排水に関わる原単位と濃度

項目	種類	排水量	水質			
		(L/人・日)	BOD	COD	T-N	T-P
原単位 (g/人・日)	雑排水	201	27.0	13.0	1.5	0.3
	屎尿	57(2.27)	13.0	10.0	7.0	0.7
	合計	258	40.0	23.0	8.5	1.0
濃度 (mg/L)	雑排水		134.3	64.7	7.5	1.5
	屎尿(浄化槽)		228.1	175.4	123.0	13.3
	屎尿(そのもの)		5,272.0	4,408.0	3,086.0	309.0
	総排水		155.0	89.1	32.9	3.9

工業用水取水排水量・用水路

工業用水の取水量は、国土交通省東北地方整備局より入手した。工業用水の取水路は、次々頁に示す仙塩工業用水道図および仙台圏工業用水道図より設定した。排水路は下水道(根幹的施設設計計画図[污水])を用いた。

農業用水取水排水量・用水路

農業用水の取水量は、公共管理の用水しか把握されていない。そこで、阿武隈地域主要水利利水現況図 S51.3 国土庁」および「農業用水施設台帳(河川取水施設) 改訂版 S62.2 宮城県農政部農地計画課」を用いて、最大および常時取水量と許可水量のデータを収集し、取水量を推定することとした。また、用水路は取水路を先の資料から地図上に落とし、排水路は雨水路で近似することで設定した。

雨水・下水路

雨水・下水路のデータは、仙台市下水道基本計画の雨水排水系統図および汚水処理区域図を参考に設定した。各図は以降の頁に提示する。

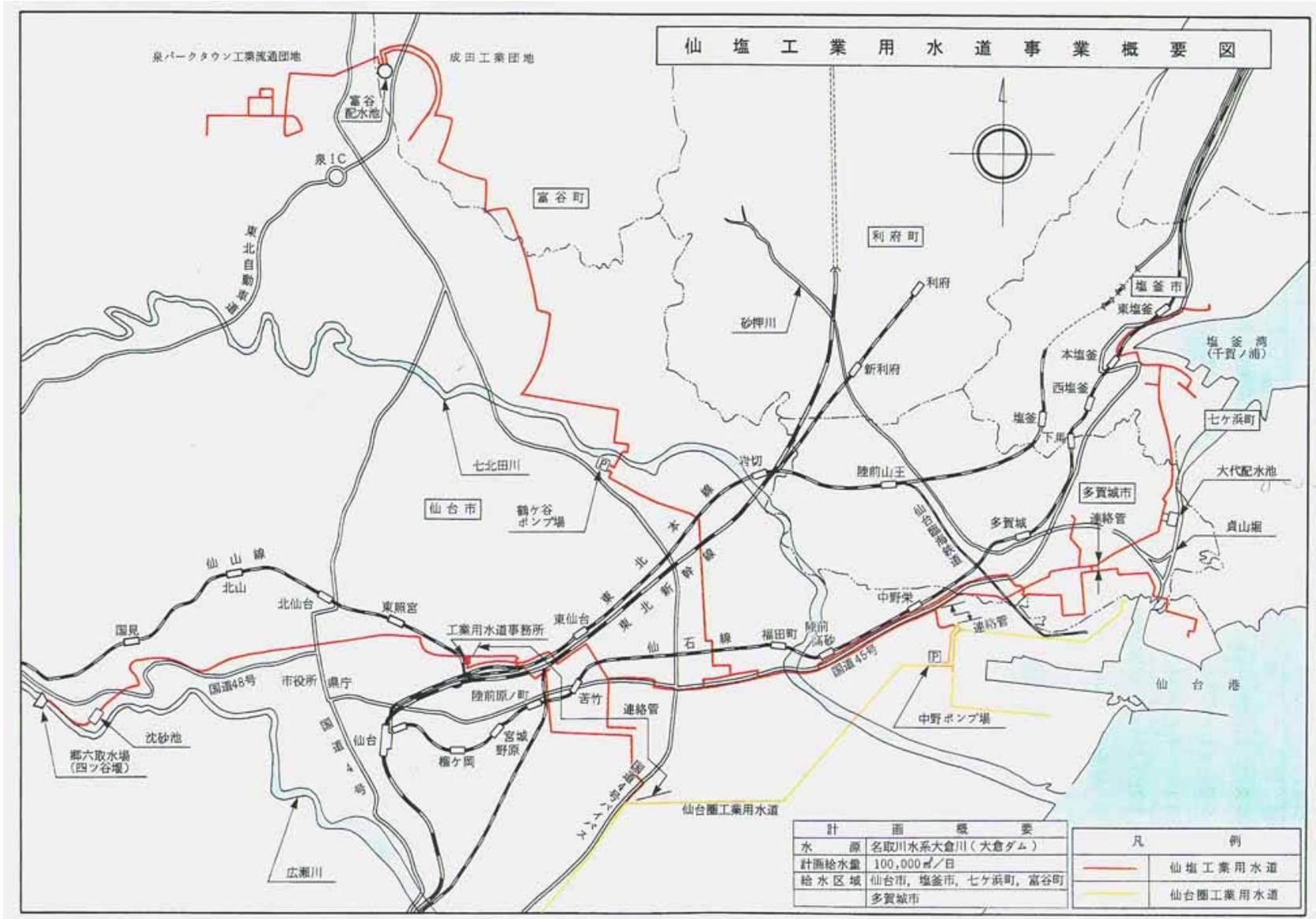


図 2 - 10 仙塩工業用水道

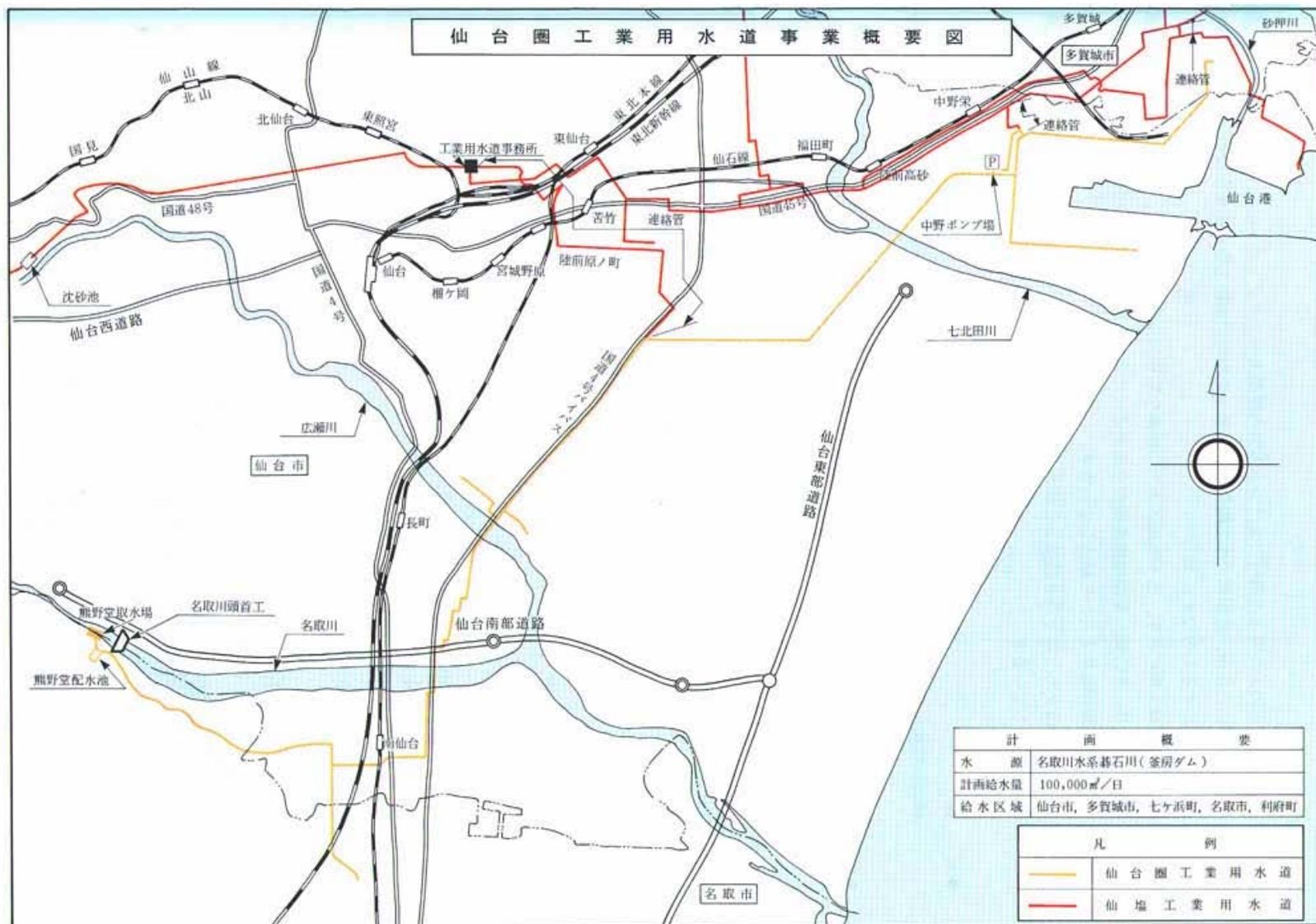
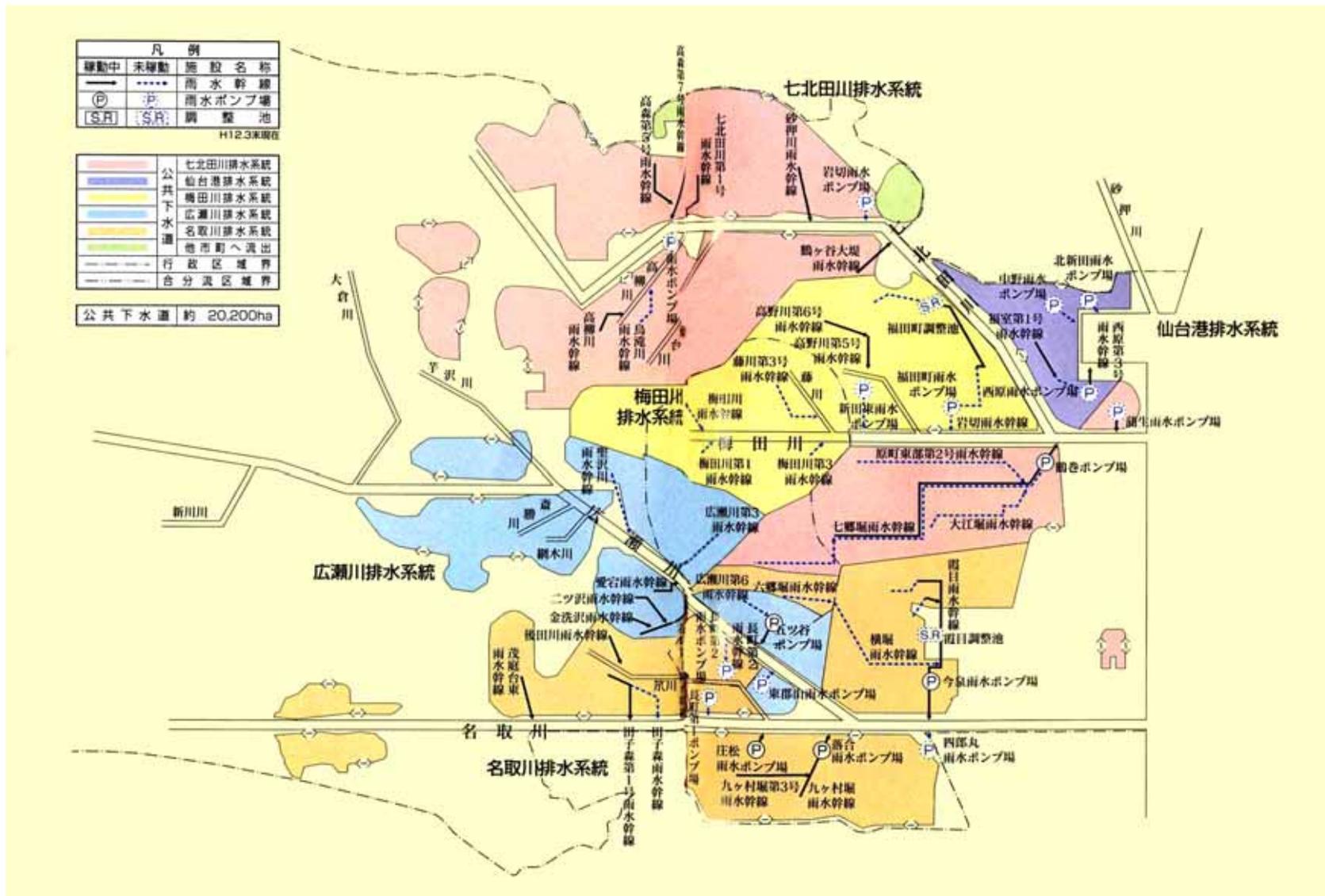
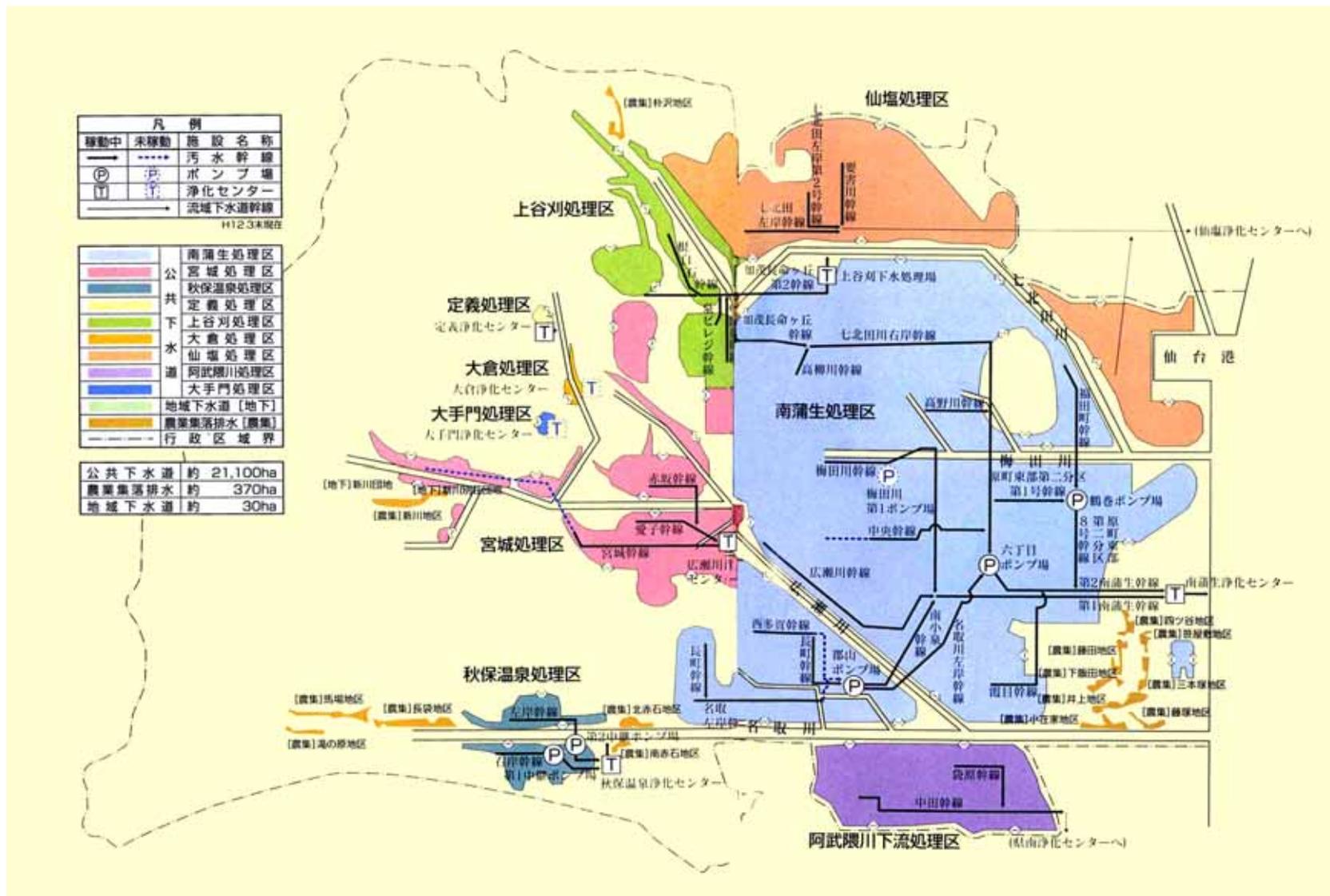


図2 - 11 仙台圏工業用水道



資料：「仙台市下水道基本計画」、H13.3より

図 2 - 12 根幹的施設設計計画図（雨水）



資料：「仙台市下水道基本計画」、H13.3より

図 2 - 13 根幹的施設設計計画図（污水）

上水、工業・農業用水取水量・取水口

上水、工業用水、農業用水の取水量は国土交通省東北地方整備局より入手したデータを用いて整理した。取水口については前述のデータならびに 1:25,000 の地形図を用いて位置を特定した。

表 2 - 17 上水、工業・農業用水取水量・取水口

広瀬川				
種類	名称	取水口	平均取水量	排水口
上水道	中原浄水場(青下)	57403555	0.104m ³ /s(9,000m ³ /d)	-
	中原浄水場(中原)	57403566	0.208m ³ /s(18,000m ³ /d)	-
	国見浄水場(国見)	57403566	0.810m ³ /s(70,000m ³ /d)	-
	熊ヶ根浄水場(下倉農業用水路を併用)	大倉ダム	0.0023m ³ /s(200m ³ /d)	-
	塩釜・梅の宮浄水場	57403566	0.259m ³ /s(22,400m ³ /d)	-
発電所	大倉発電所	57403586	0-6.5 m ³ /s(Ave2.8 m ³ /s)	57403566
	大堀発電所	57403566	0-2.28 m ³ /s(Ave1.6 m ³ /s)	57403630
	三居沢発電所	57403615	0-5.57 m ³ /s(Ave4.7 m ³ /s)	57403617
農業用水 (灌漑期のみ)	愛宕堰	57402790	0-6.02 m ³ /s(Ave5.5 m ³ /s)	不明
	郡山堰	57402781	?	不明
	大倉川沿岸灌漑用水	大倉ダム	0-1.2 m ³ /s(Ave0.9 m ³ /s)	不明
工業用水	仙塩工業用水(四ッ谷堰)	57403615	0.33 m ³ /s	不明
	ニッカウスキー	57403562	7/15-8/31 0.01 m ³ /s(Ave) 9/1-7/14 0.023 m ³ /s(Ave)	不明

排水口不明については、暫定的に排水0で対応している

名取川

種類	名称	取水口	平均取水量	排水口
上水道	野上浄水場	57402447	0.032m ³ /s(2,750m ³ /d)	-
	碁石浄水場(碁石用水)	釜房ダム	0.003m ³ /s(300m ³ /d)	-
	茂庭浄水場	釜房ダム	1.620m ³ /s(140,000m ³ /d)	-
	富田浄水場	57402647	0.203m ³ /s(17,500m ³ /d)	-
発電所	釜房発電所	57402535	6.0 m ³ /s(max)	57402535
	茂庭発電所	57402653	0-10.3 m ³ /s(Ave5.5)	57402653
	人来田発電所	57402655	0-12.5 m ³ /s(Ave7.7)	57402655
農業用水 (灌漑期のみ)	名取川頭首工(右岸)	57402647	灌漑期 5.95 非灌漑期 1.07	不明
	名取川頭首工(左岸)	57402647	灌漑期 0.26	不明
			非灌漑期 0.06	
工業用水	仙台圏工業用水	57402647	0.37m ³ /s	不明
	仙台火力発電所		0.002m ³ /s	不明

下水路（排水口）・下水処理区域

下水処理区域は、仙台市資料より以下のように設定した。また、排水口は各下水処理区域の最下流端に設定した。

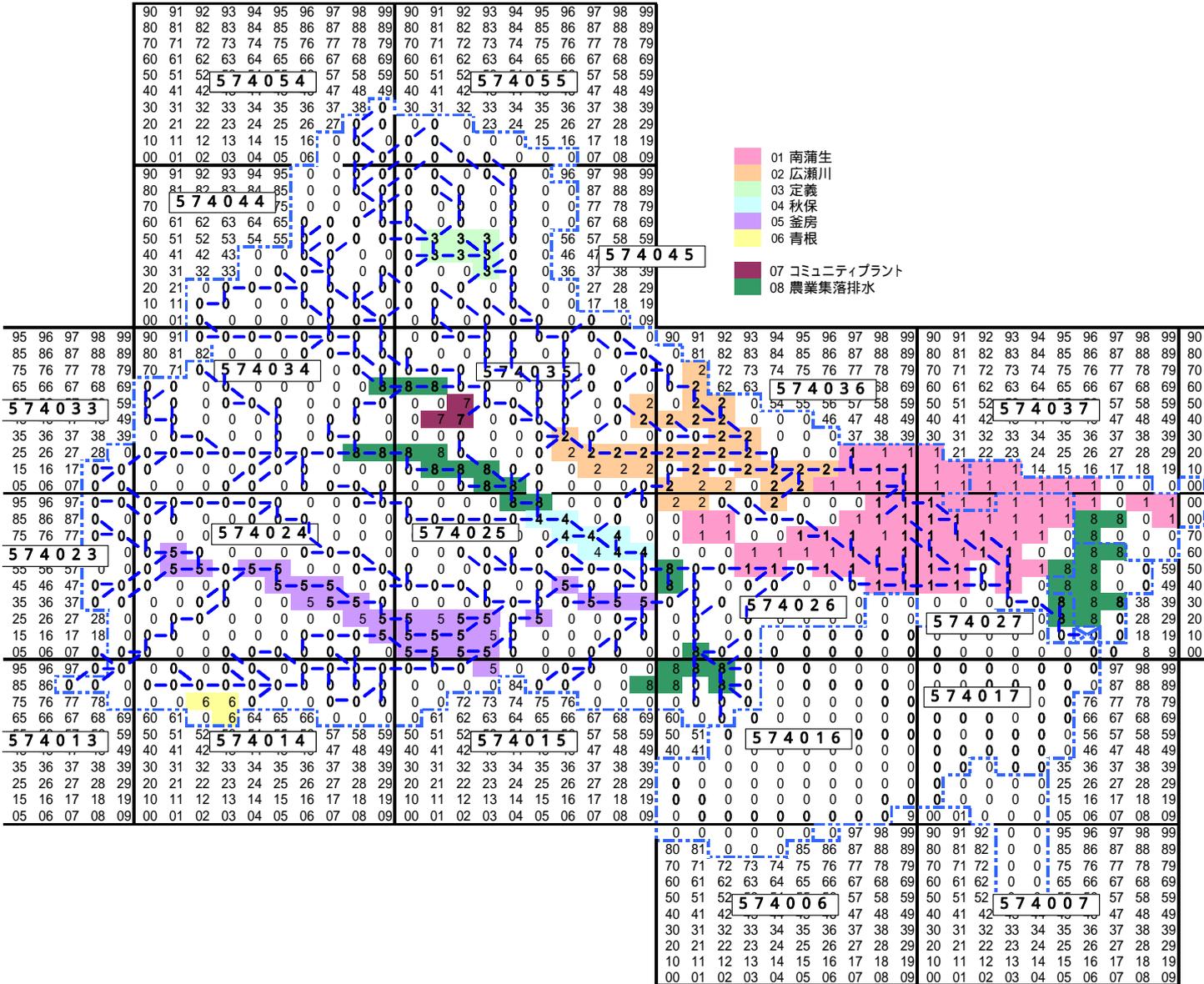


図 2 - 14 下水処理区域図

(4) 物質循環(水質予測)モデルに用いるデータ

汚濁負荷量原単位および下水処理効率については、「2-3(2)物質循環モデル(水質予測モデル)」で整理しているため、ここでは割愛している。

畜産頭数

農林水産統計より市町村別の畜産頭数を整理した。畜産施設は に示すように、1:25,000の地形図より施設を抽出し、その該当メッシュをカウントしている。3次メッシュ別の飼育頭数は、市町村別にカウントしたメッシュ数と飼育頭数を用いて求めた。

表2-18 市町村別の畜産頭数

市町村 コード	市町村名 (H13.2.1現在)	飼養頭(羽)数			
		乳用牛 (頭)	肉用牛 (頭)	豚 (頭)	採卵鶏 <6か月以上> (千羽)
4100	仙台市	1310	950	900	45
4324	川崎町	850	3480	-	115

畜舎立地

畜舎の立地位置は、1:25,000の地形図や仙台市資料より以下のように設定した。

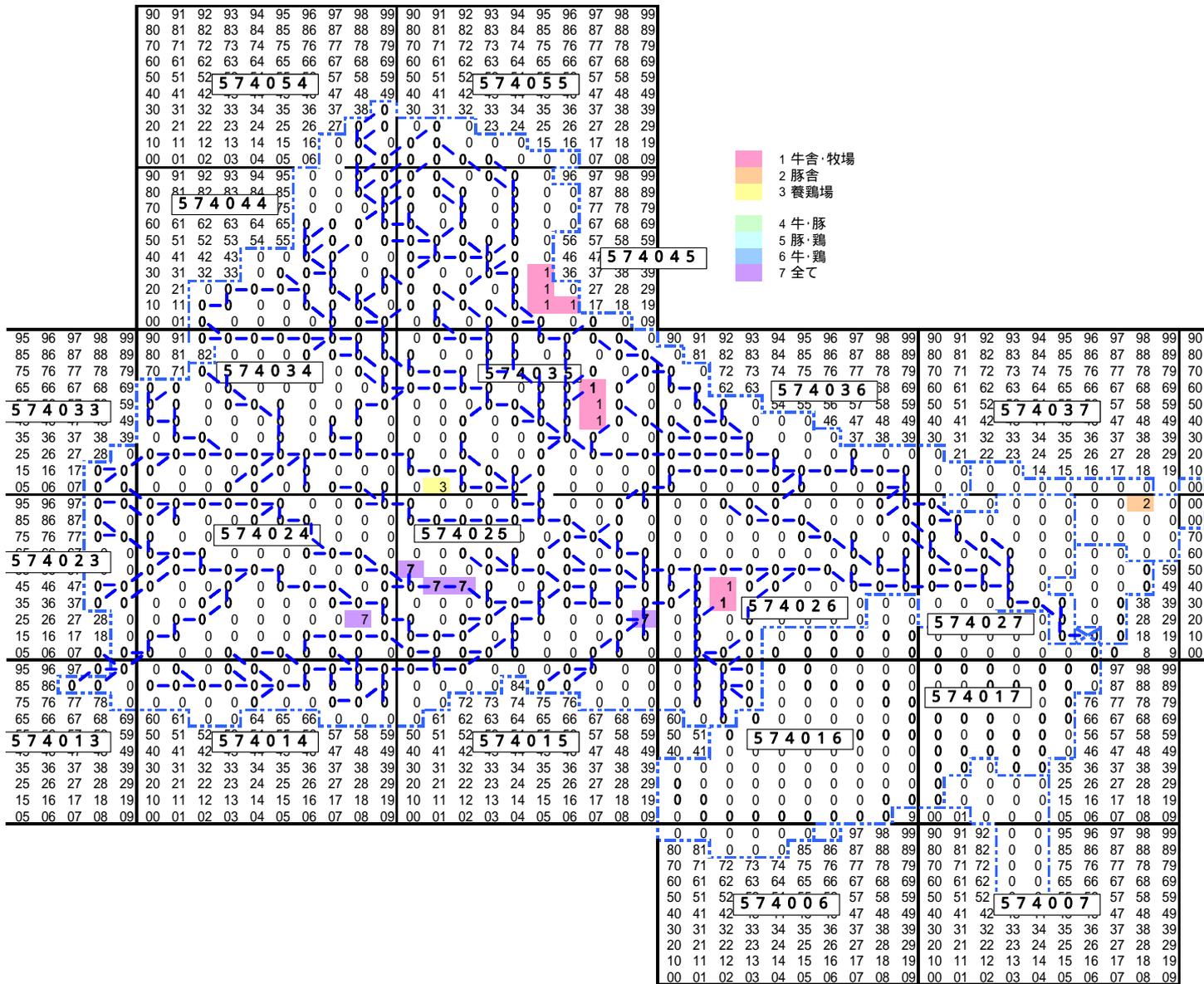


図 2 - 15 畜産区域図

2 - 4 . 水環境モデルの構築

(1) モデル構造の検討

既往研究のレビューおよび収集可能なデータを踏まえ、水循環モデルの構造を検討した。水循環モデルは、河川や用水路、地下水などの挙動を説明する自然系水循環モデル、上下水道や中水道などの水のフローを説明する人工系水循環モデル、水質汚濁物質の発生と挙動を説明する汚濁物質移流モデルにより構成するものとし、自然系水循環モデルでは斜面系に分布型多段タンクモデル、河道系に kinematic wave 法を用いて推計するモデルを検討した。

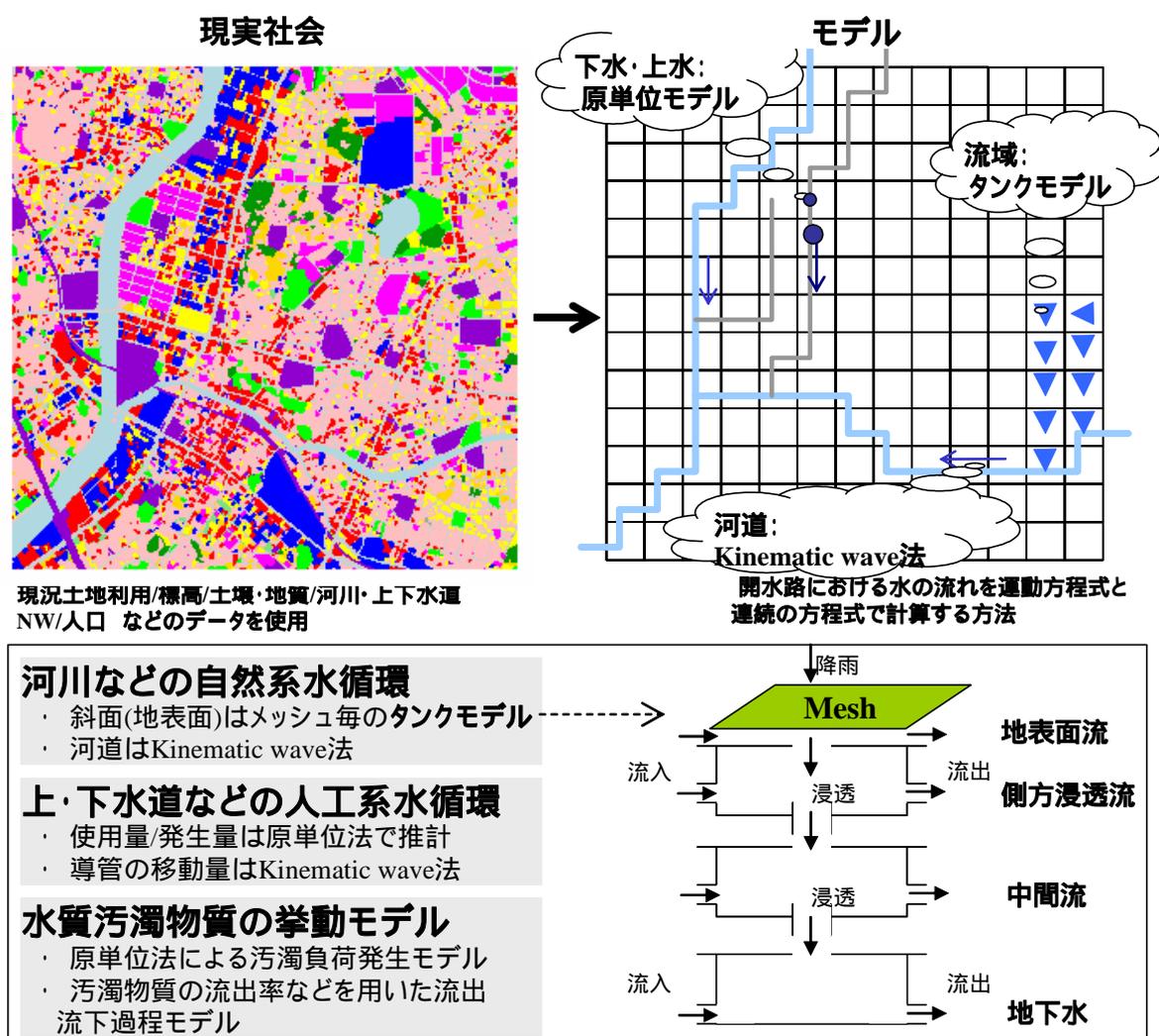


図 2 - 16 水環境モデルの検討イメージ

水循環モデル(案)

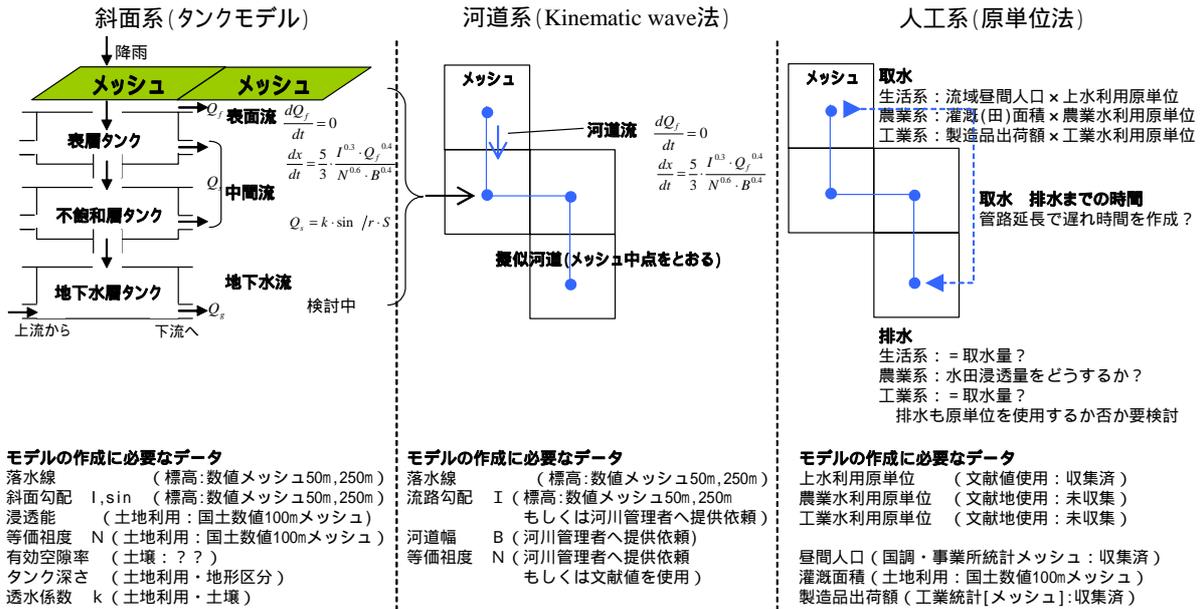


図 2 - 17 自然系・人工系水循環モデルの構造

物質循環モデル(案)

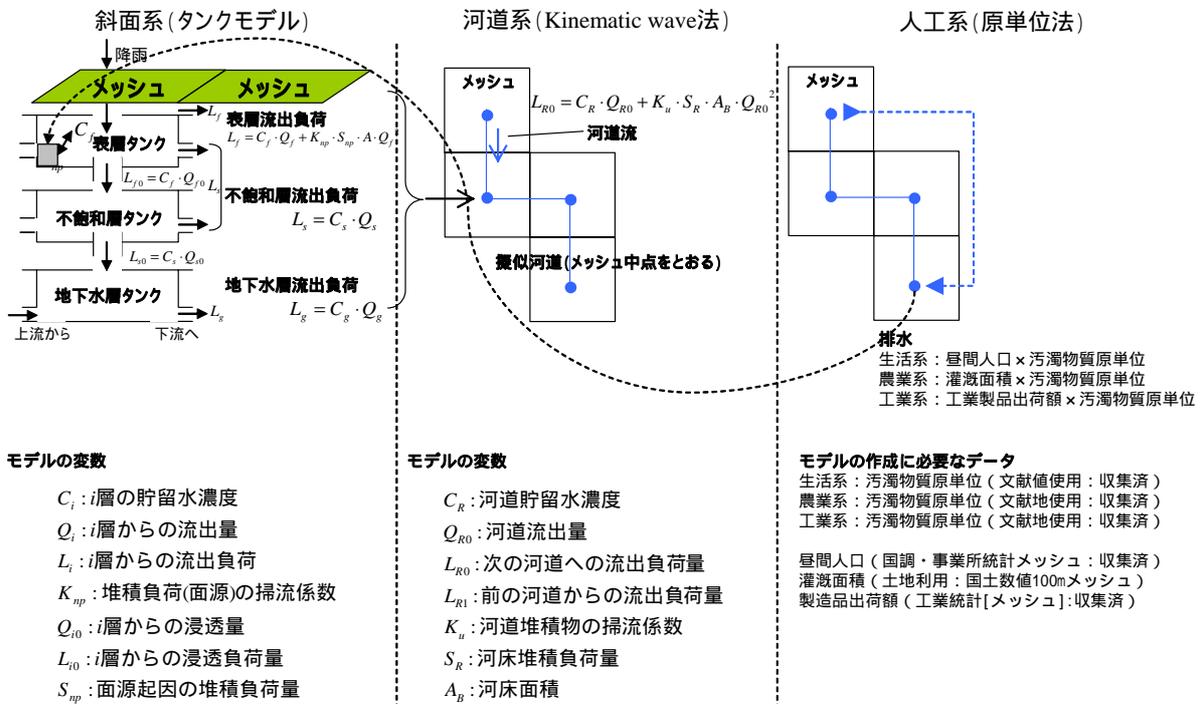


図 2 - 18 汚濁物質移流モデルの構造

(2) 水循環モデル (流量予測モデル)

流量予測モデル

流量を予測するモデルは、斜面系にタンクモデル、河道系に kinematic wave 法を用いた分布型のモデルである。計算時間間隔は 1 時間とし、空間分解能は 1km x 1km (3 次メッシュ) である。

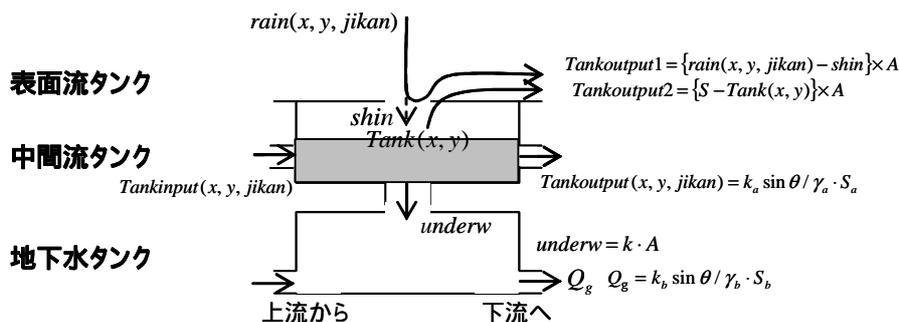
1) タンクモデル (斜面)

流域の各メッシュは、以下の 3 層構造のタンクで表現される。地表面への降雨は、浸透能を超過した場合に地表面流として流出する (下図 Tankoutput1)。一方、中間流タンクへの浸透流 (下図 shin) は、土壌厚 (=タンク深さ) を上限に貯留される。ここで、貯留高が土壌厚を超過した場合、超過分は表面流として地表を流れる (下図 Tankoutput2)。これらの表面流は、時間毎に kinematic wave 法へと受け渡される。

一方、中間流は浸透流の他に上流のメッシュからの流入があり (下図 Tankinput(x,y,jikan))、n-1 時間前の貯留量とあわせることで n 時間における貯留量を求めることができる (Tank(x,y))。このタンクからの流出は、側方タンクへの流出 (Tankoutput(x,y,jikan)) と地下への流出である (下図)。Tankoutput はダルシー則を適用して、

$$Tankoutput(x, y, jikan) = k \sin \theta / \gamma \cdot S$$

で推計した。S は中間流タンクの水深であり、Tank(x,y) と mesh 面積 A から求めることができる。透水係数 k、勾配 sin、有効空隙率は地形・土地利用・土壌から設定できる。したがって、以上の計算を上流の mesh から順次計算することによりタンクモデルによる推計が可能である。なお、河道があるメッシュでは、地表面流・中間流とも河道に流出すると考えている。



rain(x, y, jikan): x, yにあるメッシュのjikan時間の降水量
 Tankoutput1: 雨量 > 浸透能の際の表面流
 Tankoutput2: 中間流の貯水位 > タンク深の際の越流
 shin: 浸透量
 Tankinput(x, y, jikan): x, yにあるメッシュのjikan時間に流入する中間流
 Tankoutput(x, y, jikan): x, yにあるメッシュのjikan時間に流出する中間流
 underw: 地下水への浸透量
 S_a: 中間流タンクの水深 k_a: 中間タンク透水係数 γ_a: 中間タンク有効空隙率
 S_b: 地下水タンクの水深 k_b: 地下タンク透水係数 γ_b: 地下タンク有効空隙率
 sin θ: mesh間の勾配

図 2 - 19 タンクモデルの構造

2) Kinematic wave モデル (河道・表面流)

Kinematic wave モデルでは、mesh の中心点を結んだ擬似河道網を作成し、各 mesh からの直接流出成分 (タンクモデルから受け渡されるもの) を、この擬似河道を伝播して流域出口まで追従計算を行うことで流量を求めている。追従計算では、流路への流入・流出をメッシュ中心点で行うものと想定し (下図式(1))、当該メッシュの直接流出成分と上流 mesh からの流入からなるものと仮定した。擬似河道網の伝播については、マンニング則を用いた下図の式(2)を適用して流速を求め、メッシュ中心間の距離から到達時間を求めている。

下図はあるメッシュ中心から下流のメッシュ中心への流量計算の考え方を整理したものである。式(2)を適用すると、メッシュ中心間の伝達時間は上流端の流量を用いて計算できるため、発時間毎に直線を引くことができる。t1、t2 を発した流量は、その差が小さい場合は合流せずに流れるが、差が大きい場合には図のような合流を繰り返す。合流後の流量は各発時点の流量総和となり、再び式(2)を用いて流速を求めると合流点からの直線を求めることが可能となり、下流メッシュ中心点への到達時間が求められる。

以上の計算を発時間毎に行い、上流端のメッシュから下流のメッシュへと順次、到達時間と流量を引き渡すことで、全河川での流量を計算することができる。

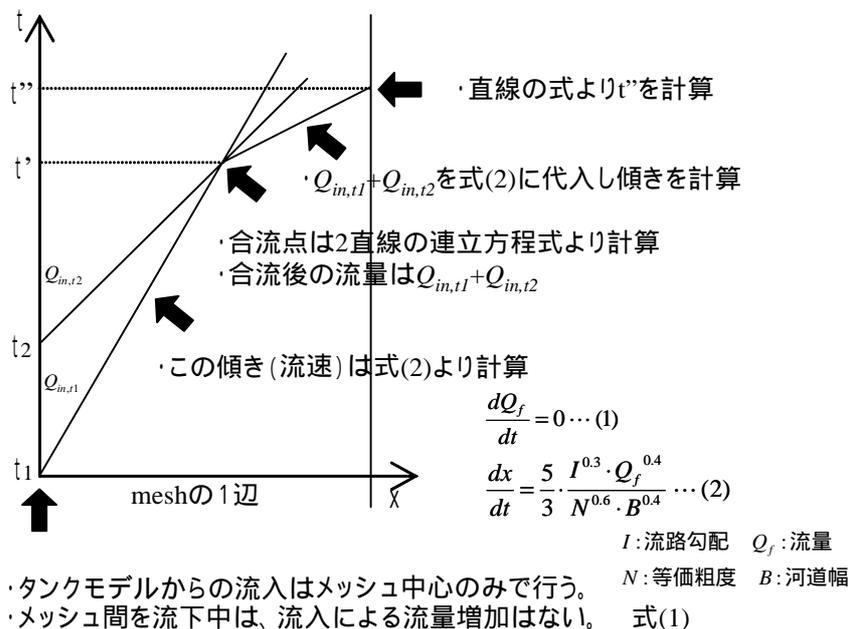


図 2 - 20 Kinematic wave モデルの構造

基底流量の再現

基底流量については、「河道のあるメッシュ」において地下水から基底流出されると仮定し、流域に数ポイントある河川流量観測所の晴天時の流量（基底流量）をチェックデータに、タンクモデルにおける地下水タンクのパラメータ（土地利用別保水能力[計算の初期条件]、地下水タンクの深さ、垂直・水平方向の透水係数など）を調整した。

雨量分布データの作成

収集した雨量データは、次々頁に示したように観測所の時系列データである。しかし、モデルに使用する場合には、流域の面的な雨量データが必要となる。そこで流域の標準3次メッシュが、どの観測所のデータと対応するのかをVoronoi図を用いて検討した。下図はVoronoiで分割した観測所の区域図である。次頁の図は、この区域図に基づき作成した2002年7月10日7時～12時までの雨量分布図である。モデル検討のために設定した他の期間についてもどのように雨量分布データを作成した。

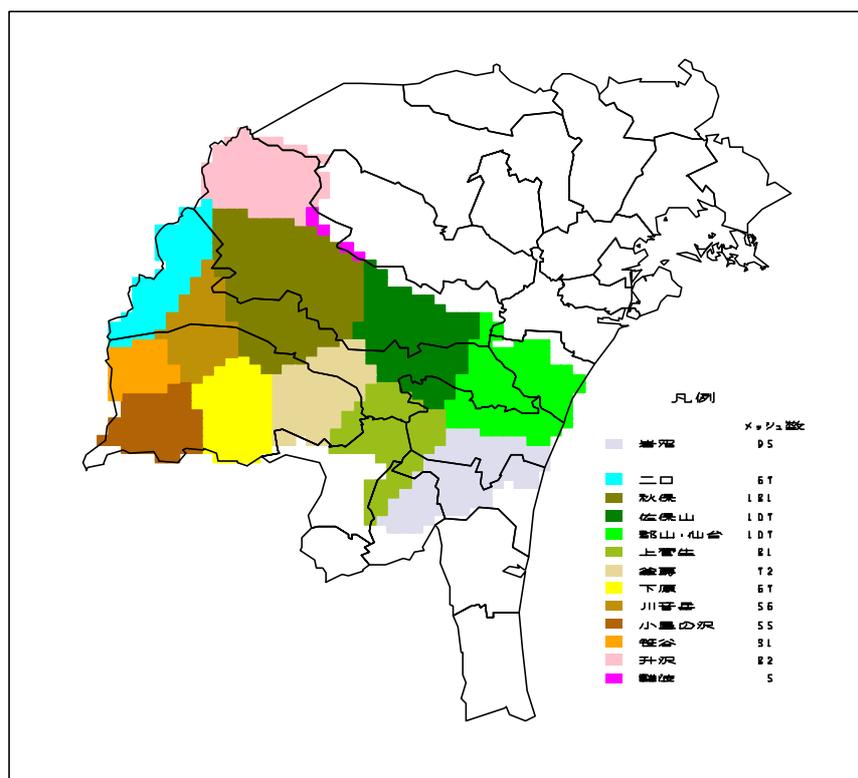
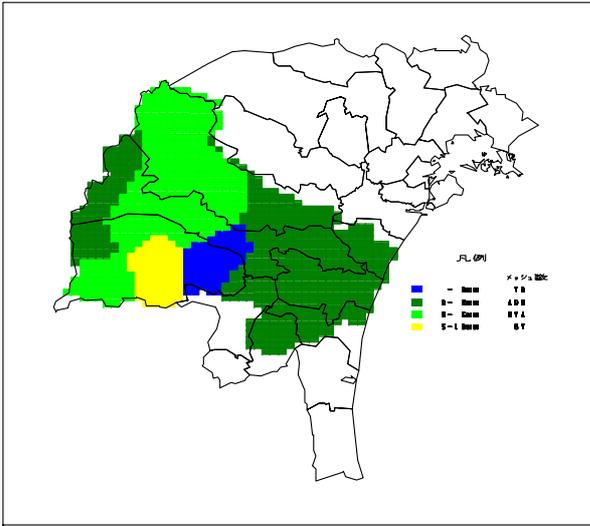
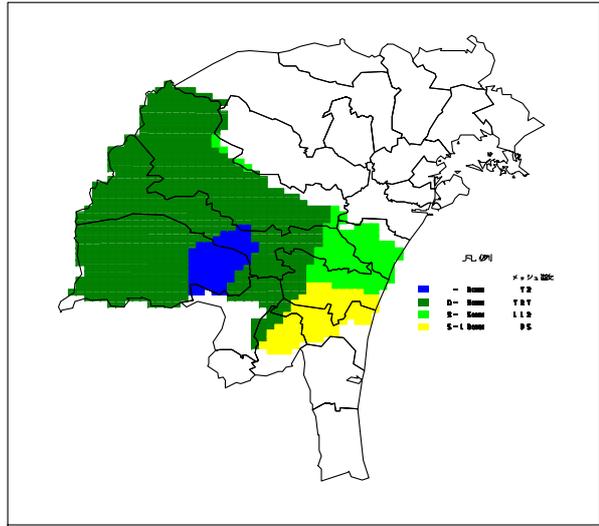


図2 - 21 観測所と3次メッシュの対応

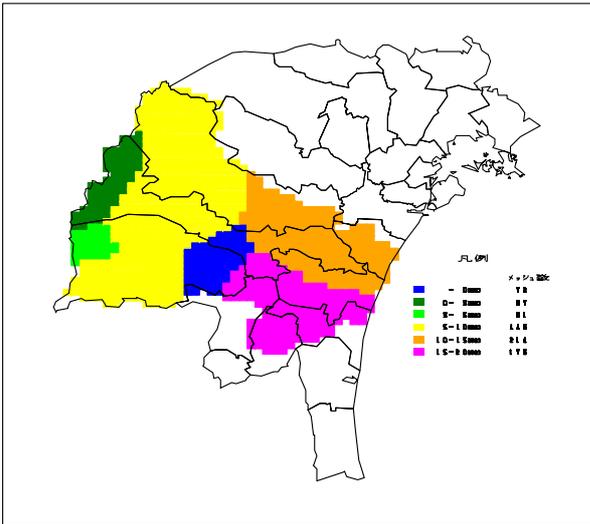
雨量観測データ(河川局管理)
YEAR=2002 ,MONTH=7 ,DAY=10 ,HOUR=7



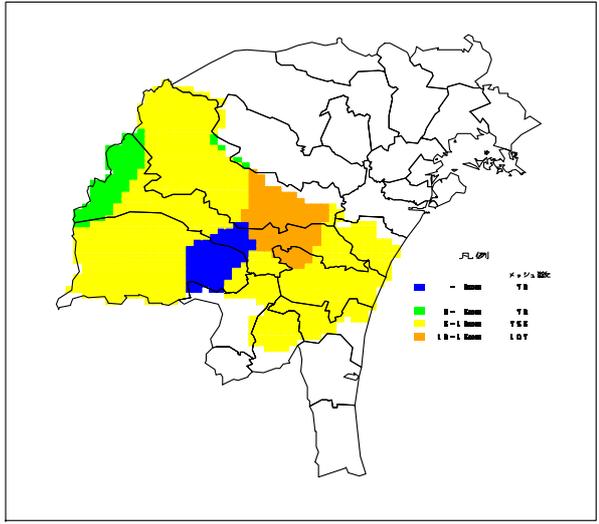
雨量観測データ(河川局管理)
YEAR=2002 ,MONTH=7 ,DAY=10 ,HOUR=8



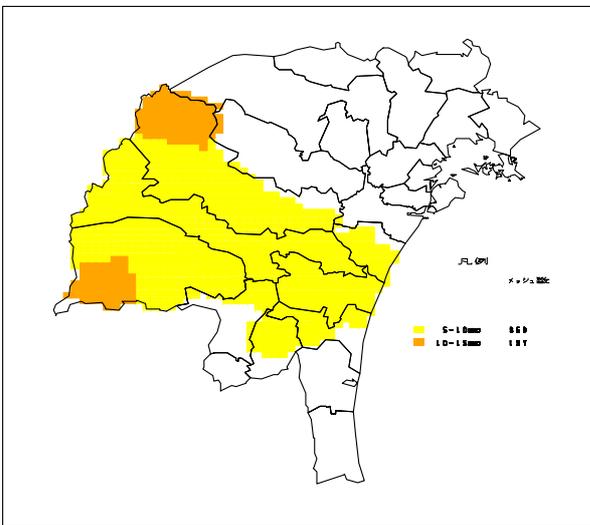
雨量観測データ(河川局管理)
YEAR=2002 ,MONTH=7 ,DAY=10 ,HOUR=9



雨量観測データ(河川局管理)
YEAR=2002 ,MONTH=7 ,DAY=10 ,HOUR=10



雨量観測データ(河川局管理)
YEAR=2002 ,MONTH=7 ,DAY=10 ,HOUR=11



雨量観測データ(河川局管理)
YEAR=2002 ,MONTH=7 ,DAY=10 ,HOUR=12

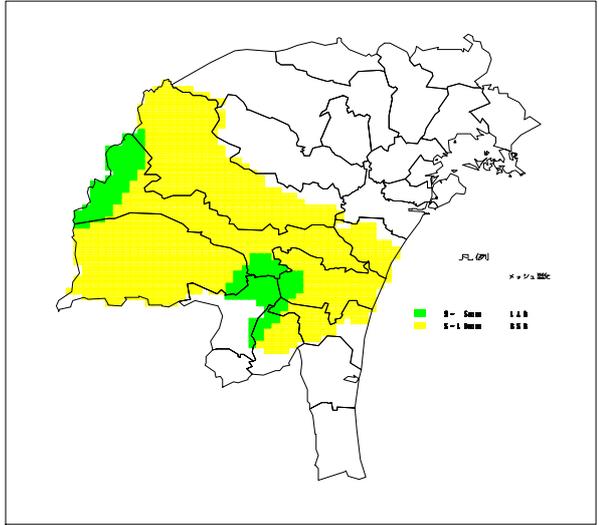


図 2 - 22 雨量分布図 (2002 年 7 月 10 日 7 時 ~ 12 時)

計算優先度の設定

自然系水循環モデルで計算を行う場合、Kinematic wave 法の特性から上流から順々に計算する必要がある。そこで、流域の全 3 次メッシュに対して上流端から下流端に向けて昇順に計算優先度を設定した。

まず、3. で収集した 3 次メッシュ別標高データから、隣接メッシュへの 8 つの勾配を計算し、その最大値となる方向を流下方向と設定した。ただし、流路に該当するメッシュについては、上記の方法では正確な流下方向を設定できないため、流路該当メッシュを抽出し（下図）上記と同様の方法で流下方向を設定し、最終的には地形図と対比させながら流下方向を決定した。

全メッシュの流下方向が決定したのち、各上流端から下流端に向けてメッシュを移動することに優先度を 1 追加し、全メッシュの優先度を設定した。次々頁の図が優先度をランクで表示したものである。

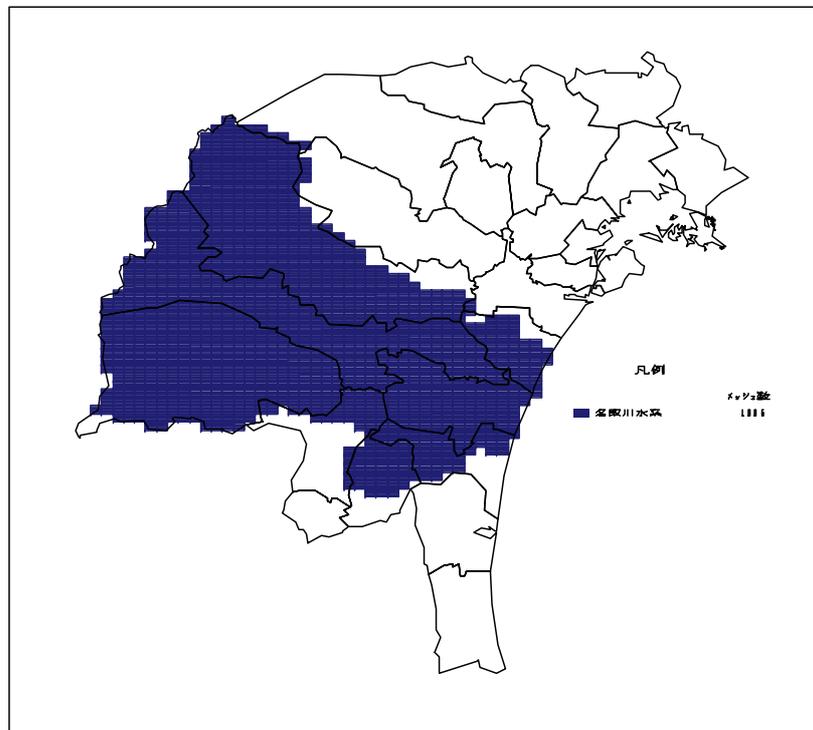


図 2 - 23 名取川水系の流域メッシュ

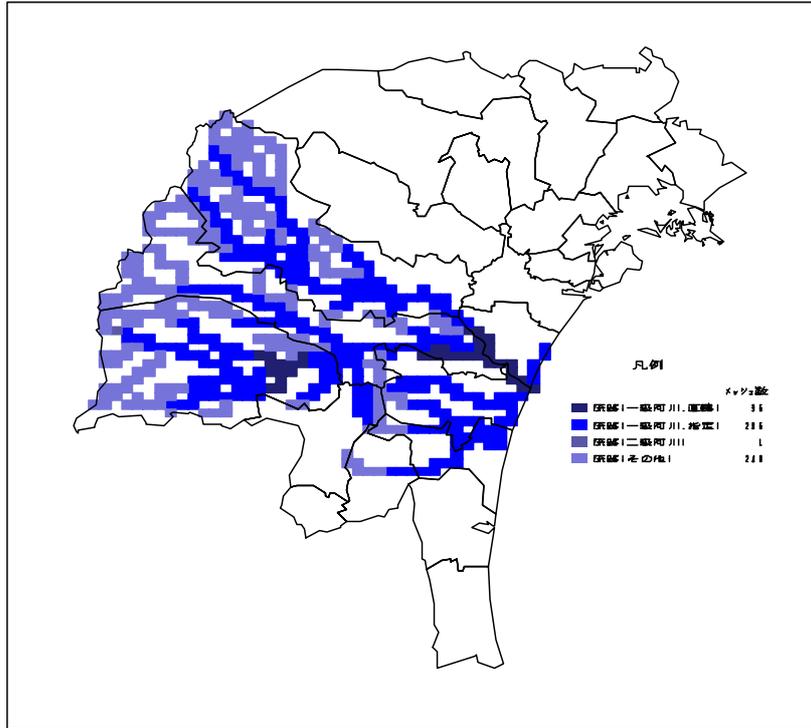


図 2 - 24 名取川水系の流路該当メッシュ

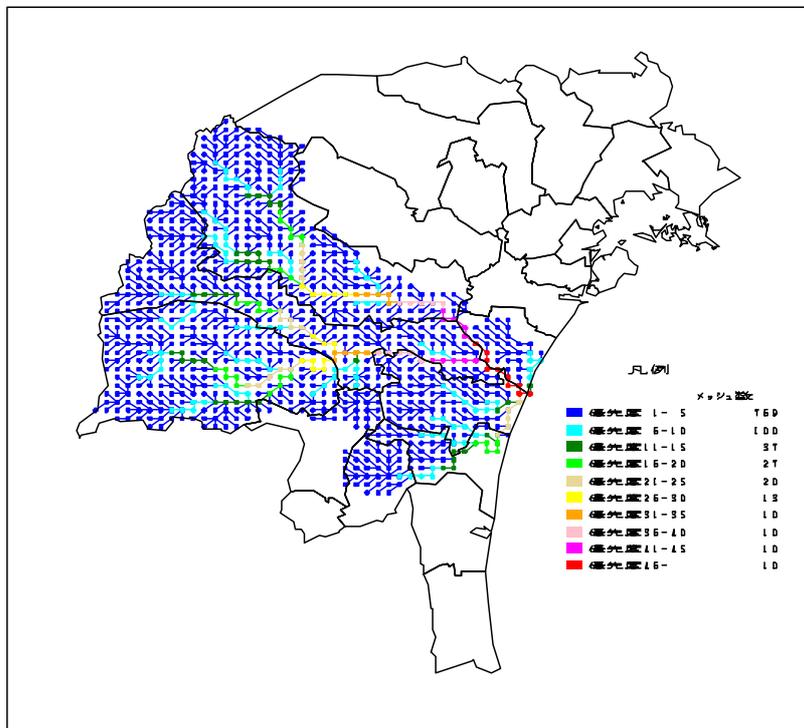
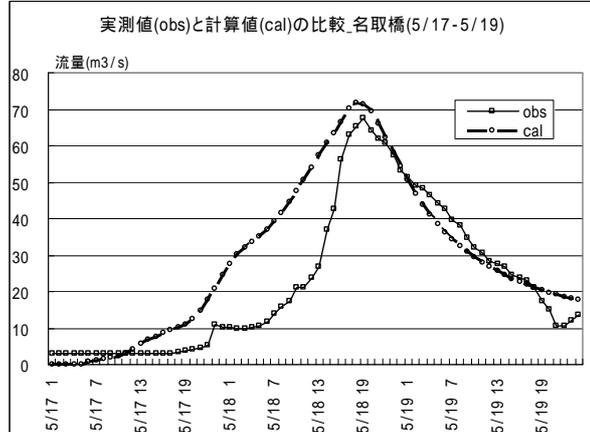
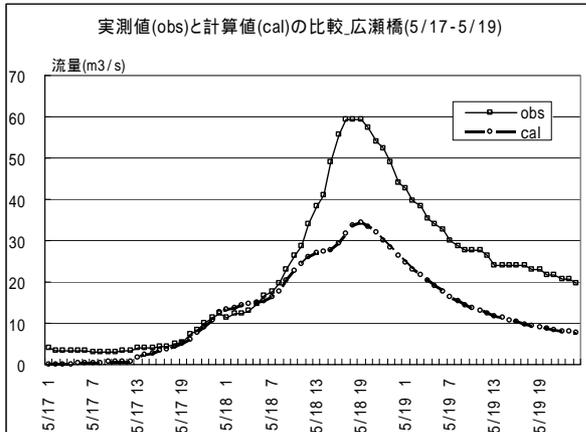


図 2 - 25 優先度ランク図

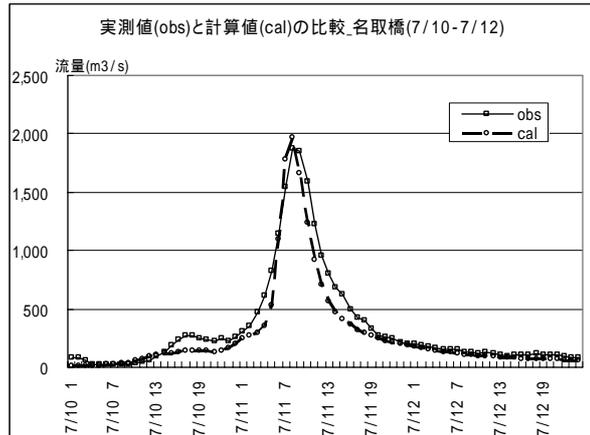
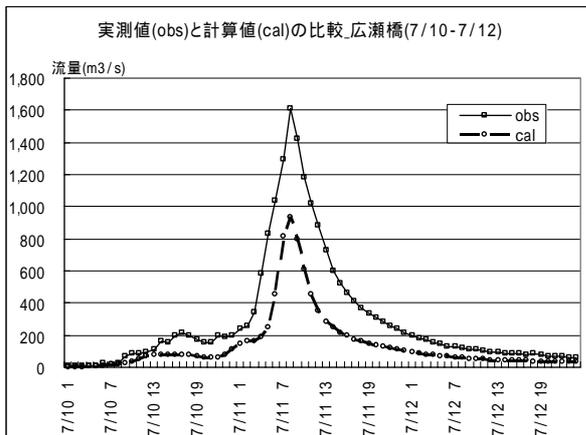
流量シミュレーション結果

幾つかの観測データ（次頁参照）を用いて、モデルの現況再現性を確認した。なお、計算値が実測値にフィットするように、文献値を参考にパラメータの調整を行っている。

2002/5/17-19



2002/7/10-12



2002/10/21-22

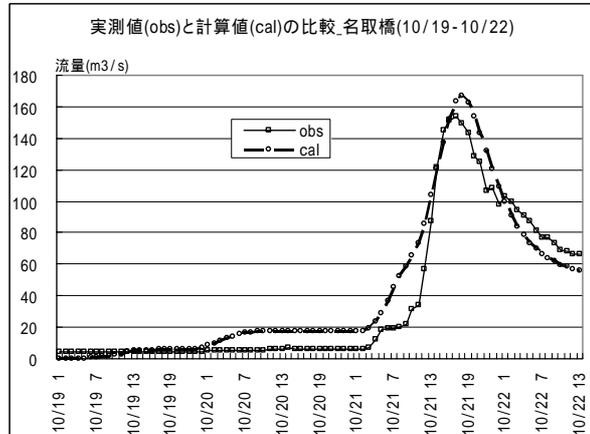
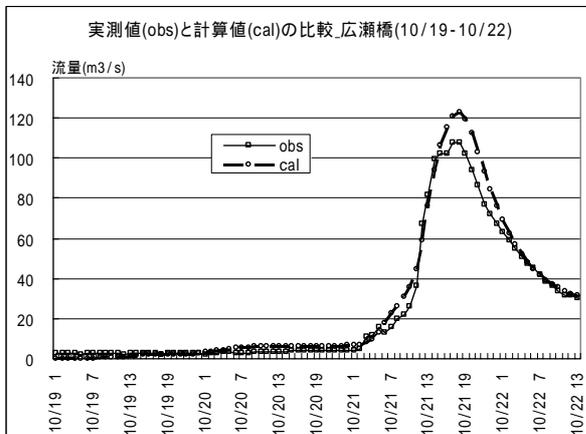


図 2 - 26 現況再現性の確認結果

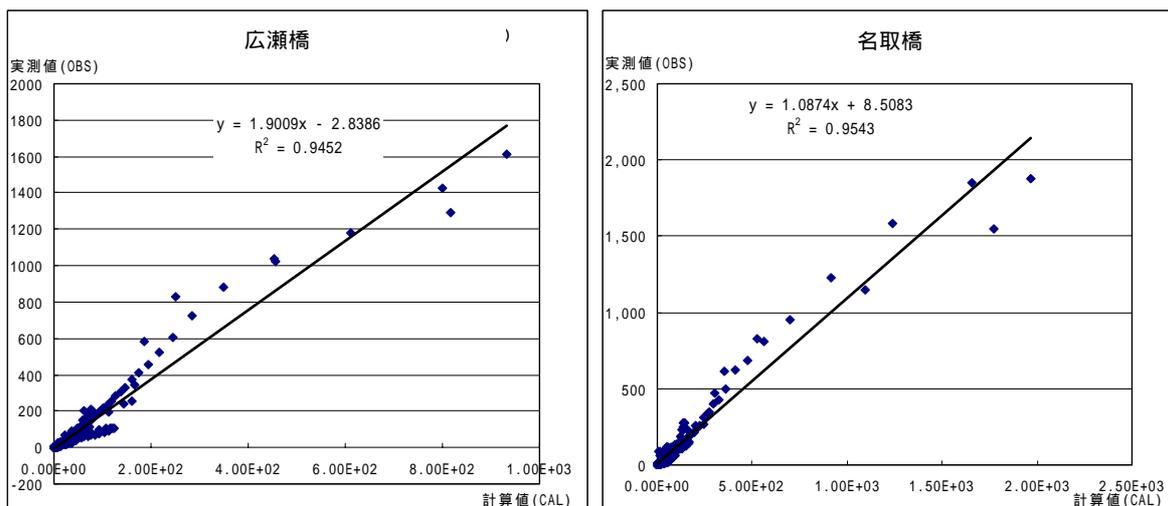


図 2 - 27 実測値(OBS)と計算値(CAL)の比較

参考：研究会で提案したモデル検討用流量データ

河川流量の分析結果より、流量の現況再現は 1) 2002/5/17-19、2) 2002/7/10-12、3) 2002/10/21-22、4) 基底流量でチェックすることが望ましく（下表参照）、これらのデータを抽出した。

表 2 - 19 現況再現の確認に使用するデータの観測日および流量状況

観測日	観測所 (流量)	最大流量 (m ³ /s)	観測所 (雨量)	最大時間 雨量(mm/h)	累積雨量 (mm)
2002/5/17-5/19	名取橋	67.5m ³ /s	佐保山	3mm/h(断続)	48mm
2002/7/10-7/12	名取橋	1876.0m ³ /s	佐保山	30mm/h(2h)	227mm
2002/10/21-10/22	名取橋	153.5m ³ /s	佐保山	10mm/h(2h)	89mm
基底流量(農耕期)	名取橋	2-6 m ³ /s			
基底流量(農閑期)	名取橋	9-15 m ³ /s			

農耕期は取水状況を見ると 4/25-9/5 と設定できる

(3) 物質循環モデル(水質予測モデル)

排出負荷量推計モデル

1) 住宅排水からの排出負荷

住宅からの排出負荷は、人口に原単位(1人当たりの排出量)を乗じて推計した。人口は国勢調査地域統計データの3次メッシュ(1km×1km)のデータを使用し、原単位として以下の表の値を使用した。ただし、下水道等の処理施設が整備されている地域(処理区域図参照)では、これらの施設で処理されて排出される。したがって、各施設の位置と処理効率を設定し、メッシュ別の負荷量を推計した。なお、処理効率は下水道統計より設定した。

表2-20 住宅からの排出負荷原単位

		生活下水基本原単位(BF) g/人日	家庭内排出率(α) %	家庭下水発生負荷原単位(GF1) g/人日
し尿	BOD	18	0.8	14.4
	TN	10	0.72	7.2
	TP	1	0.76	0.76
雑排水	BOD	32	0.8	25.6
	TN	2	0.8	1.6
	TP	0.43	0.95	0.4085

表2-21 下水処理場の除去率

処理場	水質(mg/l)						除去率
	流入			流出			
	BOD	SS	N	BOD	SS	N	
南蒲生	205	205		20	30		90.2%
広瀬川	235	225	35	3	5	7	98.7%
定義	230	180		7	7		97.0%
秋保	230	180		20	20		91.3%
釜房	200	180		20	30		90.0%
青根	220	180		20	30		90.9%

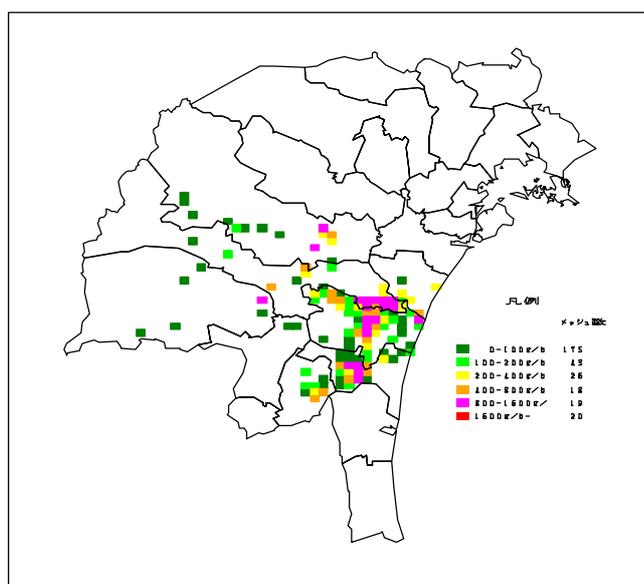


図2-28 住宅からの汚濁負荷排出量

2) 工場排水からの排出負荷

工場からの排出負荷は、製造品出荷額に原単位（出荷額当たりの排出量）を乗じて推計した。製造品出荷額は工業統計の3次メッシュのデータを使用し、原単位は産業細分類別の値を使用した（別紙参照）。工業統計3次メッシュデータは秘匿値が4割と多いため、工業統計詳細情報（都道府県、市町村別データ）などで補足して使用した。

また、河川から離れた工場については下水道等で処理するものと設定し、下水処理施設に該当するメッシュから、処理されて排出するものとした（処理効率は1）と同じ）。

表2 - 22 産業分類（細分類）別排出負荷原単位（一部抜粋）

産業分類コード	業種名	原単位			
		排水量 (m ³ /日/百万円)	BOD (g/日/百万円)	T-N (g/日/百万円)	T-P (g/日/百万円)
1211	肉製品製造業	0.049	61	4.3	1.3
1212	乳製品製造業	0.089	53	3.2	0.8
1219	その他の畜産食料品製造業	0.136	138	23.6	5.0
1221	水産缶詰・瓶詰製造業	0.097	172	0.4	0.0
1222	海藻加工業	0.018	38	1.1	0.3
1223	寒天製造業	0.599	809	1.7	
1224	魚肉ハム・ソーセージ製造業	0.081	65	2.2	0.4
1225	水産練製品製造業	0.051	49	2.1	0.2
1226	冷凍水産物製造業	0.041	61	4.0	0.7
1227	冷凍水産食品製造業	0.066	80	6.6	1.4
1229	その他の水産食料品製造業	0.057	86	7.3	1.3
1231	野菜缶詰・果実缶詰・農産保存食料品製造業（野菜漬物を除く）	0.148	164	11.7	3.8
1232	野菜漬物製造業（缶詰、瓶詰、つぼ詰を除く）	0.105	133	10.5	2.1

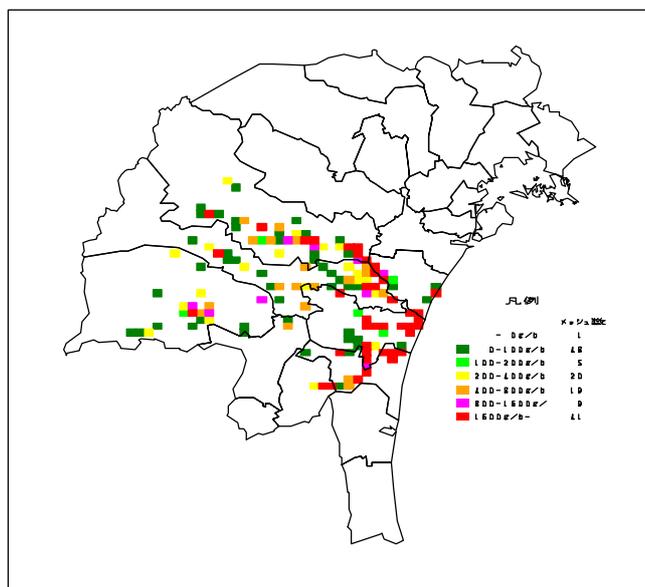


図2 - 29 工場からの汚濁負荷排出量

3) 畜舎排水からの排出負荷

畜舎（牛、豚、鶏）からの排出負荷は、飼育頭数に発生原単位（頭または羽当たりの排出量）と処理形態別の排出率を乗じて推計した。頭数は対象地域の仙台市・川崎町の統計値を、1:25,000の地形図とホームページの情報から読み取った畜舎のあるメッシュ数で均等配分して、メッシュ別の頭数を求めた（該当メッシュは別紙参照）。また、糞尿処理の形態については、「家畜排せつ物の利用の促進を図るための宮城県計画」から現況の処理状況を抽出して設定した。なお、排水処理は混合高級処理と仮定した。

表 2 - 23 畜舎からの汚濁負荷発生原単位

	(l/頭/日, g/頭/日)		
	牛	豚	鶏
水量	45	13.5	0
BOD	640	200	6.7
TN	40	290	2.25
TP	25	50	0.75

表 2 - 24 糞尿処理形態別の排出率

	(%)				
	混合高級	分離簡易	分離高級	農地還元	野積み
BOD	5%	31%	3%	2%	5%
TN	52%	51%	40%	20%	40%
TP	28%	31%	19%	2%	5%

表 2 - 25 宮城県の畜産糞尿処理状況

排水処理	農地還元	うち野積み
8.9%	91.3%	48.0%

太字が現場で排出。野積みの水量は0

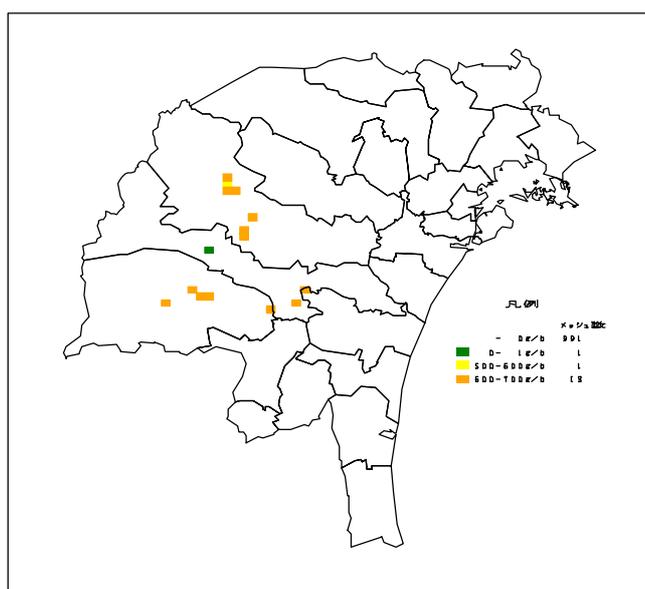


図 2 - 30 畜産からの汚濁負荷排出量

4) 山林、田、畑、市街地からの排出負荷

山林、田、畑、市街地からの排出負荷は、土地利用面積に原単位（面積当たりの排出量）を乗じて推計した。土地利用面積は国土数値情報の3次メッシュのデータを使用し、各原単位として以下の表の値を使用した。

表2 - 26 山林、田、畑、市街地における排出負荷原単位

(山林はg/ha day、その他はkg/ha year)

	山林	畑	田	市街地
BOD	8.0	26.8	150.0	128.2
TN	11.0	68.6	8.9	16.5
TP	0.5	0.7	2.0	2.2

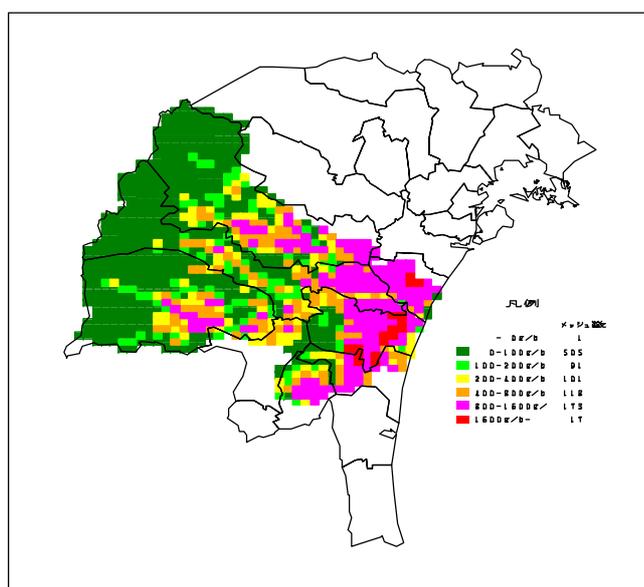


図2 - 31 面源からの汚濁負荷排出量

排出負荷の原単位は非常に幅があり、また、各値は作成する際に使用したデータの取得条件に大きく左右されるなど、排出量の確定値が得られない状況にある。今後、モデルの精査と併せて、排出負荷原単位の見直しを行う可能性が高い。

水質予測モデル

1) タンクモデルにおける水質予測

タンクモデルでの負荷量計算は、以下の連立微分方程式を解くことで推計を行う。
ここでは数学的に解くのではなく、プログラムによる順次計算により簡便化する。

晴天時流出負荷量（点源流出）

地表面（河川）のみ $L_{po} = fL_p$

雨天時流出負荷量（面源流出 + 点源掃流 + 面源掃流）

表面流 $L_a = C_a R_a A + k_{wp} S_{ap} R_a A + k_{wr} S_{ar} R_a^2 A$
濃度 × 流量 点源掃流 (流量と堆積量に比) 面源掃流 (流量の2乗と堆積量に比)

中間流 $L_{bout} = C_b R_b A$

浸透負荷量

地表面 中間流タンク $L_{ab} = C_a R_{ab} A$
 中間流タンク 地下水タンク $L_{bc} = C_b R_{bc} A$
負荷量の計算で必要となるのは、Ca, Sap, Sar である。

表面流 (kinematic に入る前)

表面流の濃度変動（連続式）

$$A \frac{d(C_a H_a)}{dt} = \underbrace{C_r R A}_{\text{雨の負荷量}} - \underbrace{C_a R_a A}_{\text{表面流負荷量}} - \underbrace{k_{a1} C_a H_a A}_{\text{吸着(負荷量)}} + \underbrace{k_{a2} S_{ar} A}_{\text{脱着(負荷量)}} - \underbrace{C_a R_{ab} A}_{\text{浸透負荷量}} \dots (1)$$

点源堆積物の変動（連続式）

$$A \frac{dS_{ap}}{dt} = \underbrace{(1-f)L_p}_{\text{非流出率} \times \text{点源負荷}} - \underbrace{k_{dp} S_{ap} A}_{\text{減衰負荷量}} - \underbrace{k_{wp} S_{ap} R_a A}_{\text{点源掃流負荷}} \dots (2)$$

面源堆積物の変動（連続式）

$$A \frac{dS_{ar}}{dt} = \underbrace{L_{np}}_{\text{面源負荷量}} - \underbrace{k_{dr} S_{ar} A}_{\text{減衰負荷量}} + \underbrace{k_{a1} C_a H_a A}_{\text{吸着(負荷量)}} - \underbrace{k_{a2} S_{ar} A}_{\text{脱着(負荷量)}} - \underbrace{k_{wr} S_{ar} R_a^2 A}_{\text{面源掃流負荷}} \dots (3)$$

後 Ca と Sap を一旦求める。その後 Sar と Sap を求め、その後再度 Ca と Sar を求め、を導く

中間流

中間流の濃度変動（連続式）

$$A \frac{d(C_b H_b)}{dt} = \underbrace{C_a R_{ab} A}_{\text{浸透負荷量 in}} + \underbrace{L_{bin}}_{\text{中間流負荷量}} - \underbrace{L_{bout}}_{\text{中間流負荷量 out}} - \underbrace{C_b R_{bc} A}_{\text{浸透負荷量 out}} - \underbrace{k_b \left\{ C_b H_b + r \frac{SC_b + SC_{b0}}{SC_{b0}} SC_b H_{bm} \right\} A}_{\text{吸着(負荷量) 脱着(負荷量)}} \dots (4)$$

土壌内蓄積・溶脱過程（連続式）

$$A \frac{d(SC_b H_{bmx})}{dt} = k_b \left\{ \underbrace{C_b H_b}_{\text{吸着(負荷量)}} - r \frac{SC_b + SC_{b0}}{SC_{b0}} SC_b H_{bmx} \right\} A - \underbrace{k_{db} SC_b H_{bmx} A}_{\text{減衰負荷量}} \quad \dots (5)$$

後 CbHb を一旦求める。 の後 SCb を求め、 の後再度 CbHb を求め、 を導く

L_p :点源排出負荷(kg/hr), A :mesh 面積(km²), f :晴天時流出率, C_a :表面流中の濃度(mg/l), C_b :中間流中の濃度(mg/l), k_{wp} :点源由来堆積物の掃流係数(1/mm), k_{wr} :面源由来堆積物の掃流係数(hr/mm²), R_a :表面流の流出高(mm/hr), R_b :中間流の流出高(mm/hr), R_{ab} :地表面から中間流タンクへの浸透高(mm/hr), R_{bc} :中間流タンクから地下水タンクへの浸透高(mm/hr), S_{ap} :点源由来堆積物(kg/m²), S_{ar} :面源由来堆積物(kg/m²), H_a :地表面の貯水位(mm), H_b :中間流タンクの貯水位(mm), H_{bmx} :中間流タンクの貯水位最大値(=土壌厚), k_{dp} :表面流点源堆積物の減衰係数(1/hr), k_{dr} :表面流点源堆積物の減衰係数(1/hr), k_{db} :中間流堆積物の減衰係数(1/hr), k_{a1} :表面流吸着速度係数(1/hr), k_{a2} :表面流脱着速度係数(1/hr), k_b :中間流吸脱着速度係数(1/hr), C_r :降雨濃度(mg/l), R :降雨量(mm/hr), SC_b :中間流タンクの土壌内蓄積量(kg/m²), r :吸着平衡定数, SC_{b0} :吸着飽和係数

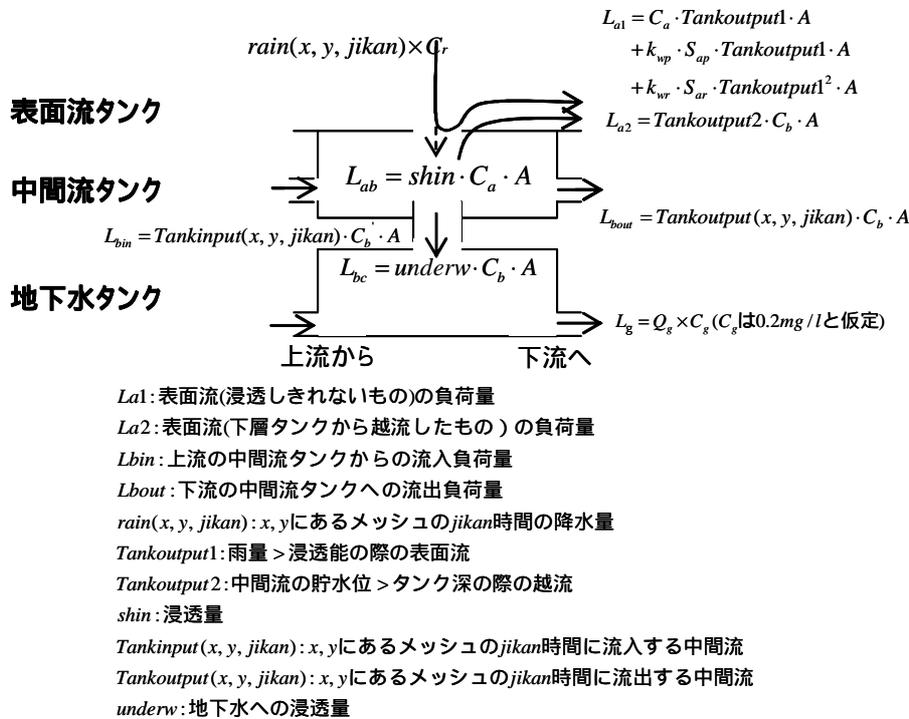


図 2 - 32 水質予測（タンクモデル）

2) kinematic wave 法による水質追従計算

kinematic wave 法での負荷量計算は、以下の連立式を解くことで解が導かれる。Sr の初期値を 0 とし、t 時間の Sr 増減分を積み上げることで Sr を求め (式 2)、式 1 より Lout を求める。

$$L_{out} = L_{in} \cdot \exp(-(k_1 + k_3)t) + k_w \cdot S_r \cdot Q_{in} \quad \dots (1)$$

$$\frac{dS_r}{dt} = L_{in} \cdot (1 - \exp(-(k_1 + k_3)t)) - k_w \cdot S_r \cdot Q_{in} \quad \dots (2)$$

しかし、kinematic wave 法は下図に示すように流量の追従計算を行っているため、時刻 t_1 に出発した流量 Q_1 と時刻 t_2 に出発した Q_2 が流下途中で合流する可能性がある。負荷量 L_1 、 L_2 についても同様に、合流すること考えなければならないが、これを式 2 について考えると、メッシュを横切る流路(おおよそ 1km)の中で距離別に堆積量が異なることを意味しており、煩雑度が飛躍的に増す (CPU 容量が足りなくなる)。

そこで、便宜的に、下流端における流量と流速から、この流路を通過した時間を求め、この時間と流量、下流端での負荷量 Lin から式 2 より堆積量 Sr を求め、式 1 の負荷量 Lout を推計した。

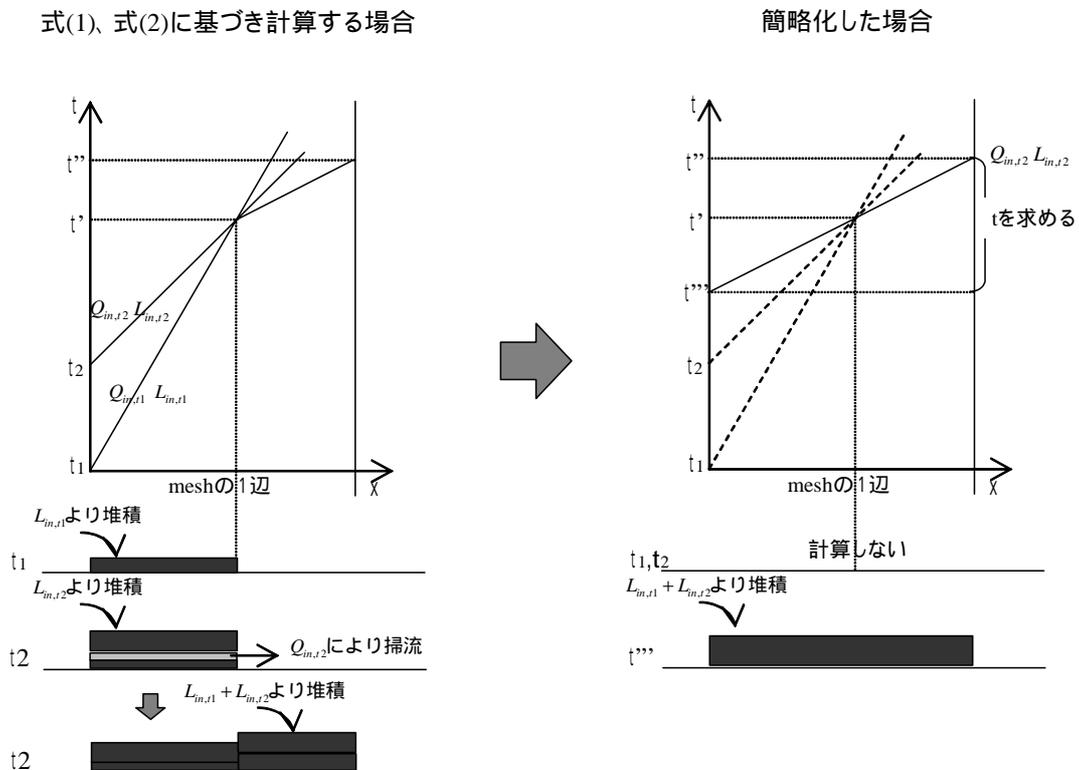


図 2 - 33 水質追従計算方法

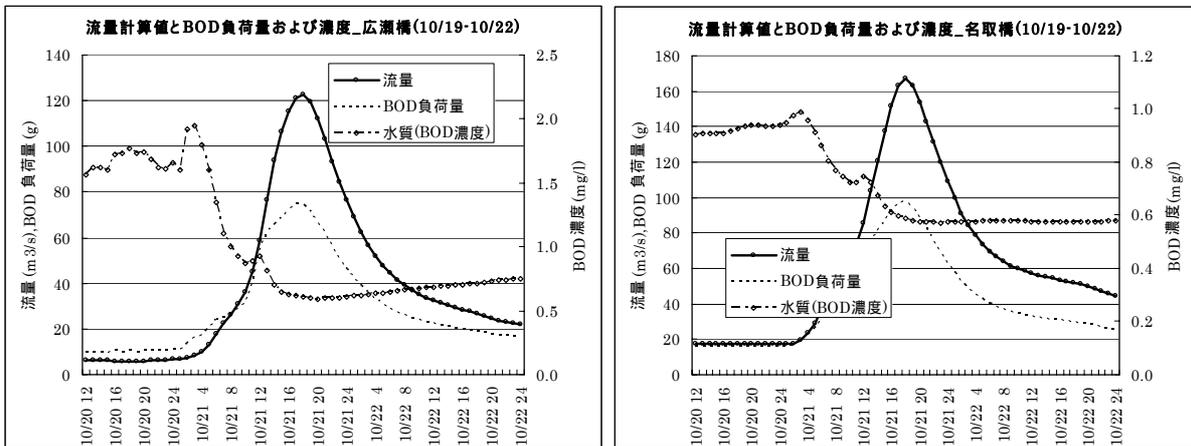
水質(BOD濃度)予測モデルの再現性

水質予測モデルについては、流量が比較的良好に再現されている10/19～10/22の期間を対象に、水質(BOD濃度)を予測した。

BODの予測値は、広瀬橋でMAX 1.9、MIN 0.6、名取橋でMAX 0.9、MIN 0.6である。実測濃度をみると(下図、--- ---) 広瀬川は通年で0.5～1.8mg/l、予測日の周辺では10/16が1.5mg/l、11/6は0.8mg/l、名取川は通年で0.6～1.6mg/l、予測日の周辺では10/16が1.4mg/l、11/6は0.8mg/lとなり比較的良好な推計範囲に収まっている。

現行の推計では、工場からの排出負荷量が若干過大に推計されている可能性があり、宮城県や仙台市の条例などの排出基準を参考に、排出負荷量の精度を高める必要がある。

<予測結果>



<現況値>

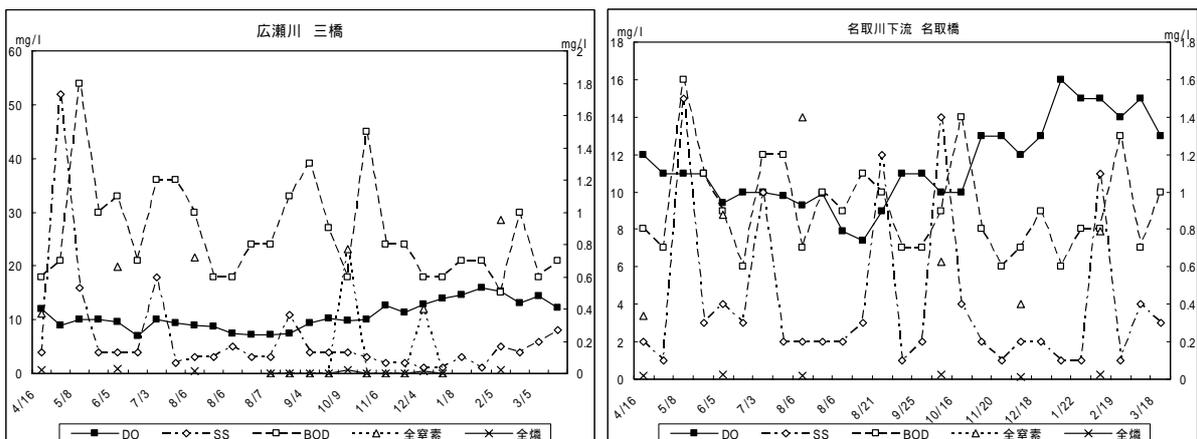


図2 - 34 水質(BOD濃度)予測モデルの再現性(名取橋)

(4) 人口-土地利用モデルの推定

人口 - 土地利用モデルの位置づけ

水環境モデルでは、地表面の土地利用により浸透能や土壌厚、透水係数が設定されており、土地利用の変更が河川の流量を左右するモデルとなっている。現況では、国土数値情報の3次メッシュ別土地利用データを使用してモデルを構築し、現況再現性を確認しているが、将来ケースでは夜間人口、従業人口の総量及び分布パターンが変化し、土地利用も更新されることから、現況のデータをそのまま使用することはできない。したがって、将来ケースの水環境モデルでは、人口などから将来の土地利用を推計するサブモデルを用意する必要がある。

人口-土地利用モデルの推定式の設定

水環境モデルでは、田、その他の農地、森林、荒地、建物用地、幹線交通用地、その他の用地、河川・湖沼、ゴルフ場の9つの土地利用別に浸透能などのパラメータを与えている。これらの土地利用は3次メッシュ別に土地利用別構成比という形でデータ化されている。したがって、人口-土地利用モデルで具体的に求める値は3次メッシュ別の土地利用別構成比ということとなる。

また、他のモデルから引き渡される変数は、経済モデルからゾーン別の夜間人口、1～3次従業人口、交通モデルから幹線道路の道路延長である。また、ケース設定の際に都市計画区域(市街化区域、市街化調整区域)や森林地域・農振農用地など(以下、「指定地域」という)の設定を変更することが考えられる。したがって、モデルの説明変数としては、夜間人口、1～3次従業人口、指定地域の占有率などが考えられる。

本研究の土地利用モデルでは、ロジット型のシェア・モデルを採用する。ロジット型のシェア・モデルを用いると、用途 j のシェアは次式であらわすことができる。

$$S_{ij} = \frac{a_{ij}}{A_i} = \frac{\exp(\beta_{1j}x_{i1} + \beta_{2j}x_{i2} + \dots)}{\sum_{j=1}^n \exp(\beta_{1j}x_{i1} + \beta_{2j}x_{i2} + \dots)}$$

ここに、 i : 3次メッシュ、 j : 土地利用区分 ($j=1,2,3,\dots,n$)

a_{ij} : i メッシュ、 j 用途の土地面積

A_i : i ゾーンの土地面積

x_{im} : 説明要因

β_{mj} : 未知パラメータ

3次メッシュデータを用いた分析

使用したデータは、平成7年度国勢調査および平成8年度企業・事業所統計調査の地域統計データ(3次メッシュ別の夜間人口、1～3次産業就業人口、2,3次従業人口)、国土数値情報から、土地利用、指定地域(都市計画区域,農業地域,森林地域,自然公園

地域、自然環境地域)、湖沼および流路延長の3次メッシュデータである。

シェア・モデルによる推計方法を以下に示す。で設定した推定式の未知パラメータは、つぎの手順にしたがってモデルを線形化した後、最小二乗推定する。

) 任意の土地利用区分 J を基準にして次式の比をとる (J を除く全ての土地利用区分)

$$\frac{S_{ij}}{S_{iJ}} = \frac{\exp(\beta_{1j}x_{i1} + \beta_{2j}x_{i2} + \dots)}{\exp(\beta_{1J}x_{i1} + \beta_{2J}x_{i2} + \dots)}$$

) 両辺の対数を取り線形化

J を除く全土地利用の数だけ推定式ができる。本研究では S_{ij} に森林面積を、 S_{iJ} に各土地利用面積を代入する。

$$\ln \frac{S_{ij}}{S_{iJ}} = (\beta_{1j}dum_{j1} - \beta_{1J}dum_{J1})x_{i1} + (\beta_{2j}dum_{j2} - \beta_{2J}dum_{J2})x_{i2} + \dots$$

dum_{jm} : ダミー変数 (土地利用により 1 or 0 をとる)

) 土地利用面積 0 を考慮した推定式の設定

$$\ln \frac{S_{ij} + \frac{1}{2A_i}}{S_{iJ} + \frac{1}{2A_i}} = (\beta_{1j}dum_{j1} - \beta_{1J}dum_{J1})x_{i1} + (\beta_{2j}dum_{j2} - \beta_{2J}dum_{J2})x_{i2} + \dots$$

) 上式を全土地利用分プールして最小二乗推定

$\alpha_1 = \beta_{1j}dum_{j1} - \beta_{1J}dum_{J1}$ として $\alpha_1 \dots \alpha_{26}$ を推定

表 2 - 27 土地利用モデルに使用した説明変数およびパラメータ

	森林地域 面積	夜間人口	第1次従 業人口	2次+ 3次従業 人口	農業地域 面積	道路延長	都市計画 区域	流路占有 面積	定数	R-sq
田の面積			26240.34 X_2		0.000276 X_3				-0.30925 X_{19}	0.727
その他農用地面積			21227.17 X_4		0.000168 X_5				-0.28318 X_{20}	0.283
森林面積	0.0005 X_1									0.885
荒れ地面積					-7.3E-05 X_6				-0.18642 X_{21}	0.006
建物用地面積		488.8684 X_7		9.551004 X_8		0.000589 X_{18}			-0.14441 X_{22}	0.843
幹線交通用地面積		78.0019 X_9		8.262623 X_{10}		0.000598 X_{11}			-0.76159 X_{23}	0.177
その他の用地面積			16661.58 X_{12}		-0.00012 X_{13}		9.18E-05 X_{14}		-0.48388 X_{24}	0.152
河川及び湖沼面積					-5.5E-05 X_{15}			2.73E-06 X_{16}	-0.54341 X_{25}	0.324
ゴルフ場					-8.3E-05 X_{17}				-0.66766 X_{26}	0.034

上段:パラメータ 下段:変数名

水環境モデルでは、森林や建物用地の推定がモデルの精度を大きく左右するために特に重要である。図 2 - 35,36 で森林および建物用地の現況再現性を確認した。現況値と推計値の回帰直線の傾きは約 1.0 であり、R-sq も 0.84 ~ 0.88 と良好な再現性を有している。現況値と推計値を土地利用全体で比較した場合においても R-sq は 0.90 と良好な結果となった。

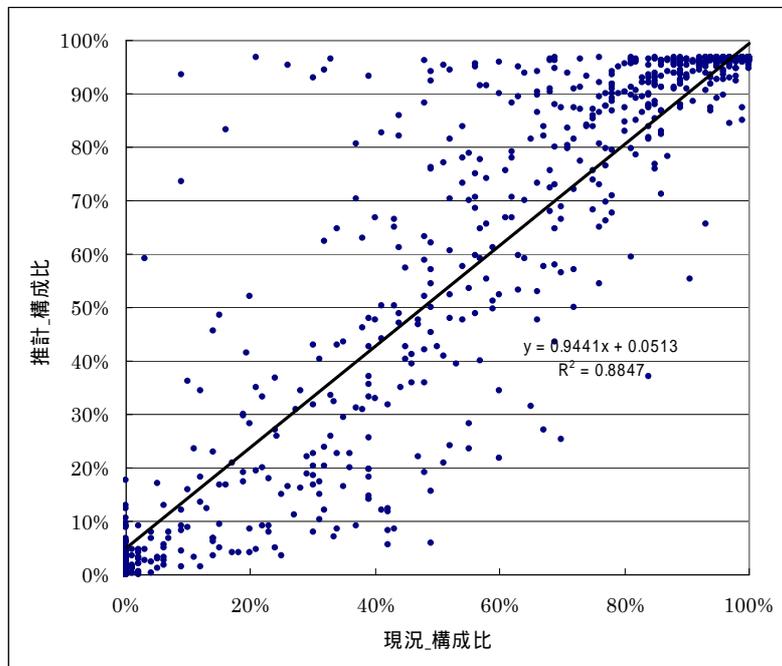


図 2 - 35 森林面積構成比の比較 (現況値-推計値)

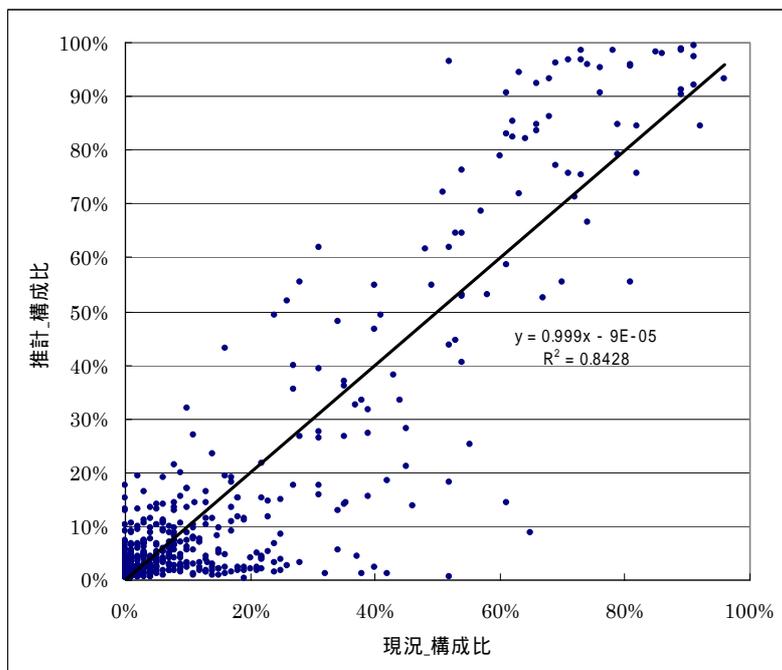


図 2 - 36 建物用地面積構成比の比較 (現況値-推計値)

人口-土地利用モデル

開発区域以外の区域（趨勢区域）については、のパラメータ推定により得られた土地利用構成比の推計式を適用し、副都心のようにあらかじめ開発が決まっている区域（開発区域）については、現況の土地利用構成比を参考に構成比をあらかじめ設定した（建物用地 85%、幹線交通用地 15%）。

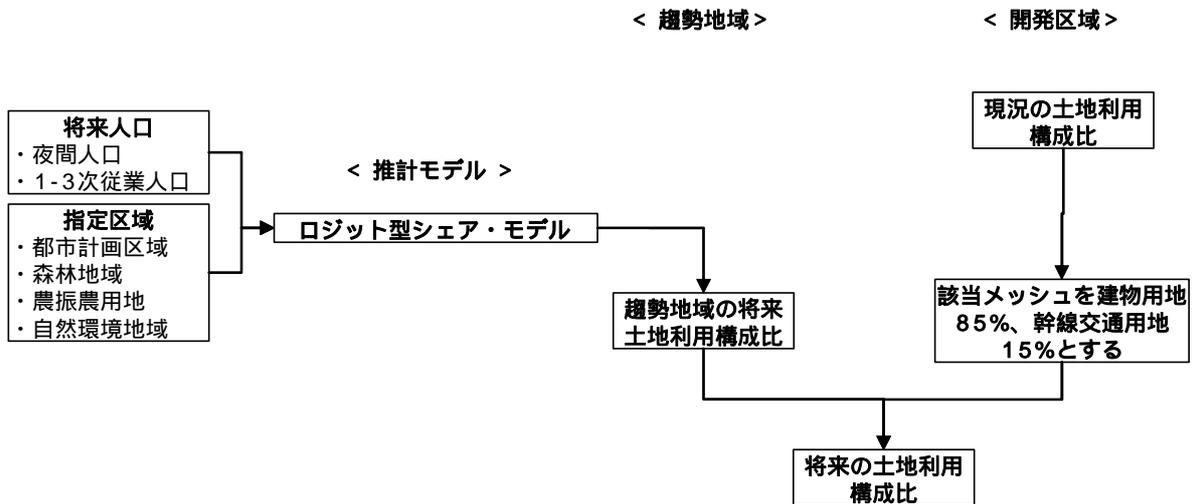


図 2 - 37 人口-土地利用モデル

(5) エネルギー消費量・CO2 排出量推計モデル

エネルギー消費量推計モデル

上水道の供給に伴うエネルギー消費量の推計は、浄水場別取水量に単位取水量当たりのエネルギー消費量原単位を乗じて求める方法を採用した。浄水場の取水量は、現行の配水区域内夜間および従業人口と取水量から、夜間・従業人口 1 人あたり取水量を求めておき、将来の各ケースで人口分布が変わる際に、この 1 人あたり取水量と人口から各浄水場の総取水量が求められるように設計した。

表 2 - 28 浄水場別の夜間・従業人口 1 人あたり上水使用量

水道	水系	施設	取水メッシュ	取水量			夜間人口 (人)	従業人口 (人)	原単位	
				Total (m ³ /s)	住宅・オ フィス (m ³ /s)	工場 (m ³ /s)			夜間人口 l/人・日	従業人口 l/人・日
上水道	広瀬川	中原浄水場(青下)	57403555	0.104	0.103	0.001404	5095	3178	350	100
		中原浄水場(中原)	57403566	0.208	0.205	0.002809	44143	8635	350	100
		国見浄水場(国見)	57403566	0.810	0.799	0.010938	213129	159238	250	100
		熊ヶ根浄水場	57403566	0.002	0.002	3.11E-05	1683	568	250	80
		梅の宮浄水場(国見 塩釜)	57403566	0.259	0.235	0.023651	74323	30502	250	80
	名取川	野上浄水場	57402447	0.032	0.032	0				
		暮石浄水場	57402546	0.003	0.003	0				
		茂庭浄水場	57402546	1.790	1.766	0.024171	425767	219608	300	100
		富田浄水場	57402647	0.203	0.200	0.002741	18379	86745	300	100



図 2 - 38 仙台市の配水系統

一方、単位取水量当たりのエネルギー消費量原単位は、「地球環境時代の水道」に記載されている事業規模別施設別ランニングエネルギーを使用した。

表 2 - 29 事業規模別施設別ランニングエネルギー

	5万m ³ /日未満(kcal/m ³)	5～10万m ³ /日(kcal/m ³)	10～30万m ³ /日(kcal/m ³)	30万m ³ /日以上(kcal/m ³)
取導水施設 計	186.3	98.28	174.24	139.58
ポンプ電力	176.3	84.28	158.24	131.58
その他	10	14	16	8
浄水施設 計	441.28	415.44	310.88	335.66
ポンプ電力	231.34	195.22	115.24	179.74
薬品処理	80.3	79.44	78.58	79.44
電力	4.3	3.44	2.58	3.44
薬品	76	76	76	76
薬品沈殿池	8.6	7.74	7.74	6.02
ろ過池	2.58	3.44	2.58	3.44
排水処理	68.46	65.6	60.74	53.02
電力	9.46	8.6	7.74	6.02
石油	14	14	12	10
ガス	20	18	16	12
運搬費	25	25	25	25
その他	50	64	46	14
配水施設 計	222.08	176.52	145.56	119.52
ポンプ電力	196.08	156.52	125.56	113.52
その他	26	20	20	6
合計	849.66	690.24	630.68	594.76

仙台市の一部の区域では、名取川水系とは異なる水系（白石川水系）から取水する仙南・仙塩広域水道から供給を受けている。一般に、広域水道は、末端供給事業者（ここでは仙台市営水道）への水供給が主な役割であるため、配水施設がなく（浄水施設のポンプ電力も小さい）、上表の適用が困難である。そこで、「地方公営企業年鑑」から得られる宮城県広域水道と仙台市営水道の動力費（1.21 円/m³ および 2.39 円/m³）と上表から、単位価格あたりのエネルギー消費量を求め(kcal/円)、広域水道の取導水・浄水施設で使用するポンプ電力量を求めた。また、受水施設から配水施設へ搬送するポンプ電力および配水施設のポンプ電力に、上表の浄水施設および配水施設のポンプ電力をあてることにより、仙台市営水道に計上されていた配水に要するエネルギー消費量を推計し、広域水道から受水する場合の 1 m³ あたりエネルギー消費量を設定した。また、仙南・仙塩広域水道の夜間・従業人口 1 人当たりの上水使用量は、茂庭浄水場と同じ値を用いた。

表 2 - 30 仙南・仙塩広域水道のランニングエネルギー設定値

		仙南・仙塩 広域水道 (kcal/m ³)
取導水施設	計	174.24
ポンプ電力		158.24
その他		16
浄水施設	計	239.4
ポンプ電力		43.78
薬品処理		78.58
電力		2.58
薬品		76
薬品沈殿池		7.74
ろ過池		2.58
排水処理		60.74
電力		7.74
石油		12
ガス		16
運搬費		25
その他		46
受水施設	計	115.24
ポンプ電力		115.24
配水施設	計	145.56
ポンプ電力		125.56
その他		20
合計		674.46

CO₂排出量の推計方法

CO₂排出量は、1)で求めたエネルギー消費量に、以下の表に示す燃料別単位熱量当たりCO₂排出原単位を乗じることで推計を行った。

なお、薬品使用時のCO₂排出量は、エネルギー統計から得られる薬品製造時の使用エネルギー構成から原単位を求め、また、その他については重油の原単位を適用した。

表 2 - 31 CO₂排出原単位

燃料種類	CO ₂ 排出原単位	
電気	415.12	kgCO ₂ /Gcal
都市ガス	430.00	kgCO ₂ /Gcal
LPガス	251.67	kgCO ₂ /Gcal
灯油	282.02	kgCO ₂ /Gcal
重油	297.85	kgCO ₂ /Gcal
軽油	286.96	kgCO ₂ /Gcal
薬品	379.03	kgCO ₂ /Gcal

評価指標の設定

1)、2)で求めたエネルギー消費量およびCO₂排出量は、昼間人口(夜間人口+従業員人口)1人当たりの値を評価指標として設定した。これは、水環境モデルの対象区域が名取川水系のみとなっており、対象区域内の趨勢型、都心居住型、副都心型の各人口が異なるためである(都市圏全体では同じ人口である)。

2 - 5 . シミュレーション結果

(1) 土地利用シミュレーション結果

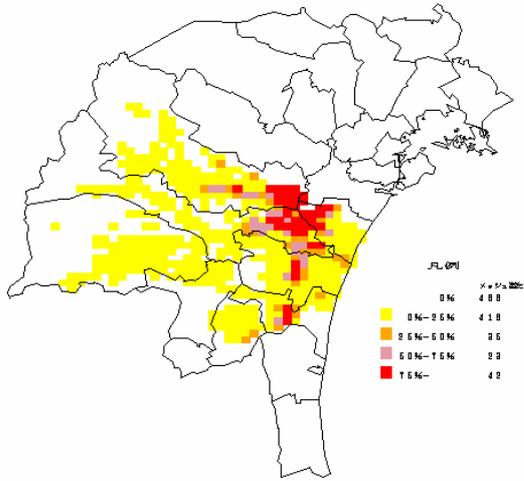
将来趨勢と現況の比較

建物用地の面積率を現況と将来を比較すると、変化するメッシュと変化しないメッシュがほぼ同数である。変化するメッシュは、市街地の他、道路沿い、河川沿いの集落に多く分布しており、増減で見ると減少しているメッシュの方が多い。

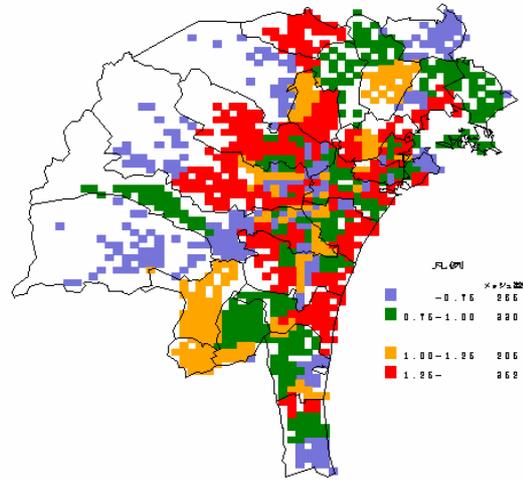
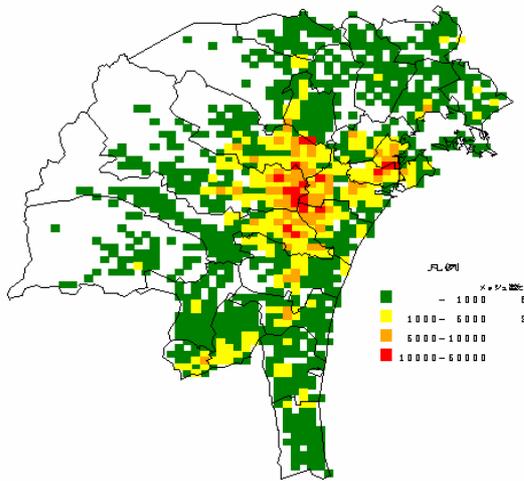
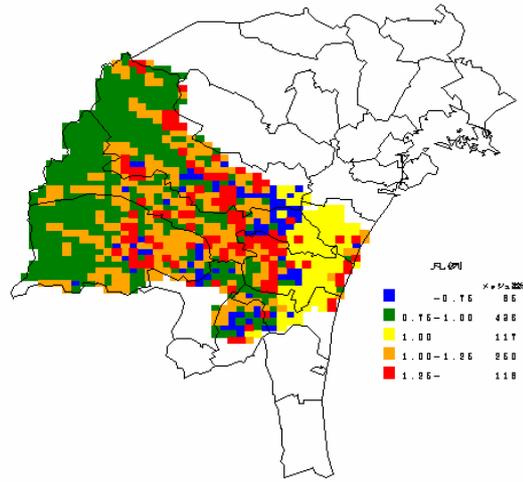
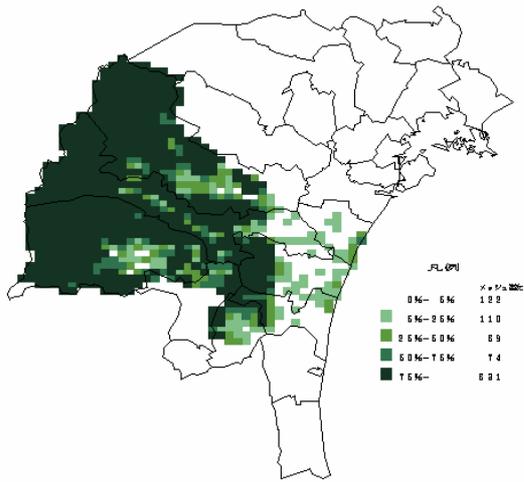
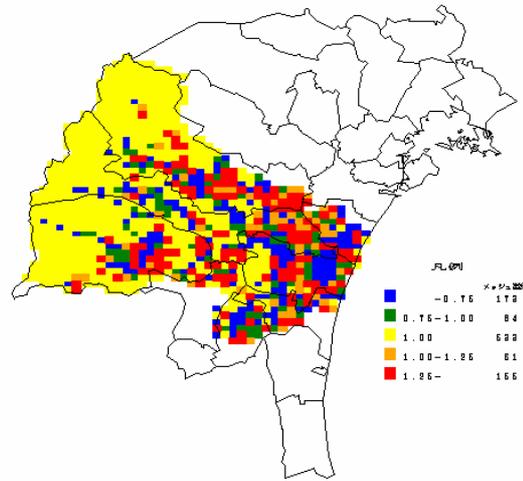
一方、森林面積率の現況と将来を比較すると、変化するメッシュ、特に増加するメッシュが多い。これら増加するメッシュの多くは1.0倍近辺の値をとるが、これは、モデルの構造上生じているものと推察される。

	現況												
建物用地 面積率	<table border="1"> <thead> <tr> <th>凡例</th> <th>メッシュ数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0%</td> <td>522</td> </tr> <tr> <td>0.5%-2.5%</td> <td>262</td> </tr> <tr> <td>2.5%-5.0%</td> <td>46</td> </tr> <tr> <td>5.0%-7.5%</td> <td>44</td> </tr> <tr> <td>7.5%-</td> <td>21</td> </tr> </tbody> </table>	凡例	メッシュ数	0%	522	0.5%-2.5%	262	2.5%-5.0%	46	5.0%-7.5%	44	7.5%-	21
凡例	メッシュ数												
0%	522												
0.5%-2.5%	262												
2.5%-5.0%	46												
5.0%-7.5%	44												
7.5%-	21												
森林 面積率	<table border="1"> <thead> <tr> <th>凡例</th> <th>メッシュ数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0%-5%</td> <td>145</td> </tr> <tr> <td>5%-25%</td> <td>89</td> </tr> <tr> <td>25%-50%</td> <td>108</td> </tr> <tr> <td>50%-75%</td> <td>115</td> </tr> <tr> <td>75%-</td> <td>588</td> </tr> </tbody> </table>	凡例	メッシュ数	0%-5%	145	5%-25%	89	25%-50%	108	50%-75%	115	75%-	588
凡例	メッシュ数												
0%-5%	145												
5%-25%	89												
25%-50%	108												
50%-75%	115												
75%-	588												
夜間人口	<table border="1"> <thead> <tr> <th>凡例</th> <th>メッシュ数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-1000</td> <td>841</td> </tr> <tr> <td>1000-5000</td> <td>214</td> </tr> <tr> <td>5000-10000</td> <td>88</td> </tr> <tr> <td>10000-50000</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	凡例	メッシュ数	-1000	841	1000-5000	214	5000-10000	88	10000-50000	10		
凡例	メッシュ数												
-1000	841												
1000-5000	214												
5000-10000	88												
10000-50000	10												

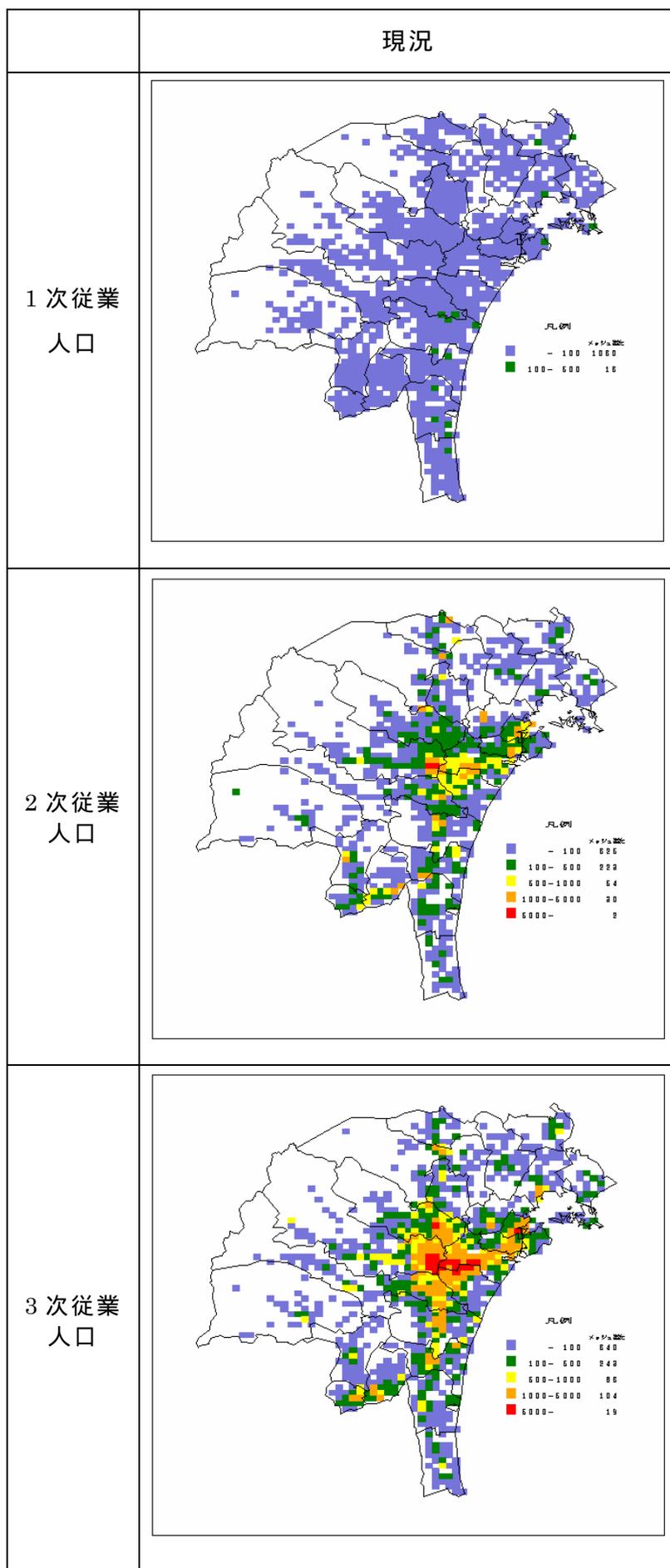
将来趨勢



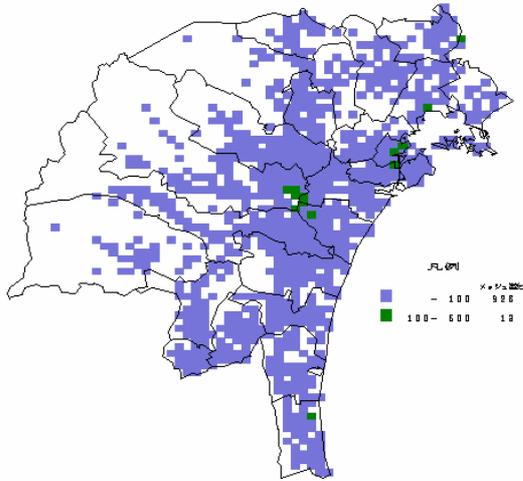
将来趨勢 / 現況



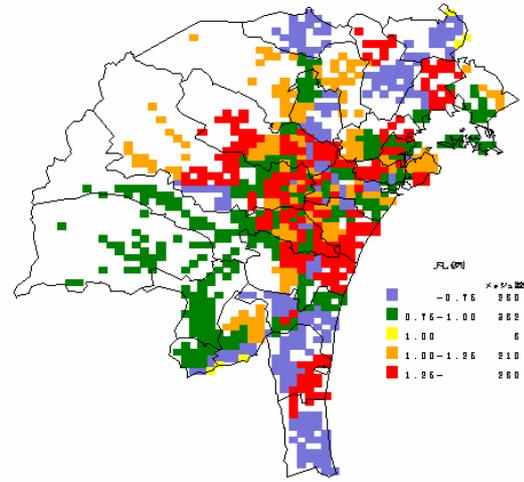
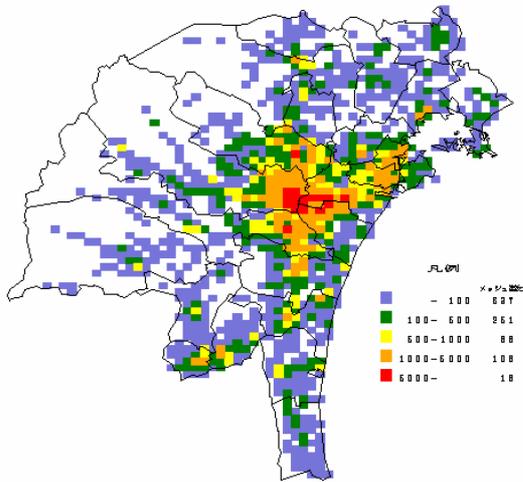
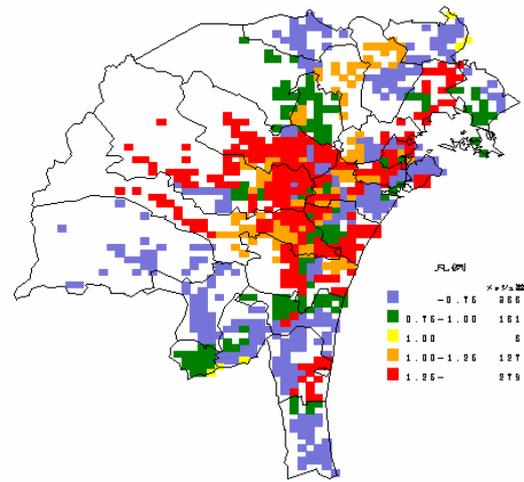
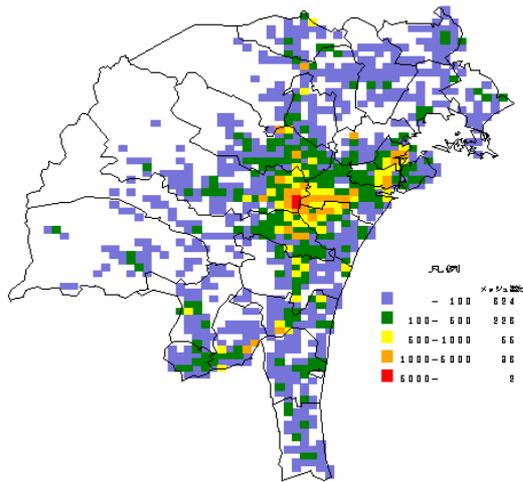
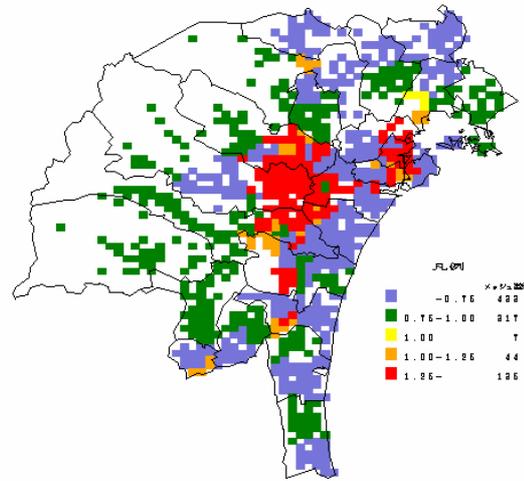
参考：人口の動向（現況と将来）



将来趨勢



将来趨勢 / 現況



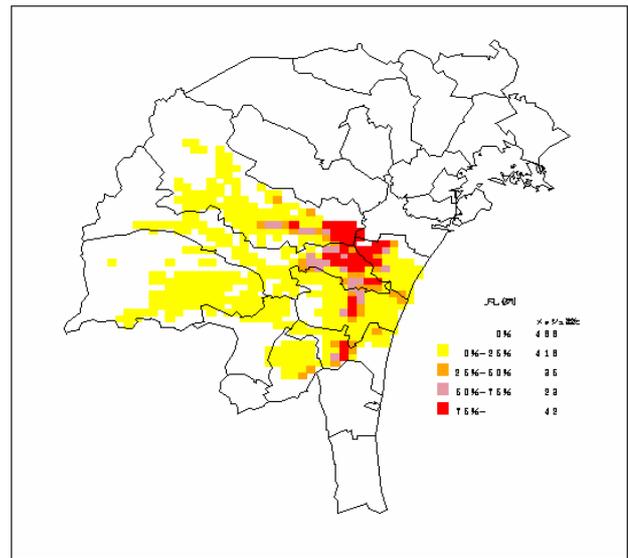
各ケース間の比較

建物用地の面積率について趨勢ケースをベースに都心居住、副都心を比較すると、都心居住は図の上では変化がみられるものの、ほとんど変化していない。副都心型については、西部の副都心で大幅増となるほか、都心近郊部が減少する傾向が見られる。

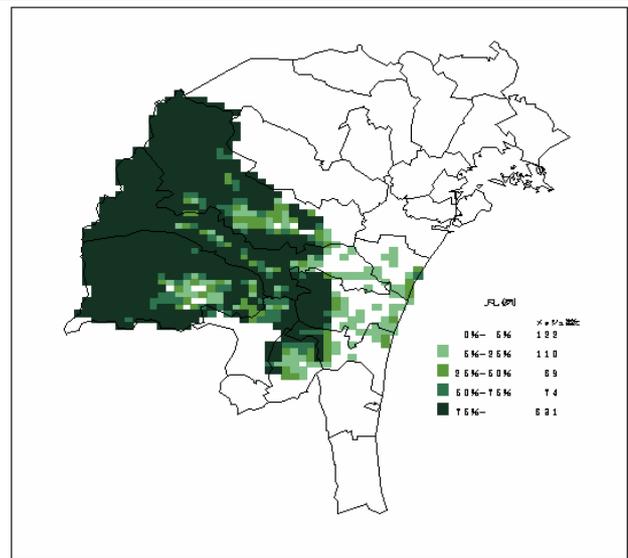
一方、森林面積率についても同様に比較すると、都心居住型はほとんど変化がない。副都心型については、西部の副都心において大幅減となっている他は変化が少ない結果となる。

趨勢

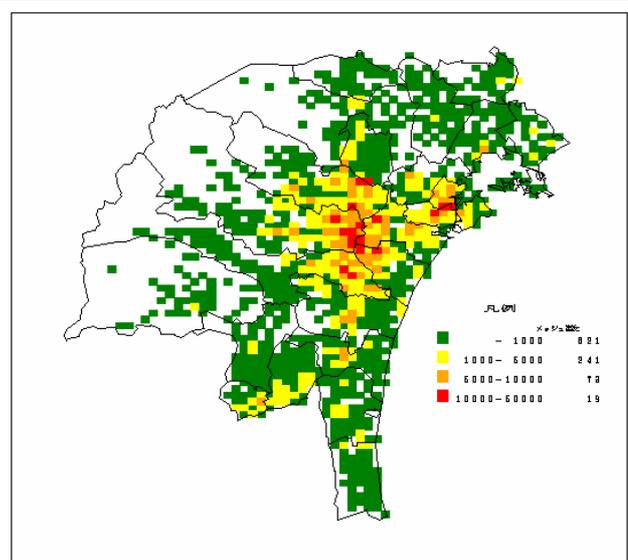
建物用地
面積率



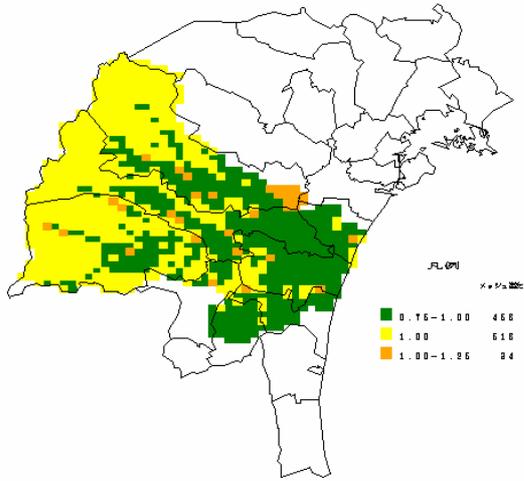
森林
面積率



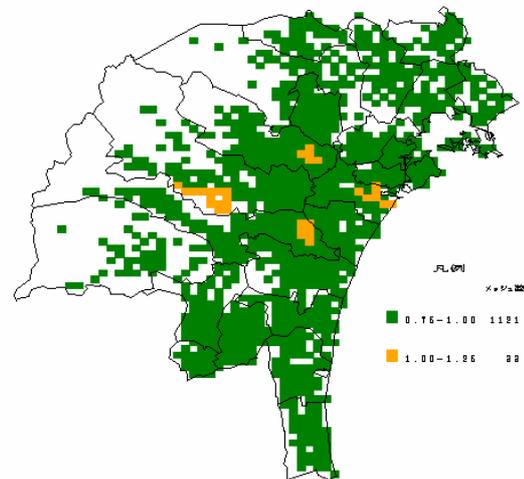
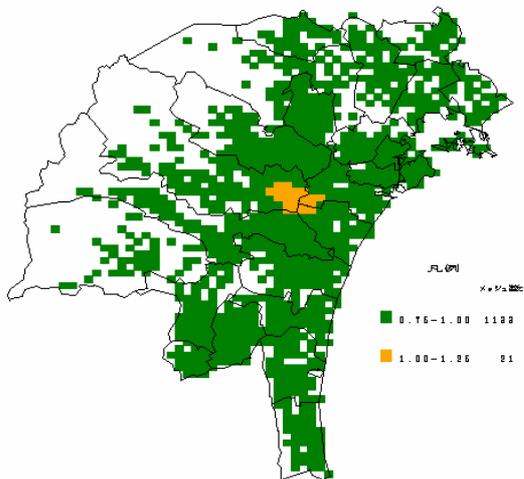
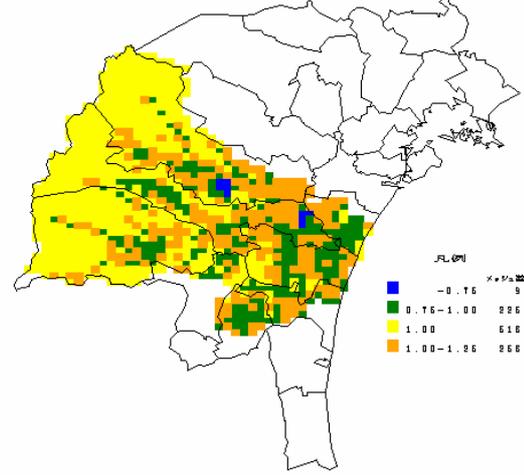
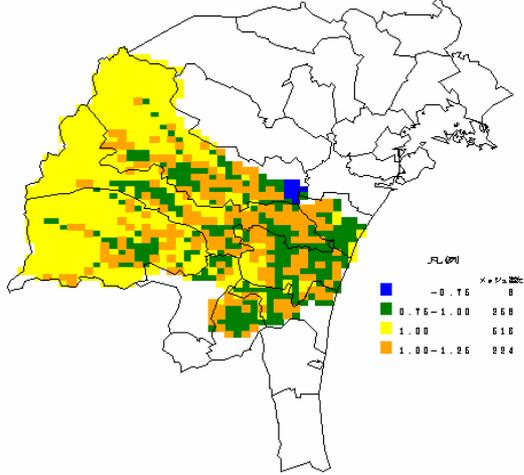
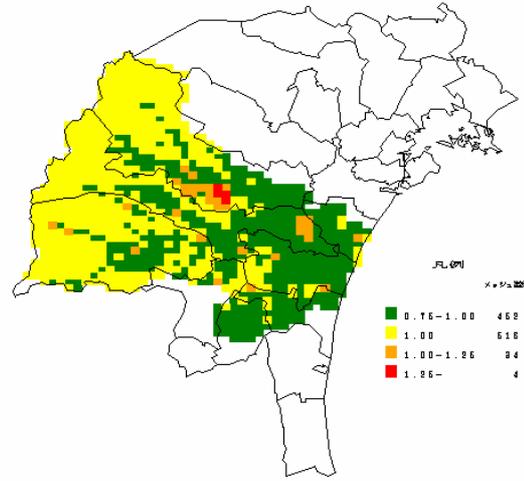
夜間人口



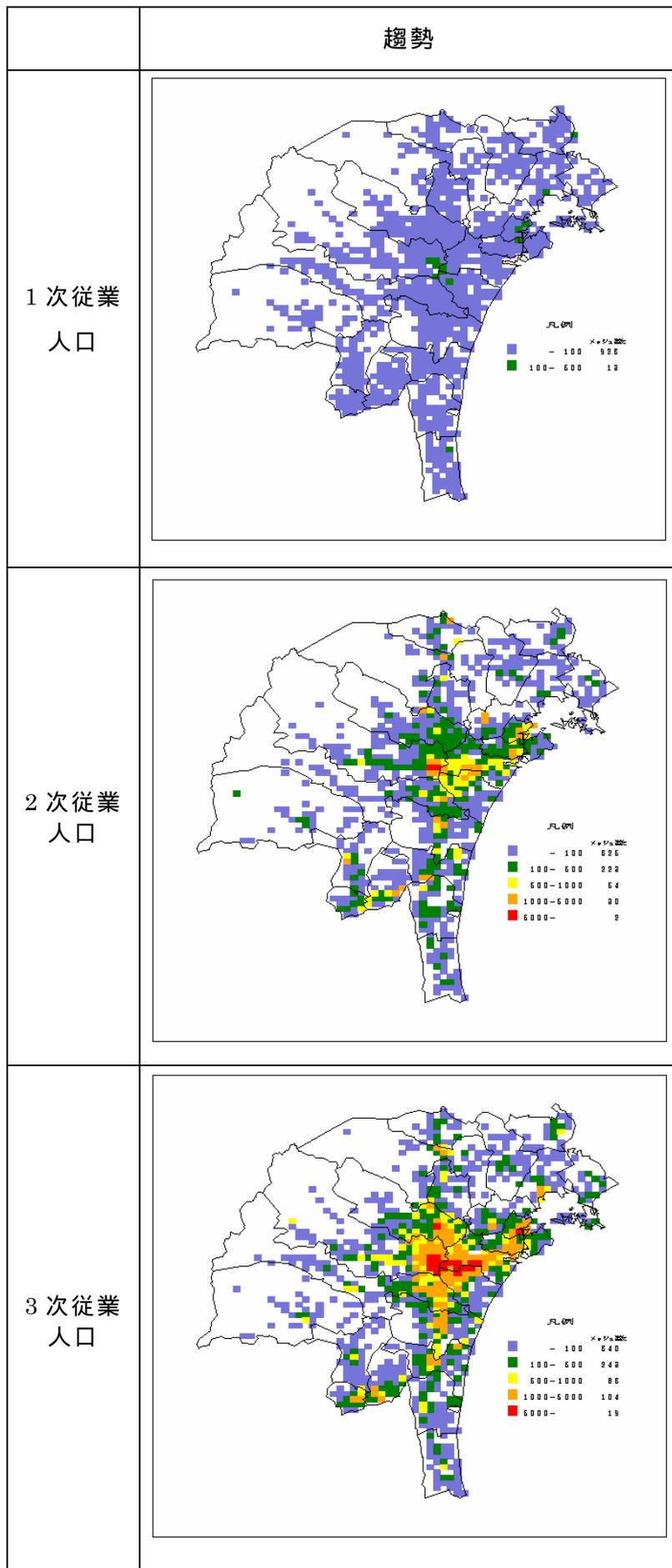
都心居住 / 趨勢



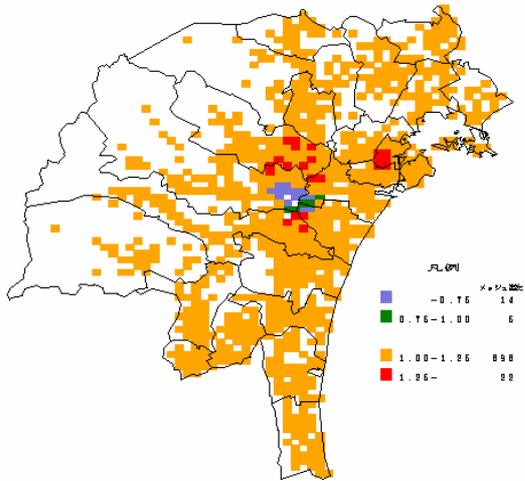
副都心 / 趨勢



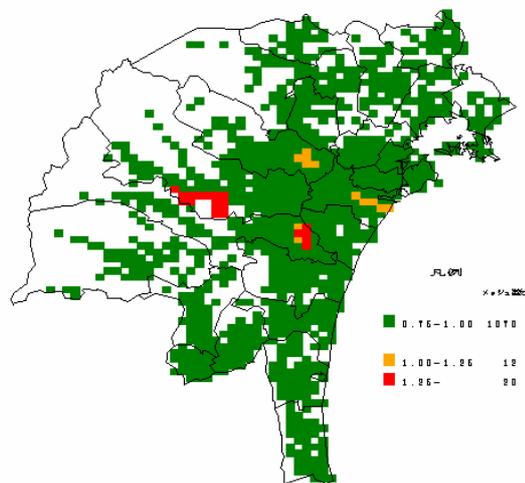
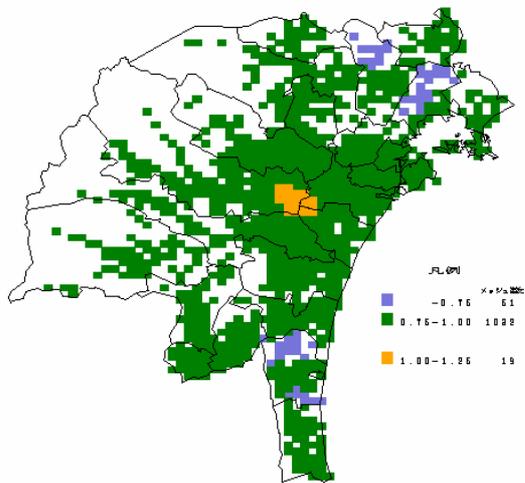
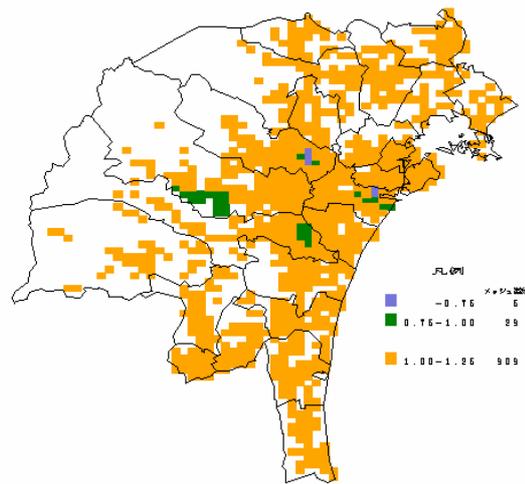
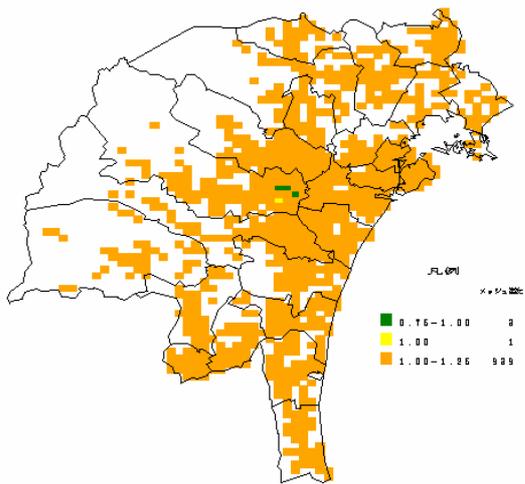
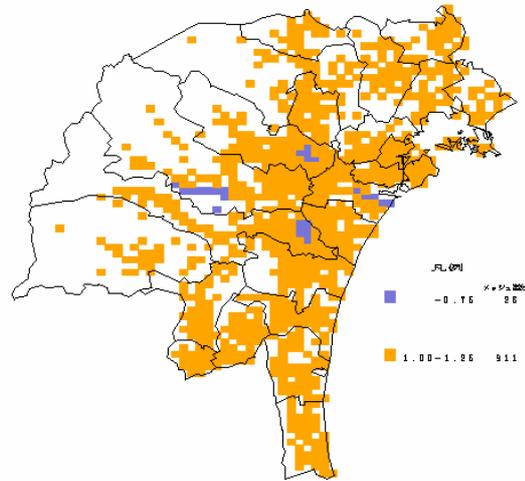
参考：人口の動向（各ケース）



都心居住 / 趨勢



副都心 / 趨勢



(2) 都市構造施策のシミュレーション結果(流量・水質)

広瀬橋・名取橋における流量・水質の時系列変化

流量・水質のシミュレーション結果を以下に示す。まず、定点(広瀬橋、名取橋)での時系列の流量・BOD濃度の変化を、次に、特定時点(10/21 15:00)での流域全体の流量・BOD濃度分布を整理した。

広瀬橋の流量をみると現況と比較して特に大きな変化はないが、副都心型の流量が最も多くなる。また、水質については、趨勢・都心居住型が現況とそれほど変わらないのに対し、副都心型は多くなる。一方、名取橋については、将来の各ケースとも現況よりも流量が多いが、各ケース間で差異は見られない。水質については、将来の各ケースとも現況を下回るが、こちらも各ケース間で差異が見られない。この、広瀬橋と名取橋の違いは、上流での開発の有無が影響している。広瀬橋を流れる広瀬川上流では、本研究で副都心に位置づけられている西部の副都心があり、ここでの開発が広瀬橋の流量・水質に変化をもたらしていると考察される。

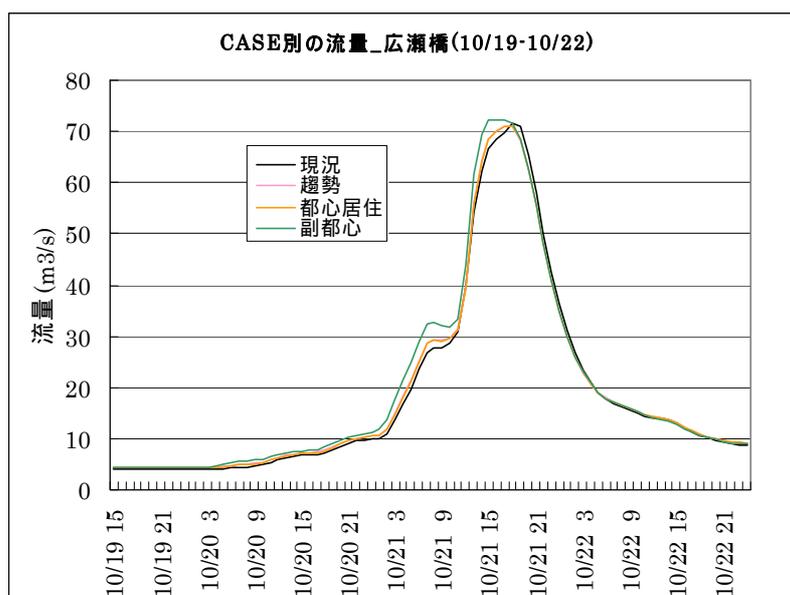


図2 - 39 ケース別流量の時系列変化(広瀬橋)

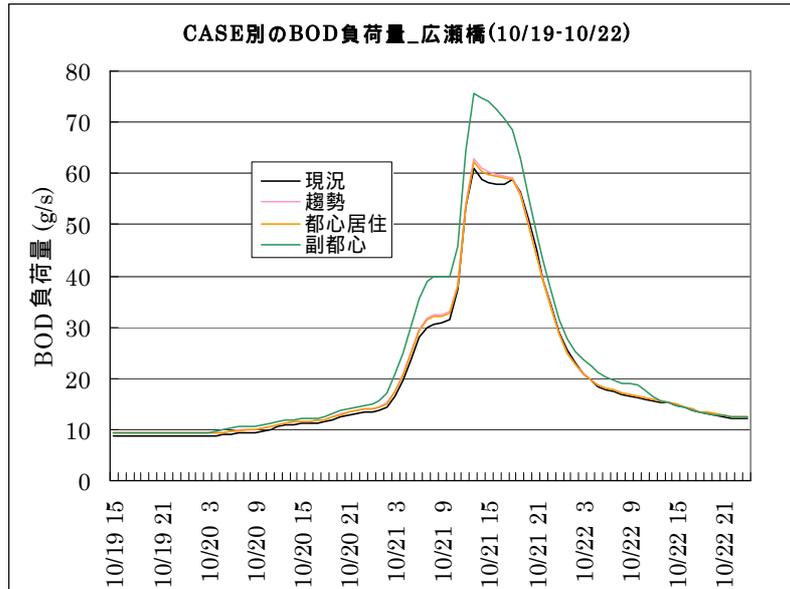


図 2-40 ケース別 BOD 負荷量の時系列変化 (広瀬橋)

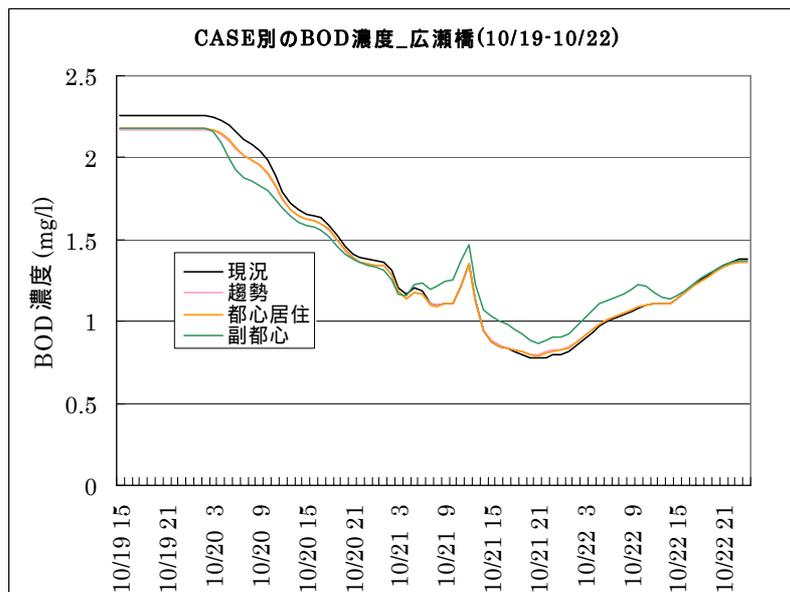


図 2 - 41 ケース別 BOD 濃度の時系列変化 (広瀬橋)

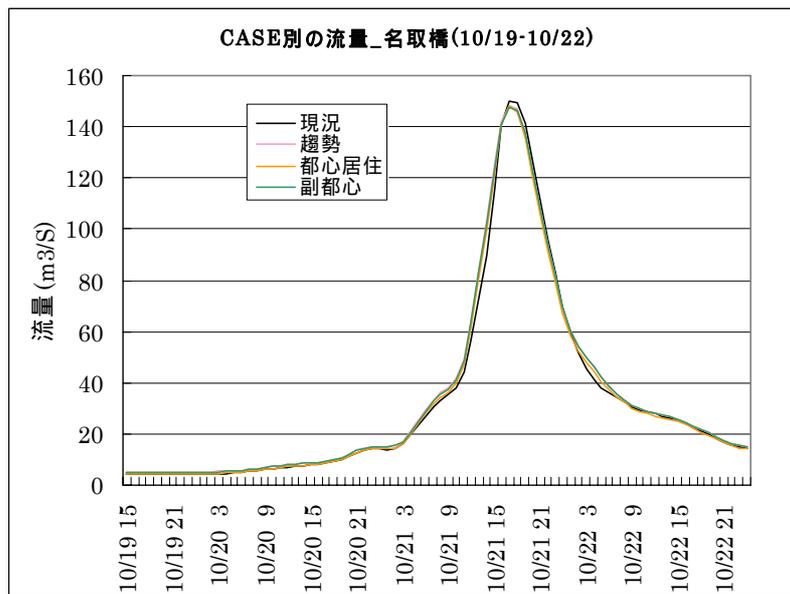


図 2 - 42 ケース別流量の時系列変化 (名取橋)

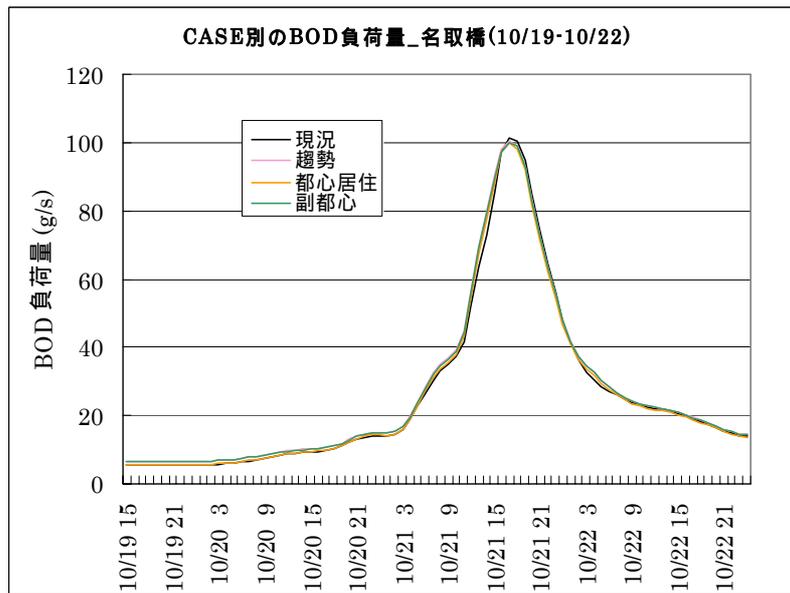


図 2 - 43 ケース別 BOD 負荷量の時系列変化 (名取橋)

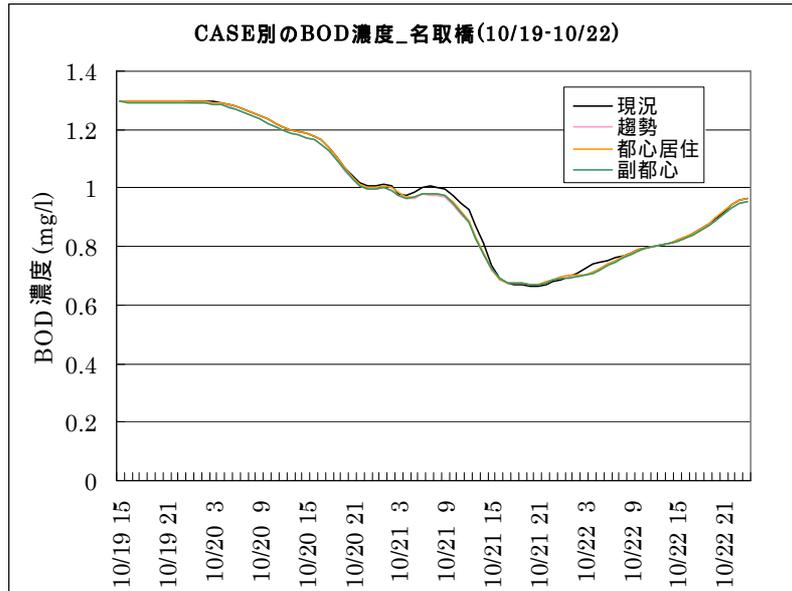


図 2 - 44 ケース別 BOD 濃度の時系列変化 (名取橋)

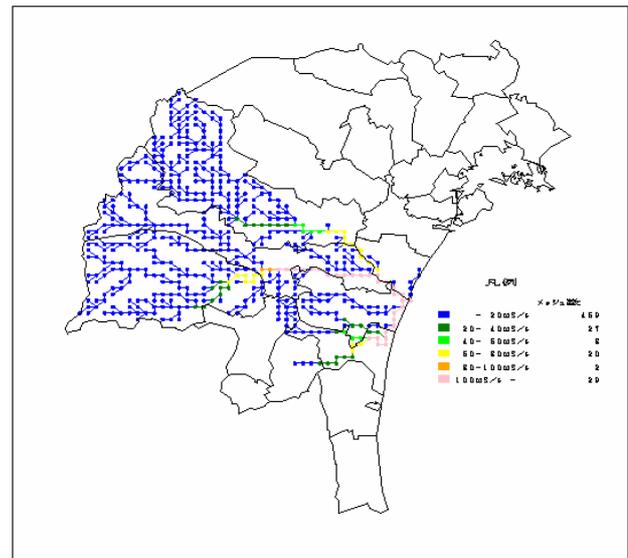
将来趨勢と現況の比較

河川流量（降雨時のピーク流量[10/21 15:00]）の現況と将来を比較すると、上流部の森林地域はほとんど変化がなく、少し下流の建物用地面積が増加する地域で増加している。人口が増加し、人工的な土地利用が増えるため、流域全体としてピーク流量は多くなる（通常時の基底流量は少なくなる）傾向にある。

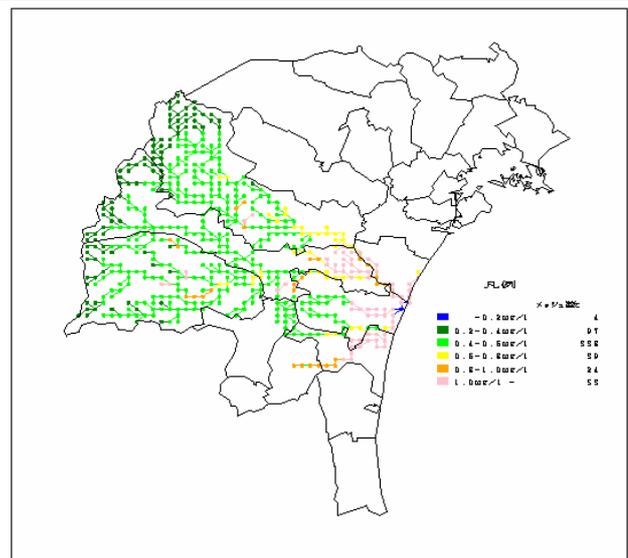
一方、水質（BOD濃度）については、図上では変化があるように見えるが、各地点の濃度をグラフ化すると大きく変わっている箇所は少ない。

現況

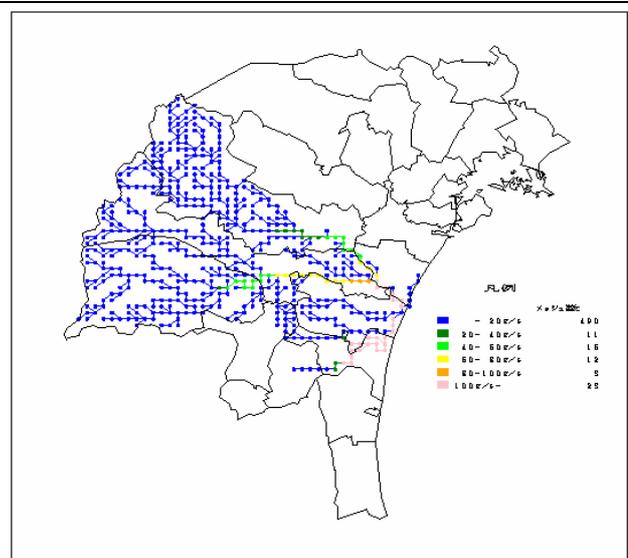
流量



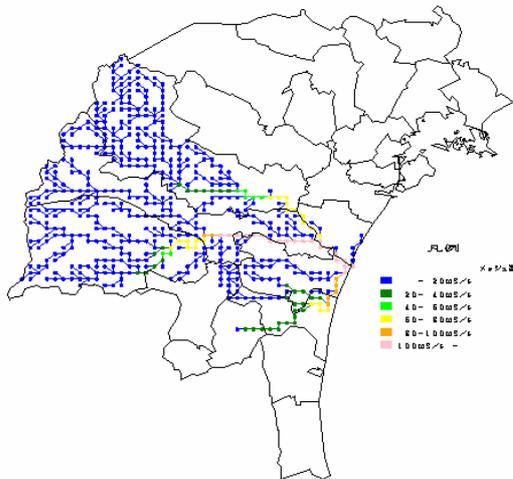
水質
(BOD
濃度)



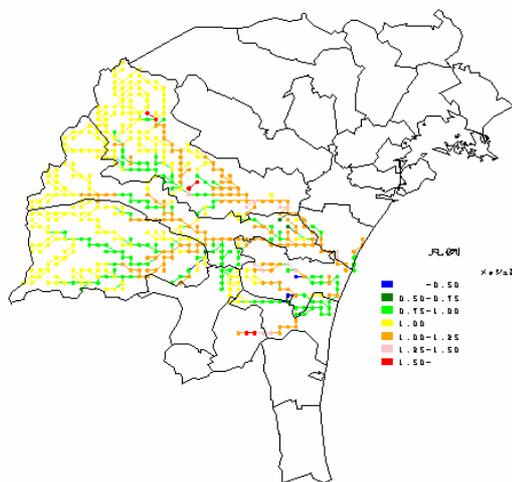
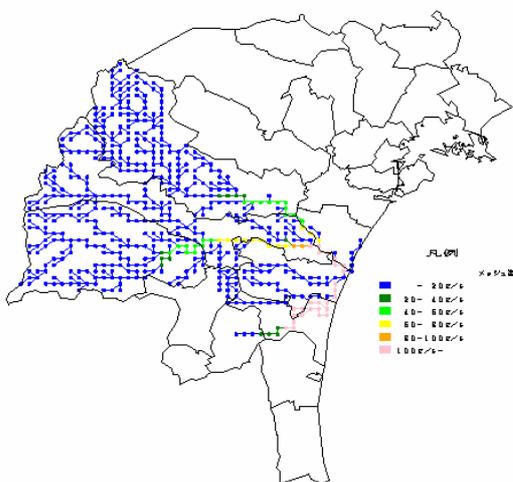
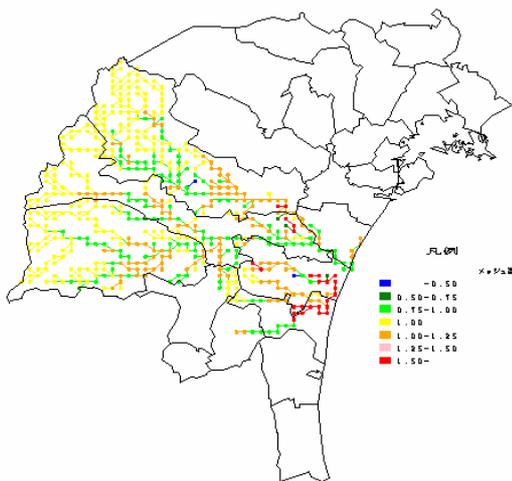
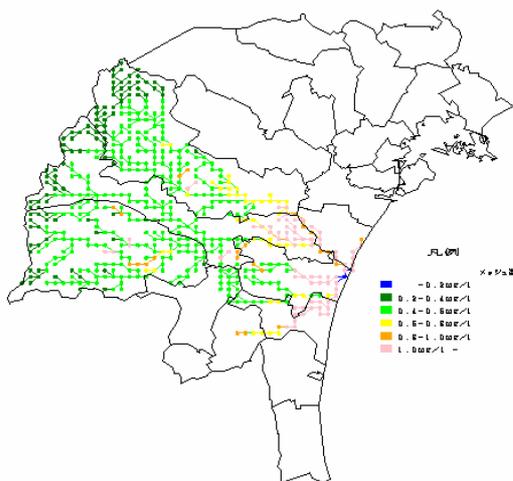
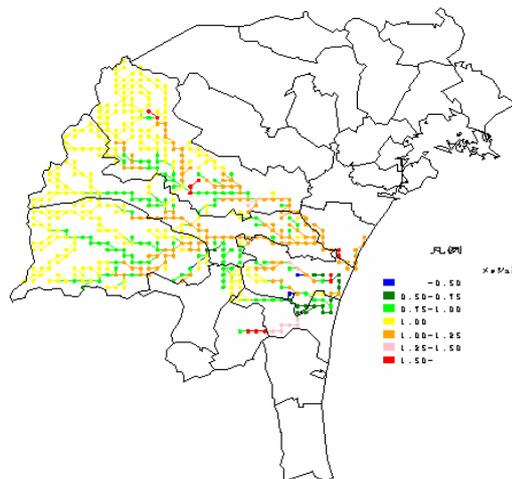
BOD
負荷量



将来趨勢



将来趨勢 / 現況

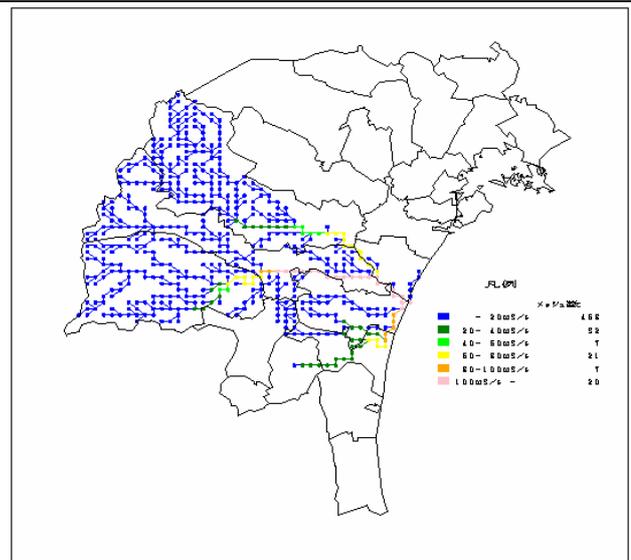


各ケース間の比較

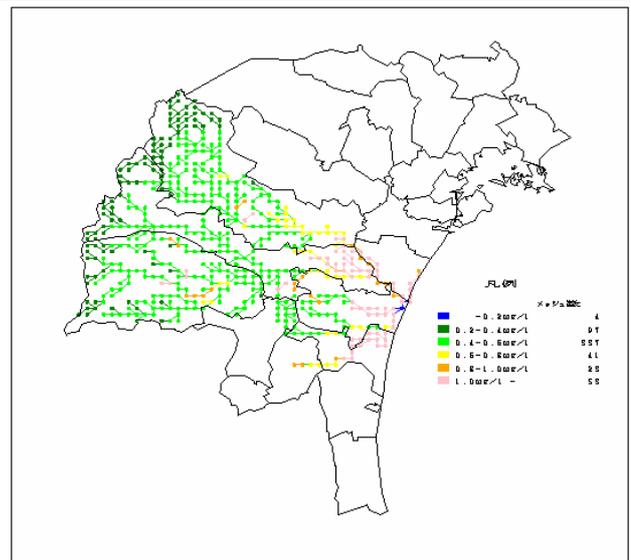
河川流量（降雨時のピーク流量[10/21 15:00]）の都心居住型、副都心型を趨勢型と比較すると、都心居住型は図上では変化があるように見えるが、実際はほとんど変化がない。一方、副都心型は西部の副都心で開発があるため、この下流の広瀬川流域で流量が多くなる。

水質（BOD濃度）についても、都心居住型はほとんど変化がない。副都心型は西部の副都心の影響で、直近の下流で濃度が高くなり、少し離れた下流域でも影響を受け濃度が高くなる。

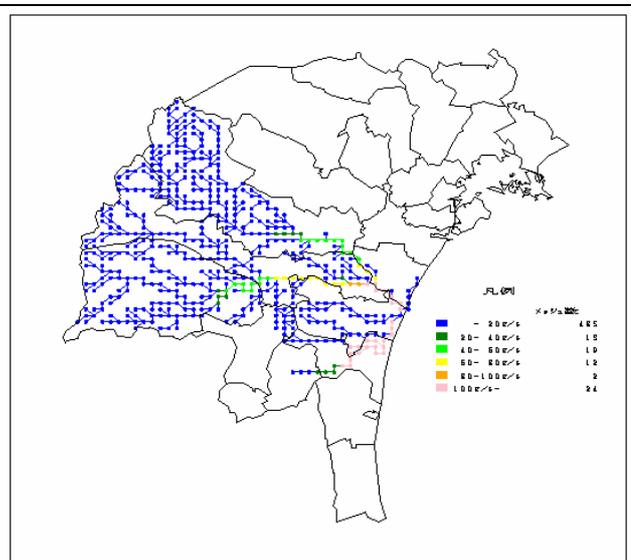
流量



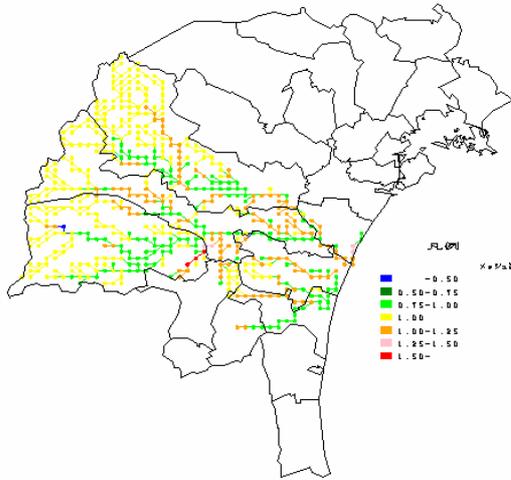
水質
(BOD
濃度)



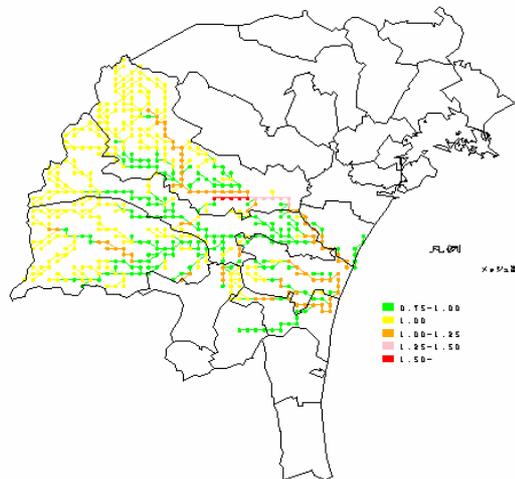
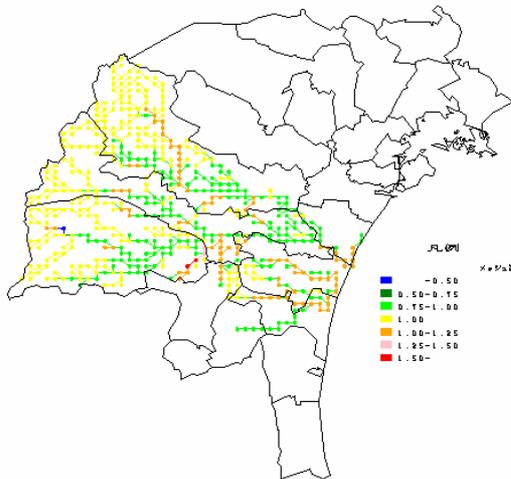
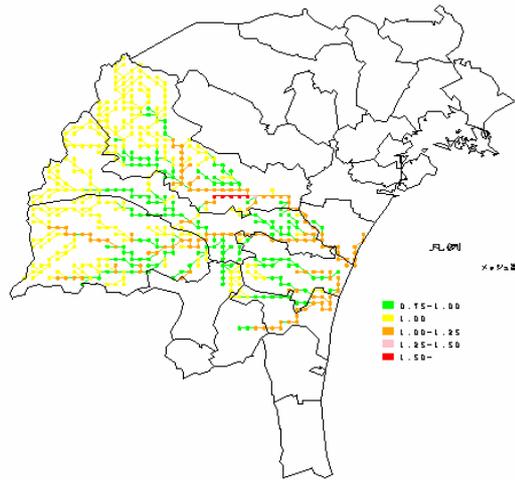
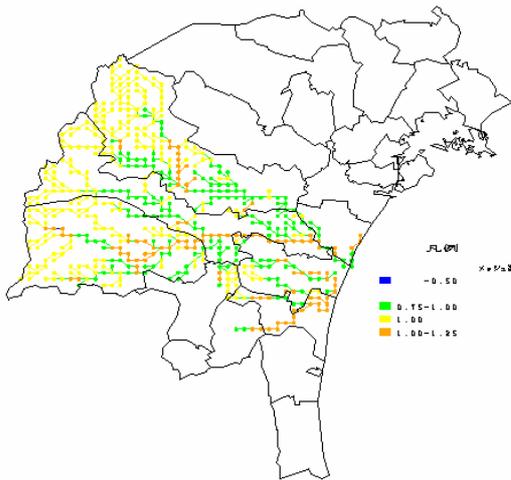
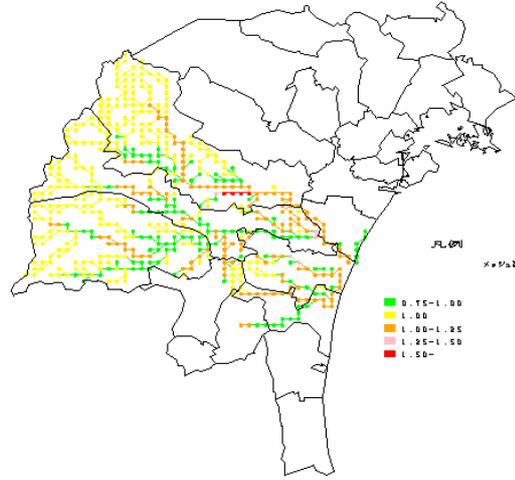
BOD
負荷量



都心居住 / 趨勢



副都心 / 趨勢



都市構造施策の評価

各ケースの評価は、流域保水能力、水質改善度で比較を行った。流域保水能力は特定時点(10/21 15:00)の流域全メッシュの合計、名取橋・広瀬橋での値を比較した。また、水質改善度については特定時点の流域全メッシュの平均、名取橋・広瀬橋での値を比較した。

流域保水能力はピーク時の流量を用いているため、この値が小さいほど流域に保水する水量が多くなり、無降雨時の基底流量が多くなる(良好な水環境が保たれる)。各ケースを比較すると、趨勢型に対し、都心居住型は名取橋での効果が大きく、都市圏全体で改善する。副都心型では、広瀬橋での負の効果が大きく、都市圏全体ではやや悪化する。一方、水質改善度も、趨勢型と都心居住型で変化はなく、副都心型の流域メッシュ平均、広瀬橋で悪化している。上水道の供給に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量については、わずかではあるが都心居住型が少なくなっている。

したがって、水環境モデルによる各ケースの評価では、都心居住型の方が良好であるとの結果が得られた。

表 2 - 32 水環境モデルによる都市構造施策の評価

			趨勢型	都心居住型	副都心型
流域保水能力 [流量]	各メッシュの合計	m ³ /s	7170.8	7144.8	7292.3
		差	0.0	-26.0	121.5
		比	1.00	1.00	1.02
	名取橋	m ³ /s	125.7	121.9	123.9
		差	0.0	-3.9	-1.8
		比	1.00	0.99	0.99
	広瀬橋	m ³ /s	68.4	68.4	72.1
		差	0.0	0.0	3.72
		比	1.00	1.00	1.05
水質改善度 [水質]	各メッシュの平均	mg/l	1.31	1.31	1.33
		差	0.0	0.0	0.02
		比	1.00	1.00	1.02
	名取橋	mg/l	0.72	0.72	0.72
		差	0.0	0.0	0.0
		比	1.00	1.00	1.00
	広瀬橋	mg/l	0.88	0.88	1.03
		差	0.0	-0.01	0.15
		比	1.00	0.99	1.17
エネルギー・CO ₂ (昼間人口あたり)	エネルギー消費量	kcal/人	144.34	143.98	144.34
		差	0.0	-0.36	0.0
		比	1.00	0.998	1.00
	CO ₂ 排出量	g/人	56.24	56.10	56.23
		差	0.0	-0.14	-0.01
		比	1.00	0.998	1.00

効果 あり 効果 負

(3) 水資源施策のシミュレーション結果 (流量・水質)

ケースの設定

下水道整備ケース、緑の配置ケースを以下のように設定した。

・下水道整備ケース (A-1-1)

名取川上流に位置する秋保、釜房、青根の各下水処理場で高次処理を行うものと想定し、汚濁負荷の除去率を既に高度処理を行っている定義処理場の除去率 97%を適用した。また、広瀬川・名取川の中・上流域に点在するコミュニティプラント、農業集落排水の処理能力を下水処理場なみの 95%まで引き上げる想定を行った。

表 2 - 33 下水道整備ケースの除去率設定

処理場	除去率	
	現況	下水道整備ケース
南蒲生	90.2%	90.2%
広瀬川	98.7%	98.7%
定義	97.0%	97.0%
秋保	91.3%	97.0%
釜房	90.0%	97.0%
青根	90.9%	97.0%
コミュニティプラント・ 農業集落排水	84.0%	95.0%
雑排水 し尿	95.0%	95.0%

・緑の配置ケース (A-1-2)

仙台市の緑の配置計画図に準拠して、森林保全区域に該当する森林 (図の赤い領域) の面積率を 100%に設定した。併せて、森林の管理を適切に行い森林の涵養率を高める「緑のダム」施策が実施することを想定し、森林の浸透能を通常の樹林の浸透能 200mm/h から手入れされた樹林の浸透能 250mm/h に変更した。

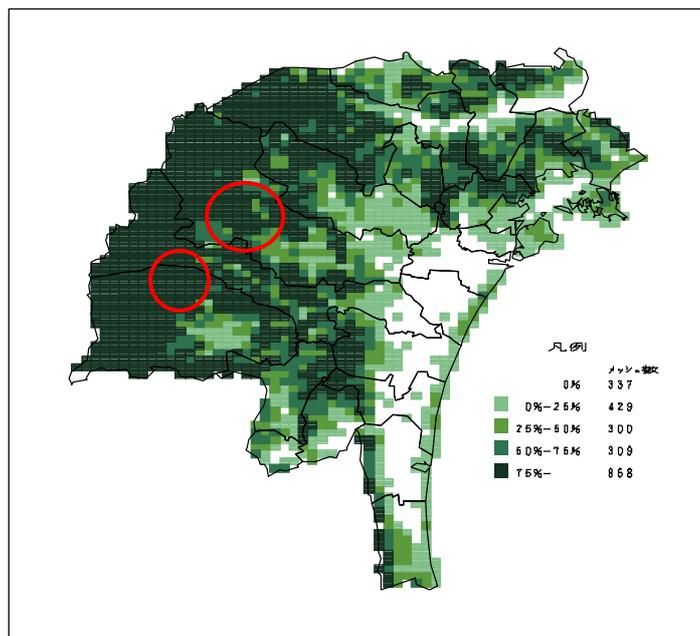
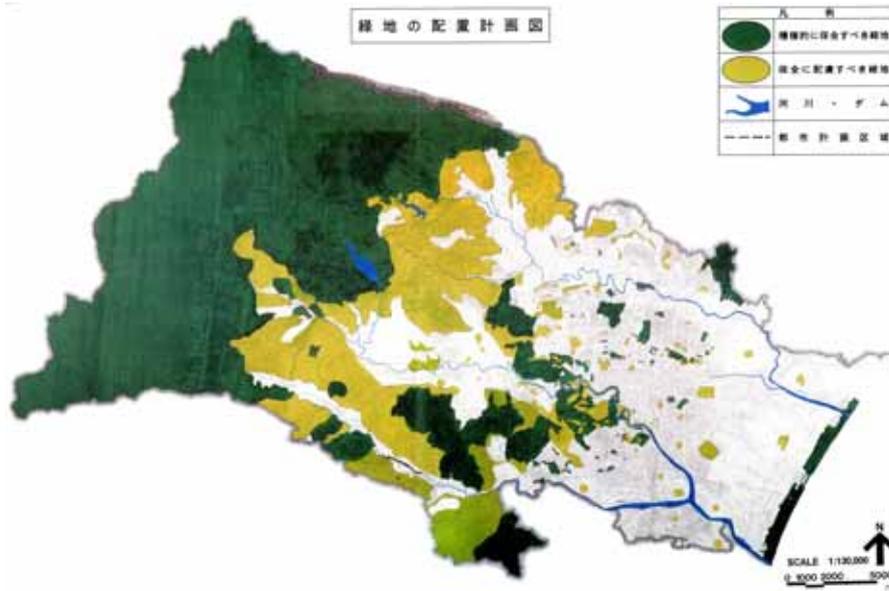


図 2 - 45 緑の配置計画に基づく森林保全区域の設定



参考図 緑の配置計画図（仙台市）

広瀬橋・名取橋における流量・水質の時系列変化

流量・水質のシミュレーション結果を以下に示す。まず、定点（広瀬橋、名取橋）での時系列の流量・BOD濃度の変化を、次に、特定時点（10/21 15:00）での流域全体の流量・BOD濃度分布を整理した。

広瀬橋の流量をみると将来趨勢型と比較して、緑の配置ケースでは減少、下水道整備ケースでは変化がない。また、水質については、下水道整備ケースで若干の改善、緑の配置ケースでは悪化する。

一方、名取橋については、各ケースとも流量に変化はなく、各ケース間で差異は見られない。水質については、下水道整備ケースで改善しており、緑の配置ケースでは変化が見られない。

広瀬橋と名取橋で施策効果が異なる理由は、下水道整備が主に名取川上中流域で設定し、緑の配置計画が広瀬川上流で検討していることが影響している。

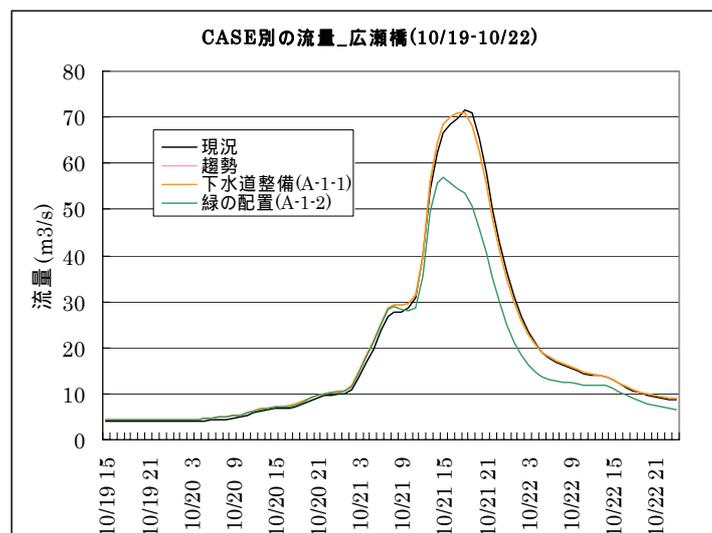


図2 - 46 ケース別流量の時系列変化（広瀬橋）

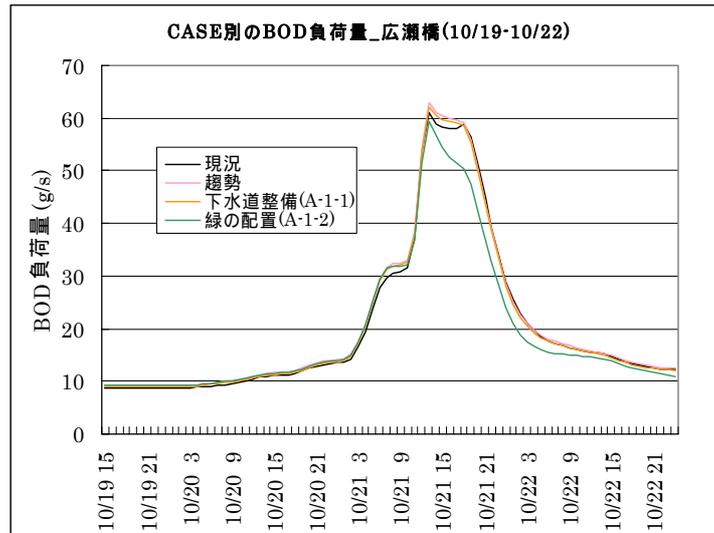


図 2-47 ケース別 BOD 負荷量の時系列変化 (広瀬橋)

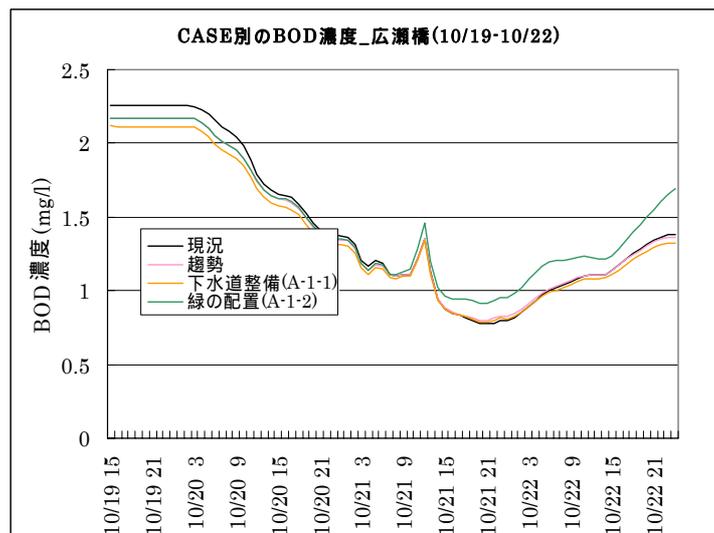


図 2 - 48 ケース別 BOD 濃度の時系列変化 (広瀬橋)

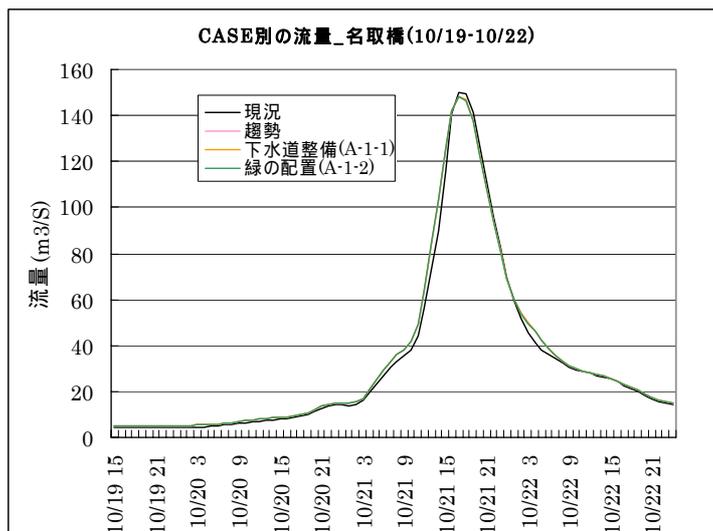


図 2 - 49 ケース別流量の時系列変化 (名取橋)

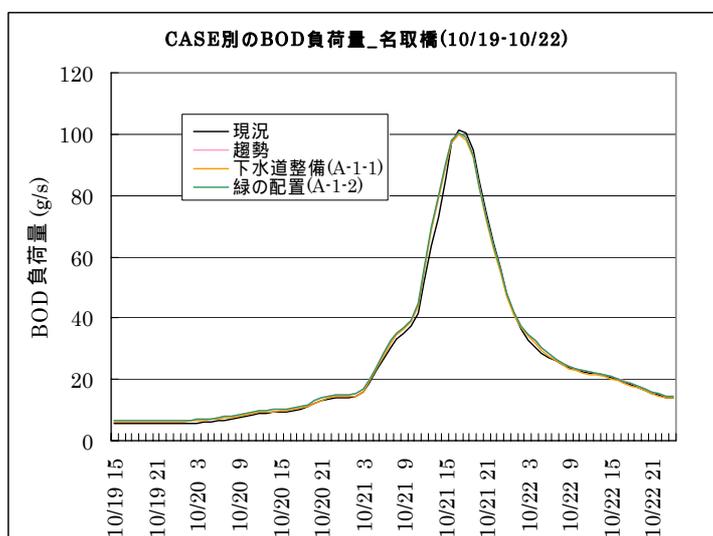


図 2 - 50 ケース別 BOD 負荷量の時系列変化 (名取橋)

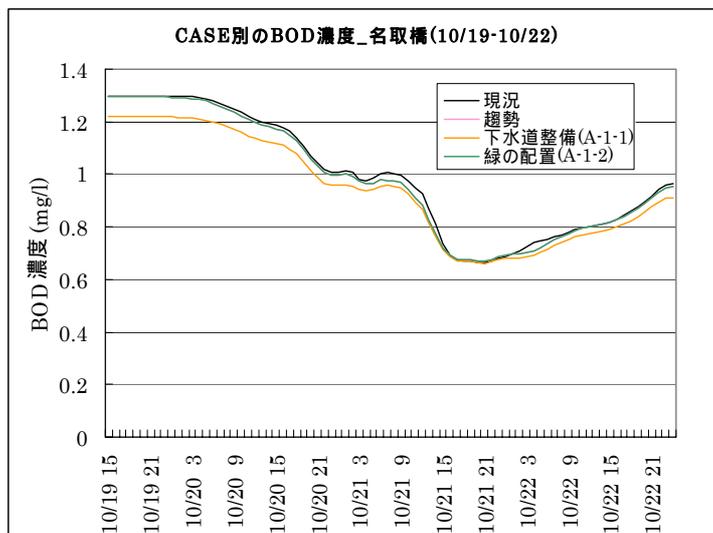


図 2 - 51 ケース別 BOD 濃度の時系列変化 (名取橋)

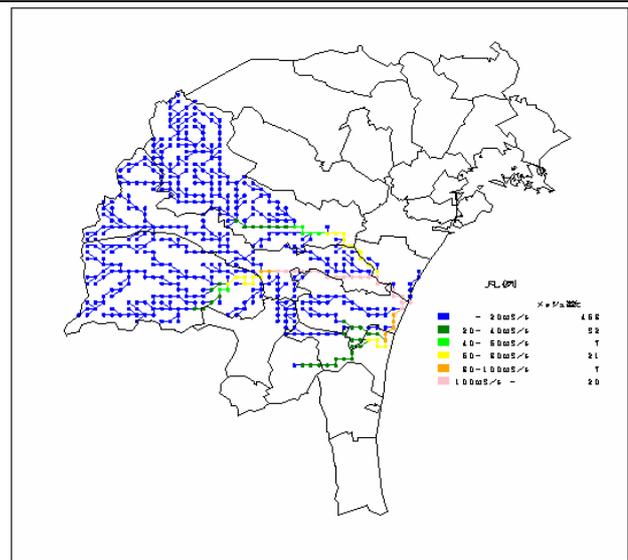
各ケース間の比較

河川流量（降雨時のピーク流量[10/21 15:00]）の下水道整備、緑の配置を将来趨勢ケースと比較すると、下水道整備については対策が集中する名取川中～下流域で水質の改善が見られる。一方、緑の配置については西部の副都心で開発があるため、この下流の広瀬川流域で流量が多くなる。

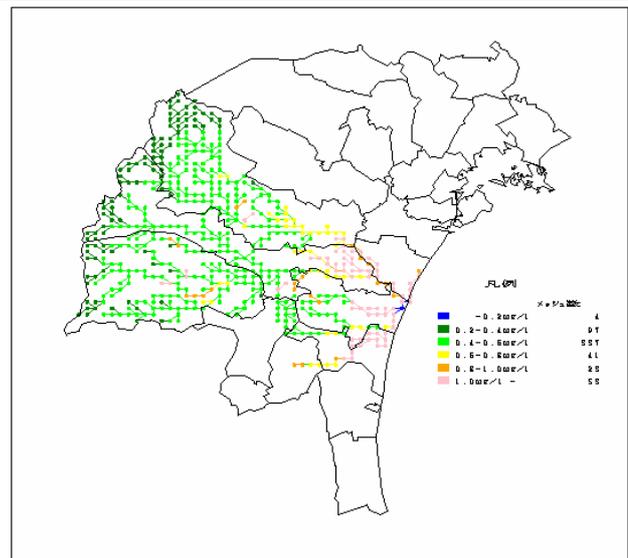
水質（BOD 濃度）については、下水道整備ケースにおいて対策が集中する名取川中～下流域での水質改善が見られる。緑の配置ケースでは広瀬川のピーク流量が減少するため、広瀬川の水質が悪化する計算結果となった。

趨勢

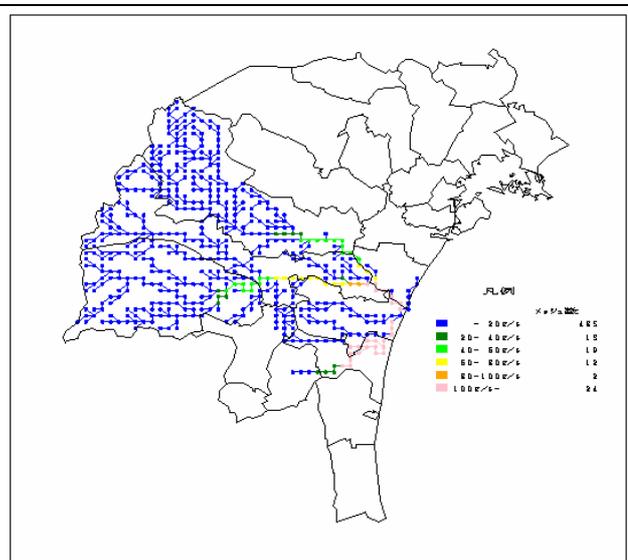
流量



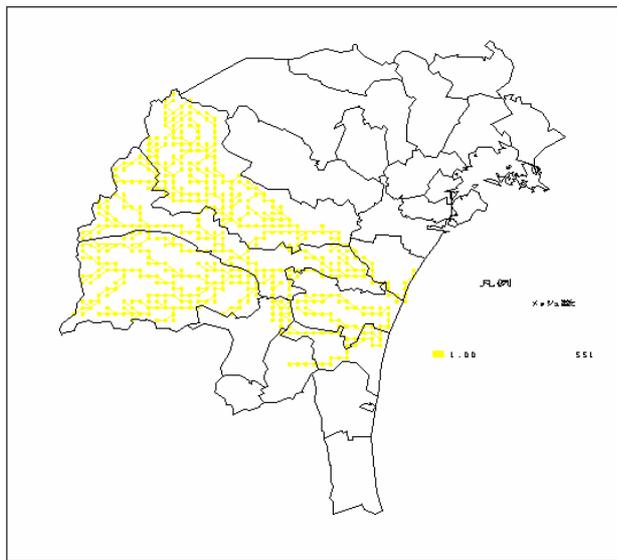
水質
(BOD
濃度)



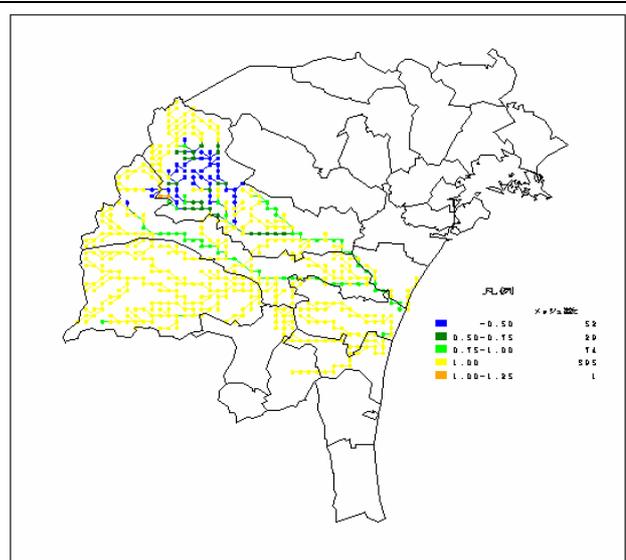
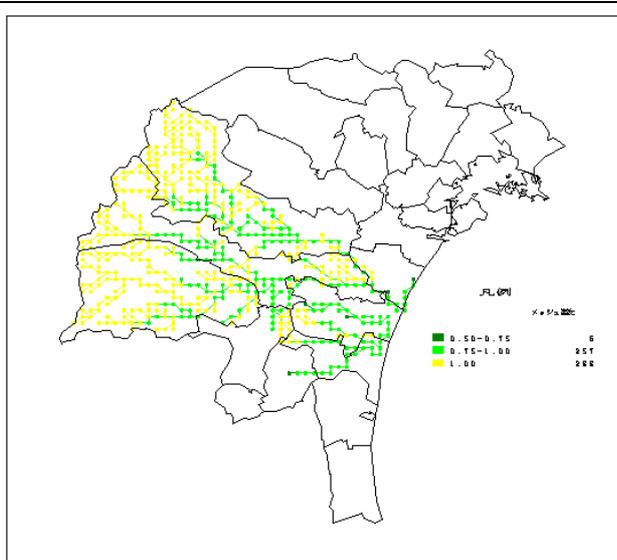
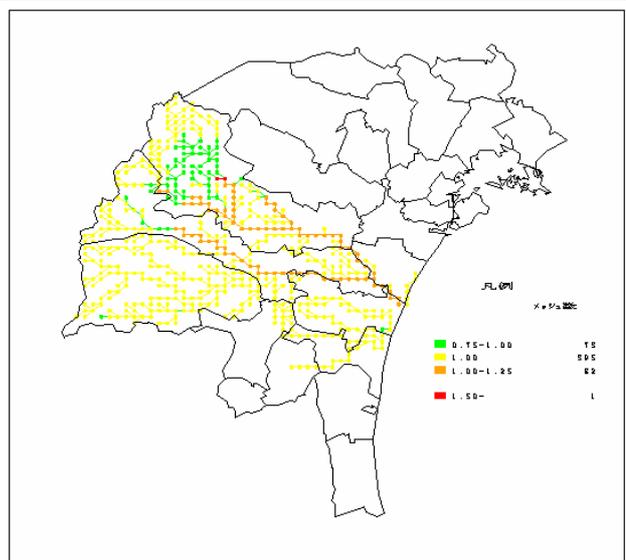
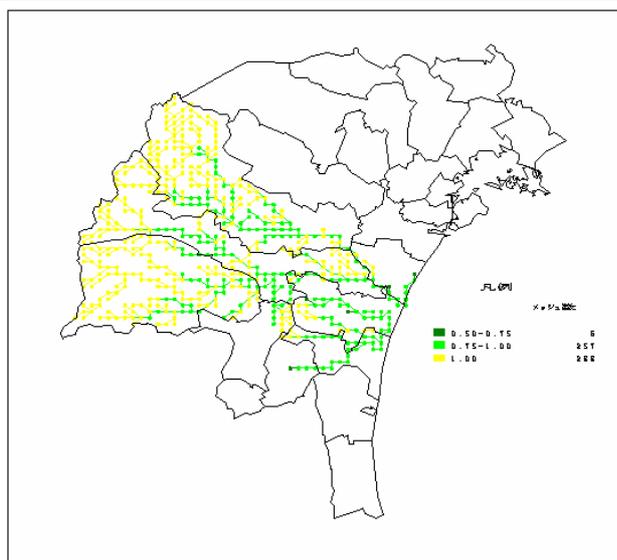
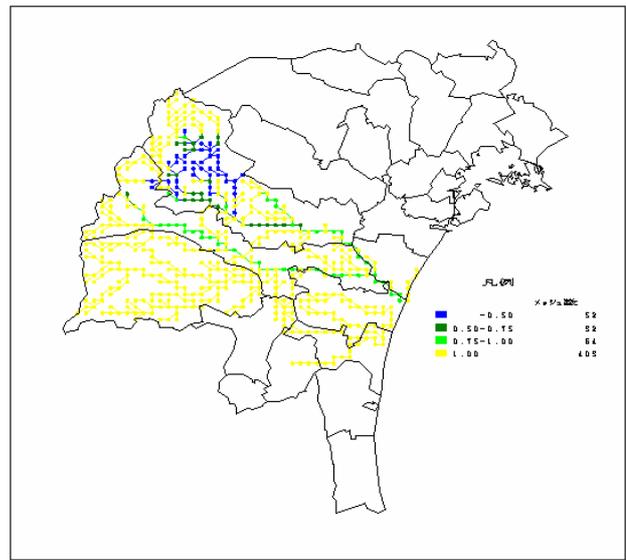
BOD
負荷量



下水道整備(ケース A-1-1) / 趨勢(ケース A)



緑の配置(ケース A-1-2) / 趨勢(ケース A)



水資源施策の評価

各ケースの評価は、流域保水能力、水質改善度で比較を行った。流域保水能力は特定時点(10/21 15:00)の流域全メッシュの合計、名取橋・広瀬橋での値を比較した。また、水質改善度については特定時点の流域全メッシュの平均(10/21 15:00)、名取橋・広瀬橋(10/20 15:00)での値を比較した。

流域保水能力はピーク時の流量を用いているため、この値が小さいほど流域に保水する水量が多くなり、無降雨時の基底流量が多くなる(良好な水環境が保たれる)。各ケースを比較すると、下水道整備ケースでは変化がなく、緑の配置ケースでは流域メッシュ合計、広瀬橋で少なくなり、保水能力が向上する。

一方、水質改善度は、下水道整備ケースで流域メッシュ平均、名取橋、広瀬橋で改善するが、特に対策地域が広い名取川流域でより改善されている。緑の配置ケースでは保水能力の向上によりピーク時の流量が減少することから、相対的に水質が悪化している。これは指標の取り方の問題であり、今後モデルの改良を進め、基底流量時の濃度推計を向上させる必要がある。

上水道の供給に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量については、各ケースとも同じ値となる。

表 2 - 34 水環境モデルによる水資源施策の評価

			趨勢型	ケース A-1-1 下水道整備	ケース A-1-2 緑の配置
流域保水能力 [流量]	各メッシュの合計	m ³ /s	7170.8	7170.8	6653.4
		差	0.0	0.0	-517.4
		比	1.00	1.00	0.93
	名取橋	m ³ /s	125.7	125.7	125.7
		差	0.0	0.0	0
		比	1.00	1.00	1.00
	広瀬橋	m ³ /s	68.4	68.4	56.9
		差	0.0	0.0	-12
		比	1.00	1.00	0.83
水質改善度 [水質]	各メッシュの平均	mg/l	1.31	1.29	1.37
		差	0.0	-0.02	0.06
		比	1.00	0.99	1.05
	名取橋	mg/l	1.17	1.12	1.17
		差	0.0	-0.06	0.0
		比	1.00	0.95	1.00
	広瀬橋	mg/l	1.62	1.58	1.63
		差	0.0	-0.04	0.01
		比	1.00	0.97	1.00
エネルギー・CO ₂ (昼間人口あたり)	エネルギー消費量	kcal/人	144.34	144.34	144.34
		差	0.0	0.0	0.0
		比	1.00	1.00	1.00
	CO ₂ 排出量	g/人	56.24	56.24	56.24
		差	0.0	0.0	0.0
		比	1.00	1.00	1.00

効果 あり



効果 負



(4) 都市親水施策のシミュレーション結果(アクセシビリティ)

ケースの設定

都市親水施策のうち良好な河畔整備ケースを以下のように設定した。

・都市親水施策・良好な河畔整備ケース(A-2)

「仙台市水辺のマスタープラン」で都市型の水辺空間と位置づけられた広瀬川・霊屋橋下流の左岸(仙台市市街地の縁)において、水辺の自然にふれあえる場として親水空間の整備が行われた場合を想定する。



アクセシビリティ指標の考え方

本調査ではきれいな水辺へのアクセス性を示す指標として以下のアクセシビリティ指標を検討した。このアクセシビリティ指標は、市街地から水にふれあえる河川への近接性が高い(距離が短く・居住人口が多い)ほど、また、その河川の水質が良いほど高い値を示す指標である。

$$\text{アクセシビリティ指標} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 (1/\text{dist}_{ij} \cdot 1/\text{wqual}_j \cdot \text{pop}_i)$$

dist_{ij} : 居住地*i*から親水空間*j*への距離(km)

wqual_j : 親水空間*j*の水質(BOD:mg/l)

pop_i : 居住地*i*の夜間人口(千人)

なお、現況で市街地に最も近い親水空間は、上流側が牛堀橋周辺、下流側を広瀬橋周辺と設定し、居住地は仙台市中心部及びその周辺を対象とした。

都市親水施策の評価

都市親水施策を将来趨勢型（水資源施策なし）と比較した。アクセシビリティ以外の指標である河川の水量・水質は都市構造の変化もなく、また、下水道の整備や保水性の向上を図ったわけではないので将来趨勢型と同様である。一方、アクセシビリティ指標については都市親水施策による市街地近傍での親水空間の整備により、で設定した指標で0.27ポイントの改善が見られた。仙台市市街地部のみ抽出して評価したため、他の指標と比較して施策の効果が高めに推計されている。

表2 - 35 水環境モデルによる水資源施策の評価

			趨勢型	ケース A-2 親水施策
流域保水能力 [流量]	各メッシュの合計	m ³ /s	7170.8	7170.8
		差	0.0	0.0
		比	1.00	1.00
	名取橋	m ³ /s	125.7	125.7
		差	0.0	0.0
		比	1.00	1.00
	広瀬橋	m ³ /s	68.4	68.4
		差	0.0	0.0
		比	1.00	1.00
水質改善度 [水質]	各メッシュの平均	mg/l	1.31	1.31
		差	0.0	0.0
		比	1.00	1.00
	名取橋	mg/l	1.17	1.17
		差	0.0	0.0
		比	1.00	1.00
	広瀬橋	mg/l	1.62	1.62
		差	0.0	0.0
		比	1.00	1.00
エネルギー・CO2 (昼間人口あたり)	エネルギー消費量	kcal/人	144.34	144.34
		差	0.0	0.0
		比	1.00	1.00
	CO ₂ 排出量	g/人	56.24	56.24
		差	0.0	0.0
		比	1.00	1.00
アクセシビリティ		値	214	271
		差	0	57
		比	1.00	1.27

効果 あり 効果 負

2 - 6 . 今後の課題

本研究では、仙台都市圏を対象に都市活動の変化（人口分布や土地利用の変化）が河川の流量や水質に与える影響を予測可能な水環境モデルを構築し、将来の都市構造施策の影響をシミュレーションすることが可能となった。

しかしながら、本モデルにはいくつかの課題が残されており、最後に今後の課題として整理する。

（ 1 ）水質予測の精度向上

水環境モデルは水循環モデルと物質循環モデル（水質予測モデル）で構成されており、水循環モデルについては現況再現性が比較的高いと言えるが、物質循環モデルでは広瀬川において過大に評価されている。この原因として、広瀬川中流域における工場からのBOD負荷量が過大推計であることが考えられ、今後の精査が必要である。

（ 2 ）基底流量を用いた「流域保水能力」の検討

水量の指標については、当初、平時の流量（基底流量）による評価を検討していた。基底流量により評価を行う場合には、地下水の予測モデルを組み込む必要があるので、本研究においても地下水タンクモデルにダルシー則で移流する地下水予測モデルを検討した。しかしながら、地下水予測モデルを組み込むことで現況再現性は比較的に良好な結果が得られるものの、施策に対する感度、すなわち緑地を増やした場合の保水能力の向上を表現することが難しかった。地下水の流れは地表水の流れとタイムスケールが異なり、本モデルで表現する場合、数年オーダーでの計算の蓄積が必要であるが、時間的な制約からそこまで至らなかった。そこで、本調査では流域保水能力をピーク時流量による評価に留めている。基底流量は、ピーク時流量が抑制されることにより増加するため、ピーク時流量を用いた指標も妥当ではあるが、地下水モデルを改良することにより基底流量による評価を可能とすることが今後の課題である。

（ 3 ）平時（基底流量）での「水質改善度」の検討

水質改善度の指標については、保水能力が高まることにより水質が悪化する結果がシミュレーションから得られている。これは水質改善度をピーク時の流量で評価したため、保水能力向上による水量低下が汚濁負荷の低下量を上回り、結果として水質が悪化したためである。しかしながら、施策の影響が基底流量に正しく反映されている場合、ピーク流量はもう少し高くなり、水質が悪化しない可能性もある。また、通常の水質計測は平時の基底流量で行われており、評価指標としては、基底流量の水質を評価すべきである。本モデルでは（ 2 ）で述べたように、地下水予測モデルの施策に対する感度が今ひとつ実態に即していないため、ピーク時流量での評価を行っている。したがって、（ 2 ）と併せて地下水モデルの改良が今後の課題である。

(4) 都市親水施策の評価方法の検討

本調査では、都市親水施策を水環境モデルで評価した。しかし、親水性は市民の意識の問題でもあり、本来であれば生活の質評価モデルで評価すべき施策である。今後は、生活の質評価モデルとのやりとりを検討し、より適切な評価方法を検討することが課題である。

第3章.

交通モデルの開発

第3章 . 交通モデルの開発

本章では、以下の2点について検討を行った。

事例収集による課題整理 (3 - 1 ~ 2)

海外において研究が進んでいる人口配置・交通モデルの情報を収集するとともに、我が国のパーソントリップ調査等における交通モデルに関する情報を収集し、モデル改良のポイントを整理する。

交通モデルの改良 (3 - 3 ~ 5)

以前の研究の際に構築した活動モデルの課題、及び上記の海外モデルとの関連から、交通モデルの改良を行う。

3 - 1 . 交通モデル研究の方向性

3 - 1 - 1 . 交通モデルのレビュー

(1) 交通モデルに関する問題・課題

1) 交通モデルに関する問題点

4 段階推定法の問題

従来から用いられている4段階推定法の問題点は、次のように整理される。

- ・ 集計データを扱うため、結果的に情報量のほとんどを切り捨てたモデルである。
- ・ 各モデルは行動論的因果関係ではなく、データに内在する統計的相関に基づいて構築され、感度の妥当性、時系列・地域間の安定性に保証がない。
- ・ 段階的に推定するため、交通機関が未定のまま目的地が決まること(又はその逆)、ゾーン間所要時間が配分後の所要時間と異なる。
- ・ 発生・集中モデルが乖離しており、交通ネットワークサービスが与える影響を把握できない。
- ・ 土地利用は外生変数としてのみ扱われ、交通が土地利用に与える影響が一切反映されないことなどが挙げられる。

非集計モデルの台頭

4段階推定法の課題を受け、非集計型交通モデルが台頭してきた。非集計モデルは、意志決定構造をとらえることで、より精度が高く、より普遍性のあるモデル構築が可能であり、柔軟なフレームワークのモデル構築、比較的小さなサンプルでモデル構築が可能である。一方で、次のような問題点も存在する。

- ・個々のサンプルの交通サービス水準を示す変数や土地利用情報を、非集計のかたちで測定するのは困難である。
- ・トリップを分析単位とすることによる課題として、々トリップについての意志決定は、互いに相関していると考えるのが論理的であり、個別トリップを他から独立的な解析単位と想定し推定を進めることは、交通行動の背後にある意志決定プロセスの中枢を無視することにもつながる。

2) 交通モデルの課題

交通施設が与える影響の予測

交通施設が地域経済にあたえるインパクトをも含んだ次元での解析を可能とする需要予測手法が必要となってきた。今後検討すべき交通は以下のように整理される。

- 交通の分類：開発交通 ：土地利用の変化によるもの
 自然成長交通：人口・社会・経済的変動によるもの
 分岐交通 ：他の経路から分岐してきた交通
 誘発交通 ：容量増加に伴い新たに生じた交通
 転換交通 ：他の交通機関から移ってきた交通
 転移交通 ：目的地の変更に伴う交通

TDM評価

TDM施策について予測および評価をする際の課題は以下のように整理される。

- ・都心へ集中するトリップの総数の変化が、4段階推定法でとらえられない。
- ・1日総トリップ数を先ず決定する方法は、行動論的視点からすれば、非常に軟弱である。

(2) 交通モデル研究の方向性

以上の整理より、本研究に関連した交通モデル研究の発展の方向性を整理すると、以下のようになる。

トリップ単位とせず、トリップ間の連関性を把握したものの
 時間軸を組み込んだもの

- ・光化学反応を伴う汚染物質の場合、排出時刻が問題となるため、時間軸を導入した需要予測システムが必要。

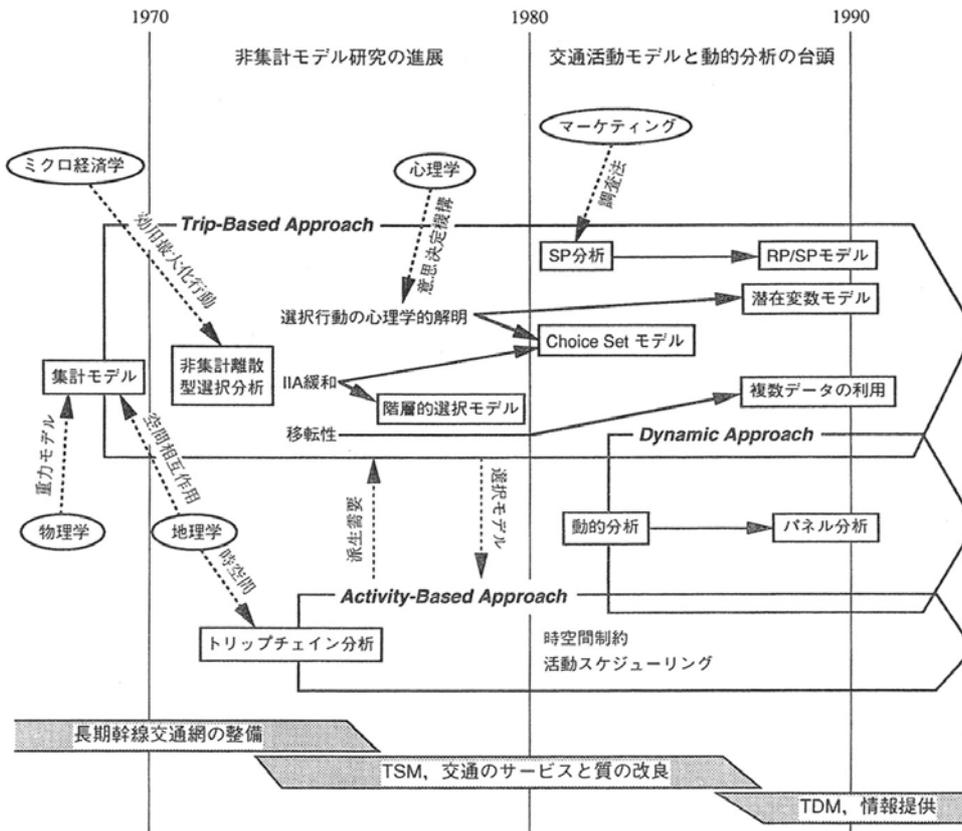
微視的な予測が可能であること

(環境問題)

- ・大気汚染、騒音、振動等の環境問題は、車両の微視的挙動に深く関わる(発進、加速)
- ・局地的な交通流の予測が必要

(生活)

- ・交通施設整備は、本来、都市住民の生活の質向上させるためのもの。
- ・生活の質の向上にどれほど貢献するかに基づいて評価されるのが望ましい。そのためには、活動 - 交通行動の解析を進めていくことが必要



出典：原田・森川・屋井「交通行動分析の展開と課題」(1993 土木学会論文集)

図3 - 1 交通行動研究の変遷

3 - 1 - 2 . 発展的な交通モデルのレビュー

土地利用・交通モデル研究の方向性について、Michael WEGENER の「 OVERVIEW OF LAND-USE TRANSPORT MODELS 」より整理する。

(1) 土地利用交通モデルの経緯

土地利用・交通モデル開発の経緯は、次のように整理される。

- ・ 1950 年代に米国で土地利用と交通の相互関係の研究が進む。
- ・ 1964 年のローリーモデル^{注1}以後、土地利用と交通のフィードバック型のモデル開発が進む。
- ・ アメリカでは、ISTEA^{注2}の制定が土地利用・交通モデルの開発発展の契機となる。

注 1 : ローリーモデル (Lowry Model)

・ローリーモデルは、1962～1963年のピッツバーグの総合開発計画のために開発され、1964年に発表された。

(モデルの概要)

- ・地域全体の生産活動(従業者数)や居住活動(夜間人口)のコントロールトータル値をインプットし、ゾーンに配分するモデル。
- ・基礎的産業と非基礎的産業とに分類し、基礎的産業の雇用主体は位置志向の立地傾向をもち、非基礎的産業の雇用主体は、市場志向の立地傾向をもつと仮定し、基礎的産業雇用(従業者数)を外生的に与え、その雇用者の住宅地が決められ、それらを市場とする雇用発生・その住宅地というプロセスを通じて収束させる。
- ・問題点としては、交通のフィードバックの視点が欠けていること(交通モデルが組み込まれていない)。

注 2 : 総合陸上交通効率化法 (ISTEA)

- ・アメリカでは、1991年の総合陸上交通効率化法(ISTEA)の制定により、MPO(都市圏計画機構)^{注3}に対して、土地利用と経済発展と整合する長期交通計画策定の責任と、地域の交通資金を配分する権限を与え、諸利害の調整と合意形成の役割を求めた。

注 3 : MPO (都市圏計画機構 Metropolitan Planning Organization)

- ・地方政府を越える広域的な交通プランニング等を専門業務として、都市地域の交通政策などの調整を行う機関。

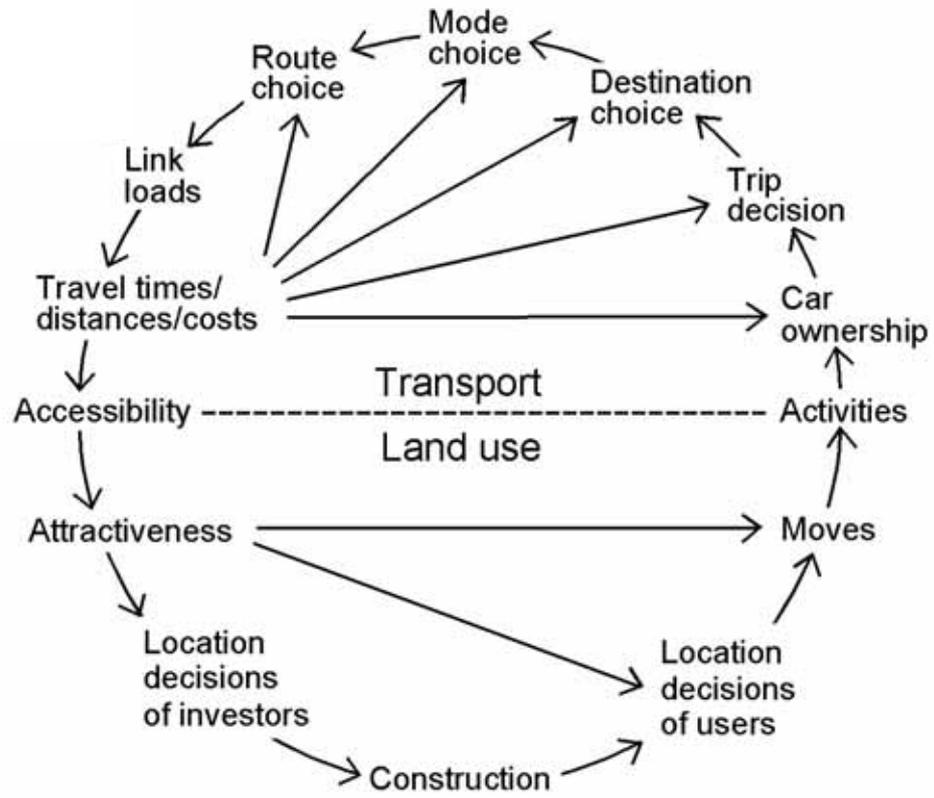


図3 - 2 土地利用と交通の相互関係

表 3 - 1 主な土地利用交通モデル

モデル名	研究開発年	概要	交通モデル が内生	アクティビティ	非集計 タイプ
BOYCE	1983～1992	Boyce によって開発された位置と交通を結合したモデル			
CUFM	1992～1998	カリフォルニアバークレー校の都市将来モデル			
DELTA	1998～2001	デービスシモンズによる土地利用経済モデル			
HUDS	1985	Kain 等によるハーバード都市開発シミュレーション			
ILUTE	2001	カナダの複数の大学で開発中の土地利用・交通・環境統合モデル			
IMREL	1991～1998	Anderstig 等によって開発された居住・雇用位置の統合モデル			
IRPUD	1982～1998	Wegener によるドルトムント地域のモデル			
ITLUP	1983～1998	Putman による居住位置モデルと雇用モデル (DRAM/EMPAL) から成る 交通土地利用の統合パッケージ			
KIM	1989	Kim 等による非線形な都市均衡モデル			
LILT	1983～1991	Mackett によるリーズの統合土地利用交通統合モデル			
MEPLAN	1969～1994	Echenique 等によって開発された統合モデル			
METROSIM	1992～1998	Anas によって開発されたミクロ経済土地利用交通モデル			
MUSSA	1991～1997	Martinez によるサンチアゴの 5 段階土地利用交通モデル			
POLIS	1986～1995	Prastacos によって開発された ABAG の最適化土地利用情報システム			
RURBAN	1986～1996	宮本等によって開発されたランダム効用都市モデル			
STASA	1990	Haag によって開発された交通都市地域モデル			
TLUMIP	2002	オレゴン州の土地利用交通モデル			
TRANUS	1982～1998	de la Barra によって開発された交通土地利用モデル			
TRESIS	2001	Hensher 等による交通環境戦略シミュレーター			
URBANSIM	1998～2002	Wadde l 等による居住地と従業地の位置選択のミクロ経済モデル			

多くのMPOでは、土地利用モデルに DRAM/EMPAL が活用されている。ヨーロッパでは、欧州委員会が土地利用交通モデルの研究に出資し、MEPLAN、TRANUS、IRPUD が活用されている。(SPARTACUS プロジェクト、PROPOLIS プロジェクト)

これらの土地利用交通モデルは、変化の対応速度の観点から、以下の8タイプに分けられる

非常に遅い変化： ネットワーク 土地利用
 遅い変化 ： 従業地 居住地
 速い変化 ： 従業者数 夜間人口
 非常に速い変化： 物流 旅客

表3 - 2 変化の対応速度の別土地利用交通モデル

Models	Speed of change							
	Very slow		Slow		Fast		Immediate	
	Networks	Land use	Work-places	Housing	Employment	Population	Goods transport	Travel
BOYCE	+				+	+		+
CUFM		+	+	+	+	+		
DELTA		+	+	+	+	+		
HUDS				+	+	+		
ILUTE	+	+	+	+	+	+	+	+
IMREL	+	+	+	+	+	+		+
IRPUD	+	+	+	+	+	+		+
ITLUP	+	+			+	+		+
KIM	+				+	+	+	+
LILT	+	+	+	+	+	+		+
MEPLAN	+	+	+	+	+	+	+	+
METROSIM	+	+	+	+	+	+		+
MUSSA					+	+		
POLIS		+			+	+		
RURBAN		+			+	+		
STASA	+	+	+	+	+	+	+	+
TLUMIP	+	+	+	+	+	+	+	+
TRANUS	+	+	+	+	+	+	+	+
TRESIS	+	+	+	+	+	+		+
URBANSIM		+	+	+	+	+		

(2) 土地利用・交通モデルの方向性

これらの土地利用交通モデルの中の交通サブモデルは、多くは4段階推定法が活用されている。また、土地利用モデルも、activity ベースモデルを作成するには空間条件が劣悪すぎる。

このため、土地利用交通モデルは、環境大気質や交通騒音の環境サブモデルに応用されていない。しがしながら、コンピュータ技術の発展と、GISによる空間データの活用により、技術面の見通しは明るい。

今後の土地利用モデルと交通モデルの発展チャートを下図に示す。

表側（土地利用）

- L1：土地利用モデルがない
- L2：活動は、プロフェッショナルな判断によってゾーンに割り当てられる
- L3：非市場ベースの土地配置モデル
- L4：価格を伴う土地配置
- L5：完全統合市場ベースモデル
- L6：マイクロシミュレーションを使った活動ベース土地利用モデル

表頭（交通）

- T1：道路と自動車トリップだけによるモデル構築
- T2：簡素化した手段選択モデル(non-logit)による公共交通機関
- T3：Logit ベースの選択モデル、ピーク時間配分
- T4：マイクロシミュレーションを使った活動ベースの交通モデル

Transport model		T1	T2	T3	T4
Land-use model		No public transport, no modal split	Public transport, no logit, 24 h	Public transport, logit, peak hour	Multimodal, activity-based
L1	None				
L2	Activity and judgement				
L3	No market-based land allocation				
L4	Logit allocation with price signals				
L5	Market-based land-use model				
L6	Activity-based land-use model				

資料：OVERVIEW OF LAND-USE TRANSPORT MODELS

図3 - 3 都市土地利用交通モデルの発展

3 - 1 - 3 . 海外モデルの事例 1 : サンフランシスコの土地利用交通モデルの概要

平成14年12月に都市環境施策が先進的に展開されているサンフランシスコ湾岸地域を訪れ、環境施策の運営・予測評価手法について、広域行政機関及びサンフランシスコ郡（サンフランシスコは「郡」と「市」が同一）にヒアリングを行った。

本項は、これら収集した資料の中で、サンフランシスコ湾岸地域及びサンフランシスコ郡における交通需要予測の取り組みを中心に、その概要を整理した。

(1) 交通需要予測に関わる各機関の役割

サンフランシスコ湾岸地域は、カリフォルニア州の中部太平洋が側に位置し、サンフランシスコ郡を含み、9つの郡で構成されている。

サンフランシスコ湾岸地域レベルの地域交通計画を策定する際の広域交通需要予測は、郡の横の関係をとりもつ広域行政機関が担い、サンフランシスコ郡（市）が、自郡の渋滞対策計画を策定するにあたっては、郡（市）の交通実態をより詳細に反映したモデルを、独自に構築している。



図3 - 4 サンフランシスコ湾岸地域の9つの郡

湾岸地域の広域行政機関

サンフランシスコ湾岸地域は、全体人口が約 600 万人で構成され、米国西海岸では、自治意識が強い小規模な自治体が多いが、自治体の枠を越えた広域的な行政課題に対しては、いくつかの広域行政機関が組織されている。ここサンフランシスコ湾岸地域では、地域計画を主に担当する湾岸地域政府間協議会（以下、A B A G）、大気質評価を担当する湾岸地域大気質管理区（以下、B A Q Q M D）、サンフランシスコ湾の水質保全を担当するサンフランシスコ湾保全開発委員会、輸送計画を担当する大都市圏輸送委員会（以下、M T C）などの単一目的の機関が組織されている。

将来予測においては、A B A G が、土地利用モデルを活用して湾岸地域のゾーン別世帯数及び従業者数などのフレームを設定し、M T C がそのフレームのもと湾岸地域の交通需要予測を行い、B A Q Q M D が大気質評価を行っている。

ここでは、サンフランシスコ湾岸地域の交通需要予測として、A B A G の人口・土地利用モデル（P O L I S）と、M T C の交通需要予測モデル（B A Y C A S T - 9 0）について概説する。

サンフランシスコ郡（市）の S F C T A

サンフランシスコ郡では、1989 年に交通プロジェクトに投資する売上税の増税が認められ、この税を管理・運営するために、行政委員会（Board of Supervisors）下に、San Francisco County Transportation Authority（以下、S F C T A）が組織された。

S F C T A は、1990 年には渋滞管理局（C Congestion Management Agency：C M A）に指名され、環境改善に向けた渋滞管理プログラム（C Congestion Management Program：C M P⁽¹⁾）の策定などが求められ、最近では 2001 年に策定されている。

C M P に向けた交通需要管理などの交通政策を検討するために、S F C T A では、M T C モデルによる予測結果を一部取り入れながら、独自に需要予測を行っている。

ここでは、S F C T A が 2002 年 1 月に新しい交通需要予測のレポート（San Francisco Travel Demand Forecasting Model System）をとりまとめられているので、紹介する。

(2) 各モデルの概要

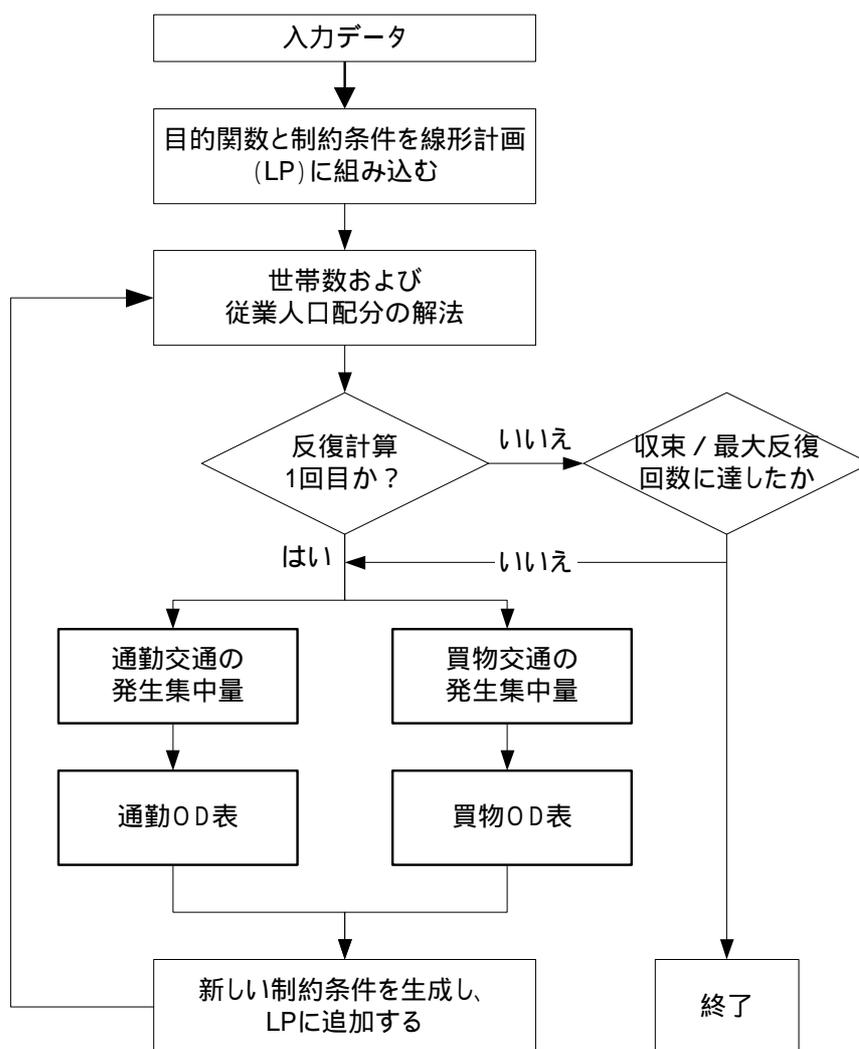
POLIS

・POLISの概要

土地利用モデルと交通需要予測モデルは、個別に構築されたものであるが、交通サービス水準を一部共有し、予測が行われている。即ち、A B A Gが設定した人口・土地利用初期値に相当する交通サービス水準をM T Cが予測し、A B A Gにフィードバックすることにより人口・土地利用を確定し、M T Cをそれに基づいて交通需要予測を行う手順となっている。

POLISは、住宅と雇用をゾーン単位(114)に予測する80年代に開発された土地利用-交通モデルである。POLISの結果は、サブエリア割り当てモデル(Subarea Allocation Model: SAM)のコントロール値として使われ、約1400ゾーンに推計される流れとなっている。

POLISは、サンフランシスコ湾岸地域のスマートグロスを打ち出しているA B A Gの2003年計画(*Projections 2003*)にも活用されている。



・モデル構造

POLISは、線形計画による総消費者効用の最大化モデルであり、ゾーン別の世帯数及び産業別従業者数（製造業、小売業、サービス業、その他の4区分）を推計する。

総消費者効用の最大化は、ゾーンの立地選択に関わる立地魅力度と地域間交通旅行費用の差分（魅力度 - トリップ費用）で説明され、交通旅行費用の推計は、通勤・買物のOD交通量を内生変数にしたモデルとなっている。

POLISの推計フローを図3-5に示す。

・立地魅力度の計測モデル

目的関数は、以下のように定式化されている。

$$\text{Max } ATTR(i) * HH(i) + ATTR(j,k) * EMPL(j,k) - ZO \quad i = 1, 114 \quad j = 1, 114 \quad k = 1, 4$$

$ATTR(i)$ = ゾーン(i)世帯の魅力度値

$HH(i)$ = ゾーン(i)世帯数

$ATTR(j,k)$ = ゾーン(j)産業(k)の魅力度値

$EMPL(j,k)$ = ゾーン(j)産業(k)従業者数

ZO = 地域全体の通勤・買物の総旅行時間（分）

世帯の魅力度は以下のように定式化される。

$$ATTR(i) = 10 * [RESLND(i) / RESLND(c)]$$

i = 郡(c)内のゾーン $c = 1, 9$

$ATTR(i)$ = ゾーン(i)世帯の魅力度値

$RESLND(i)$ = ゾーン(i)利用可能住宅用地

$RESLND(c)$ = 郡(c)利用可能住宅用地

雇用の魅力度は以下のように定式化される。

$$ATTR(j,k) = 100 * [COMLND(j) / COMLND(c)] * [EMPL_{t-1}(j,k) / EMPL_{t-1}(c,k)]$$

j = 郡(c)内のゾーン $k = 1, 4$ $c = 1, 9$

$ATTR(j,k)$ = ゾーン(j)産業(k)魅力度値

$COMLND(j)$ = ゾーン(j)利用可能商業用地

$COMLND(c)$ = 郡(c)利用可能商業用地

$EMPL_{t-1}(j,k)$ = 前期ゾーン(j)に立地していた産業(k)従業者数

$EMPL_{t-1}(c,k)$ = 前期に郡(c)に立地していた産業(k)従業者数

・制約条件

以下の4つの制約条件をもつ

住宅用地制約

HH(i) * 住宅密度(i) <= 利用可能住宅用地(i)

$$i = 1, 114$$

世帯数のコントロールトータル

合計 [HH(i,c)] = 郡(c)に配分される世帯数

$$i = \text{郡(c)内のゾーン} \quad c = 1, 9$$

従業者数のコントロールトータル

合計 [E(j,k,c)] = 産業(k)から郡(c)に配分される従業者数

$$j = \text{郡(c)内のゾーン} \quad k = 1, 4 \quad c = 1, 9$$

利用可能な商業用地制約

合計 [E(j,k)*従業密度(j,k)] <= 利用可能商業地(j)

$$j = 1, 114 \quad k = 1, 4$$

・通勤・買物目的のOD交通量の推計

世帯数と従業者数のもとで、通勤と買物の発生量と集中量が単純な等式により決定され、通勤・買物OD表は両側制約のグラビティモデルにより作成されている。

用地の利用可能性と、カウンティの世帯数・従業者数のコントロールトータルが制約として課せられる

通勤発生量 = 世帯数*就業者数/世帯(i)

通勤集中量 = 就業可能な職業数(j)

買物発生量 = 世帯数*1人あたり所得/1,000(i)

買物集中量 = サービス産業従業者数*従業者1人あたり平均小売販売額(j)

上記の発生集中量のもと、下記のグラビティモデルによりOD交通量が推計される。

$$T(i,j) = A(i) * O(i) * B(j) * D(j) * \exp(-\text{Beta} * C(i,j))$$

$T(i,j)$ = ゾーン*i*とゾーン*j*間のトリップ数

$A(i)$ = 発地の調整係数

$O(i)$ = ゾーン*i*を発地とするトリップの数

$B(j)$ = 着地の調整係数

$D(j)$ = ゾーン*j*を着地とするトリップの数

$Beta$ = パラメータ

$C(i,j)$ = ゾーン*i*と*j*間の平均通勤時間(分)

このモデルで推計されるOD量をバイダース分割計算法により総トリップ費用を推定する。推計値の総トリップ費用と実績交通費用(OD量にトリップ費用マトリックスを乗じたもの)を比較し、差が10%以下であれば収束させ、そうでなければ、これまでのステップを収束するまで繰り返す。

B A C A S T - 9 0

B A Y C A S T - 9 0 は、それまでのメインフレーム版の需要予測モデルである M T C F C A S T - 8 0 / 8 1 モデル(集計型)を、マイクロコンピューター版に改良した集計型モデルであり、1990年センサスデータにもとづいている。

このモデルにより、湾岸地域の交通需要が予測され、近年では、2001年の地域交通計画(R T P、2年ごとに見直し)などに活用されている。

B A Y C A S T - 9 0 の特徴(改良点)として、ネステッドロジットモデルが世帯内就業者数選択、自動車保有台数選択及び交通手段選択に適用されたことである。また、簡略化された点として、通勤分布モデルの目的地選択モデルが、自動車所要時間のみにもとづくグラビティモデルに簡略化されたことである。

その他の M T C F C A S T - 8 0 / 8 1 モデルとの相違点や、モデルの全体概要については、土木学会「道路交通需要予測の理論と適用」に紹介されていることから、ここでは、紹介されていない部分について整理する。

なお、モデル作成には、コンサルティング会社のケンブリッジシステムテック社の支援を受けている。

．データ

モデル構築用データは、1990年に行われた世帯交通行動調査に基づき、これは9359世帯の平日1日調査データと1479世帯の平日数日間(3～5日間)調査データから構成される。調査は、世帯及び個人レベルの情報を収集する電話インタビューの後で、トリップベースの調査票を郵送し、出発地・到着地・交通手段・出発時刻・到着時刻、乗車人員を把握している。

ゾーンは、域内1,099ゾーン、域外21ゾーンの計1,120ゾーンであり、道路ネットワークはHOVレーン情報が入った約31,300リンクで構成されている。また、700以上の公共交通路線が含まれ、午前ピークとオフピークに分けられた公共交通ネットワークが作成されている。

．モデルの推計フロー

モデルの推計フローを図3-6に示す。また、トリップ目的は、以下の5つに分けられている。

自宅関連通勤(HBW)

自宅関連買物・その他交通(HBSH)

自宅関連社交・娯楽(HBSR)

自宅関連通学(HBSK)

非自宅関連交通(NHB)

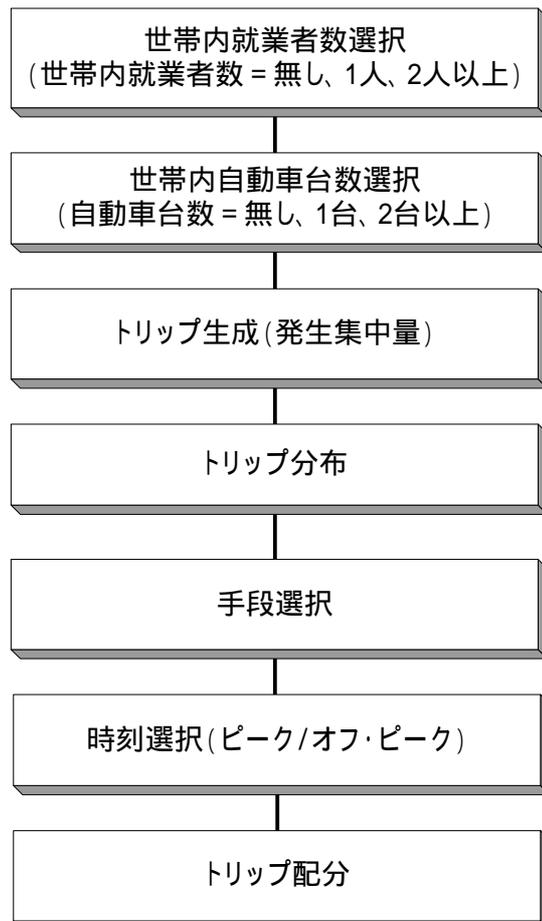


図3-6 モデルの推計フロー

・世帯内就業者数・自動車台数選択モデル

世帯内就業者数・自動車台数選択モデルは、世帯内就業者数と自動車台数が階層になったネスティッドロジットモデルであり(下図) このモデルに活用される世帯収入、世帯人員などは、A B A Gの予測値が活用されている。

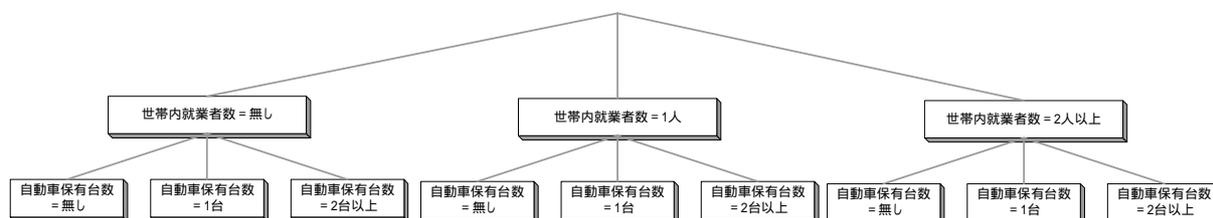


図3 - 7 就業者数自動車台数選択モデルの階層

・トリップ生成モデル(発生集中量)

自宅関連通学以外は重回帰式となっている。

・トリップ分布モデル

グラビティモデルに使用される距離抵抗は、自宅関連通勤と自宅関連通学では、午前ピーク時の所要時間のみが使用され、自宅関連買物、自宅関連社交及び非自宅関連トリップにはピーク時とオフピーク時を合成した所要時間が活用されている。ピーク時とオフピーク時の合成比率は90年の世帯調査に基づき、ピーク時:オフピーク時=32.4%:67.6%と設定されている。

目的地選択モデルからグラビティモデルに簡略されたことに関してはM T Cレポート²⁾の中では、「目的地選択モデルの推定が難しく、将来においても恐らく難しく、今後の改良として、多手段の所要時間にもとづく確率加重型グラビティモデルの適用が望ましい」とコメントされている。

ただし、B A Y C A S Tの最良の機能を組み込んで現在開発中のM T C F C A S Tモデル(非集計)では、ロジット型分布モデルが組み込まれている。

・手段選択モデル

手段選択モデルは、自動車、公共交通、徒歩、自転車の4モードであり、これに乗車人員及び端末手段が階層になったネスティッド型になっている。下図は自宅関連通勤手段選択モデルのツリー構造を示している。

選択モデルの重要な点としては、午前ピークとオフピークの両方の所要時間とトリップ費用が用いられていることである。交通目的の手段選択はピークとオフピークのどちらか一方ではなく、両方の変化に影響を受けることになっている。

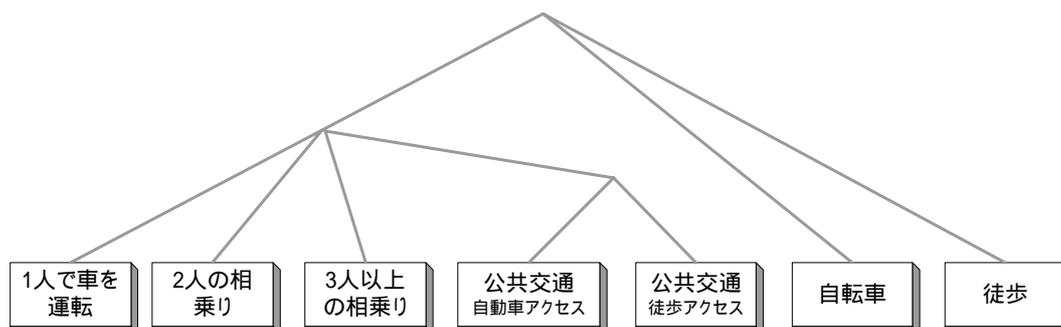


図3 - 8 自宅関連通勤手段選択モデルの階層構造

・出発地選択モデル

このモデルは自宅から勤務先に向かう自動車利用トリップのみに適用され、以下の2つの時間帯が設定されている。

- ・午前6:30~8:30(ピーク)に自宅から勤務先に出発
- ・午前6:30前又は8:30以降(オフピーク)に自宅から勤務先に出発

S F C T A の SF Model

. 背 景

1990年のセンサスによると、サンフランシスコは、公共交通利用が全米で2番目に高く、通勤・帰宅における自動車以外の手段構成が3番目という、全米の中でも公共交通の利用率が高い都市であることが特徴である。

また、CMPでは、環境改善に向けた交通需要抑制策(一人乗り自動車交通の抑制など)、公共交通利用を重視した政策が重視されている。

このような背景のもと、San Francisco Travel Demand Forecasting Model System(以下、SF Model)は、サンフランシスコ特有の豊かな公共交通を表現し、かつ、交通政策導入効果を都市交通への影響をより正確に分析・表現できるモデルとして開発された。このモデルは、渋滞管理プログラム2001(CMP)に適用されている。

なお、モデル開発には、ケンブリッジシステムテックス社(Cambridge Systematics, Inc.)が関わっている。

・モデルの特徴

SF Model の大きな特徴として、ツアー単位のアクティビティモデルで構築されていることである(図参照)。モデルの中では、1日のツアーパターンを、以下の5つのツアータイプで表現している。

主たる活動が、2つ以上の異なるツアーをもつ場合は、行き先での滞在時間が最も長いものでツアータイプを確定している。

特徴の2点目として、図のモデルシステムのフローにみるように、自動車利用可能性モデルからはじまって、目的地選択モデルの結果が職場位置モデルに反映され、再度自動車利用可能性モデルにフィードバックされるとともに、配分結果の交通サービスが、各モデルにフィードバックするフローとなっている点である。

3点目に、マイクロシミュレーションモデルとして開発されたことである。1990年センサスデータを用いて、世帯人数/世帯内就業者数・世帯主年齢・世帯収入により108の世帯タイプに分けた合成サンプルから需要予測が行われている。

- ・自宅ベース通勤ツアー
- ・自宅ベース通学ツアー
- ・自宅ベースその他ツアー
- ・自宅ベースの2次ツアー
- ・勤務地ベースのサブツアー

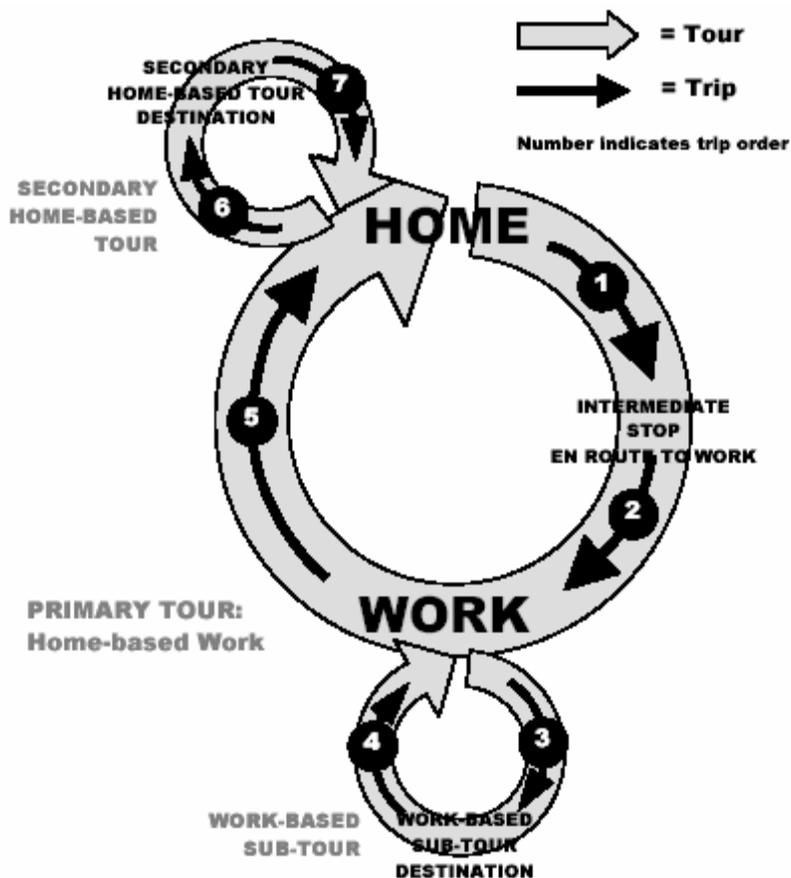


図3 - 9 1日のツアーパターンイメージ

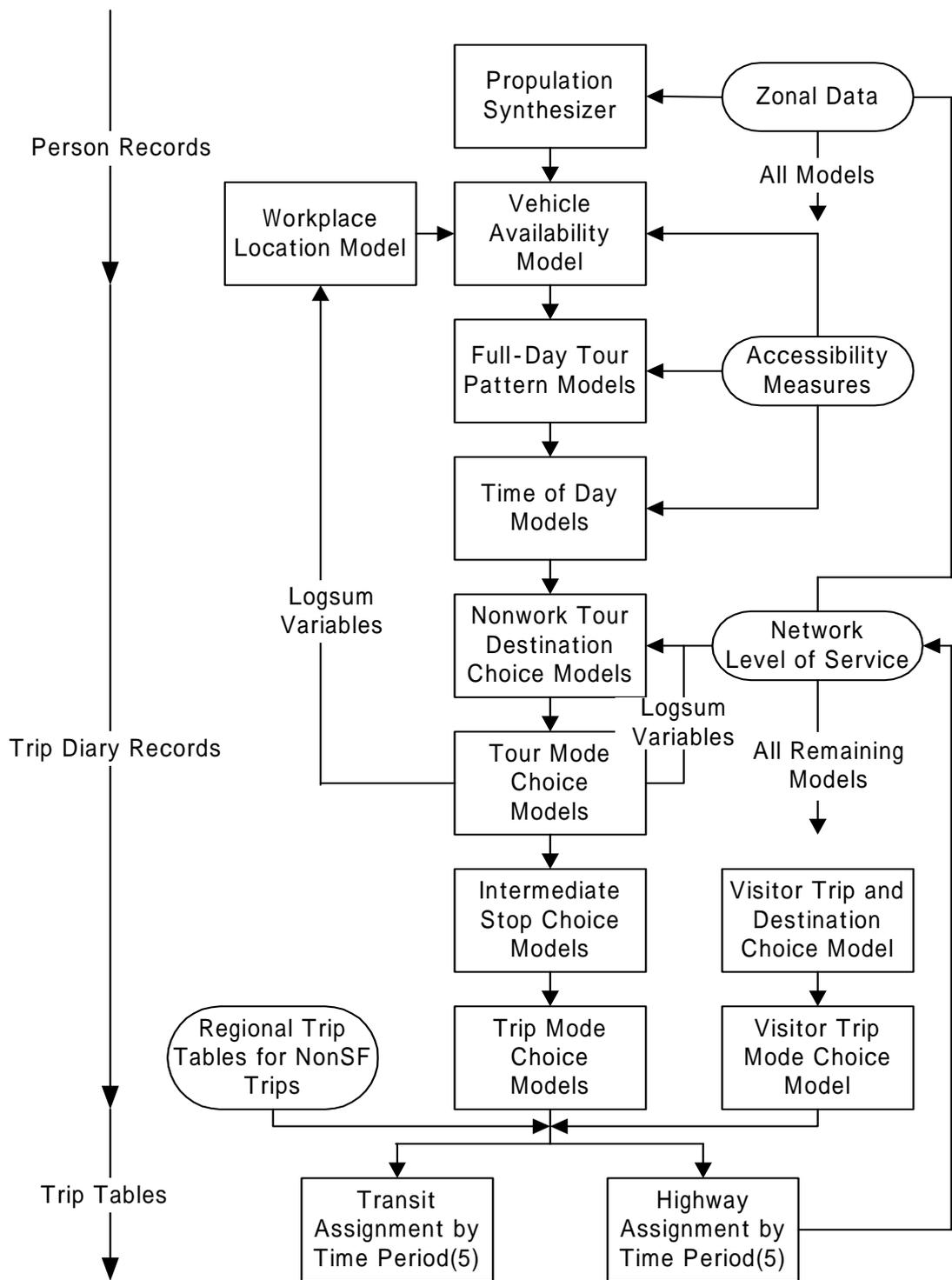


図 3 - 10 SF Model のモデルシステム

・ M T C の予測値との関わり

SF Model は、サンフランシスコ郡居住者の交通需要を取り扱い、その他の郡居住者の交通需要は、M T C の予測結果を活用している。

・ ゾーンとデータ

サンフランシスコ郡内のゾーン数は、M T C のゾーン (127 ゾーン) を分割し 766 ゾーンとし、ベイエリア全体で 1,739 ゾーンとしている。

ネットワークデータは、サンフランシスコの全道路と公共交通路線が網路されており、51,000 リンクから構成されている。

モデル構築用のデータは、その多くは 1990 年の M T C ベイエリア交通調査データが活用され、交通実態をとらえるための実態調査は行われていない。なお、一部 S P 調査 (サンプル数 6 0 9) が 1999 年に行われたが、変数間のトレードオフ関係の分析に止まり、結果的にモデルの変数には適用されなかった。

・ 各モデルの概説

自動車利用可能性モデル

世帯内の利用可能な自動車台数を予測するモデルであり、「自動車保有なし」「1台保有」「2台保有」「3台以上」の4選択の多肢選択ロジットモデル(ML)から構築されている。モデルは、1990年のMTC調査データの1,244サンプルを活用している。説明変数としては、世帯属性データ(世帯内成人数、世帯内就業者数、世帯収入)、交通サービスレベル(自宅から勤務地までの自動車所要時間、公共交通と自動車の所要時間比、勤務地の駐車費用)等が適用されている。

1日行動パターンモデル

1日行動パターンは、以下のようなツアーの特性の組み合わせを加味し計16タイプに分けている。

- ・ 自宅ベースツアーの目的 (4 分類 : 「通勤」「通学」「他」「なし」)
- ・ 自宅ベースのトリップチェーンタイプ (4 分類 : ツアーの中の立ち寄り場所の位置により主要目的地の「前」「後ろ」「なし」「両側」)
- ・ 自宅ベースの2次ツアー数
(3 分類 : 「0」「1」「2以上」)

また、3つの個人属性(「子供・学生」「就業者」「その他の成人」)でセグメントしている。サンプルデータは、最も多い「就業者」で2,170サンプル、最も少ない「学生・子供」で571サンプルである。

説明変数には、年齢、世帯内成人数あたり自動車保有台数、世帯内幼児数、世帯内独身数などが適用されている。

時間選択モデル

時間選択モデルは、自宅ベースツアーのためのモデルであり、主要ツアーを始めるための自宅発時間と帰宅するために主要目的地を出発する時間の両方を同時に予測するものとなっている。時間設定は、以下の5つの時間帯である。

- ・早朝 (3:00 ~ 5:59)
- ・午前ピーク (6:00 ~ 8:59)
- ・昼間 (9:00 ~ 15:29)
- ・午後ピーク (15:30 ~ 18:29)
- ・夜間 (18:30 ~ 26:59)

この5つの時間帯設定により、自宅発と主要目的地発の時間帯組み合わせは15組となる。

自宅ベース通勤ツアーでは「AMピーク - PMピーク」が多く、自宅ベース通学ツアーでは「AMピーク - 昼間」、その他ツアーでは「昼間 - 昼間」の組み合わせが多い。ツアータイプと時間帯選択には密接な関係があることが報告されている。

目的地選択モデル

目的地選択モデルは、ツアーベースの目的地選択モデル（職場位置モデル）と、トリップベースの目的地選択がモデルに分けられ、ツアーベースの後にトリップベースの目的地選択が予測される。ツアータイプに応じて8つにセグメントされている。

（ツアーベース）

- ・自宅ベース通勤ツアーの主要目的地
- ・自宅ベース通学ツアーの主要目的地
- ・自宅ベース他ツアーの主要目的地
- ・勤務先ベースサブツアーの主要目的地

（トリップベース）

- ・自宅ベース通勤ツアーの立ち寄り場所
- ・自宅ベース通学ツアーの立ち寄り場所
- ・自宅ベース他ツアーの立ち寄り場所
- ・勤務先ベースサブツアーの立ち寄り場所

説明変数としては、ODゾーンダミー（例えば、「O&DがともにCBDダミー」等）、ODサービスレベル、交通手段選択のログサムなどが適用されている。サンプル数は最も少ないセグメントで120（勤務先ベースサブツアーの立ち寄り場所）、最も多いセグメントで1627サンプル（自宅ベース通勤ツアーの主要目的地）となっている。

なお、目的地のゾーン数は40ゾーンに集約され、モデル推計がなされている。

交通手段選択モデル

交通手段選択モデルは、ツアーベースでは計6手段、トリップベースでは計11手段の選択肢となっている。(図参照)

BAYCAST-90が「公共交通」が一本であるのに対して、SF Modelの公共交通は、トリップベースでBART⁽²⁾、MUNI⁽³⁾、プレミアム(カルトレン⁽⁴⁾、高速バスなど)、バスの4手段に分けられている。

ツアーベースの手段とトリップベースの手段との関わりを表-1に示す。ツアーベースの「自動車-運転」は、主として自動車(運転)でなされたツアーであり、トリップベースの「一人乗り運転」「二人乗り運転」「三人以上乗車運転」「徒歩」を内包する。

説明変数には、乗車時間、待ち時間、立ち寄り回数、ゾーンの歩行環境データ(安全性、都市活力など)、費用(現金支払い)、世帯属性(世帯人数、世帯員年齢など)が適用されているが、駐車料金のような意図した変数が組み込めなかったことが報告されている。

なお、ツアーベースの交通手段選択モデルの適用時には、分布モデルの前であるため、立ち寄り先が確定していないことから、手段選択モデルのLOSには立ち寄り先のLOSが反映されていない。

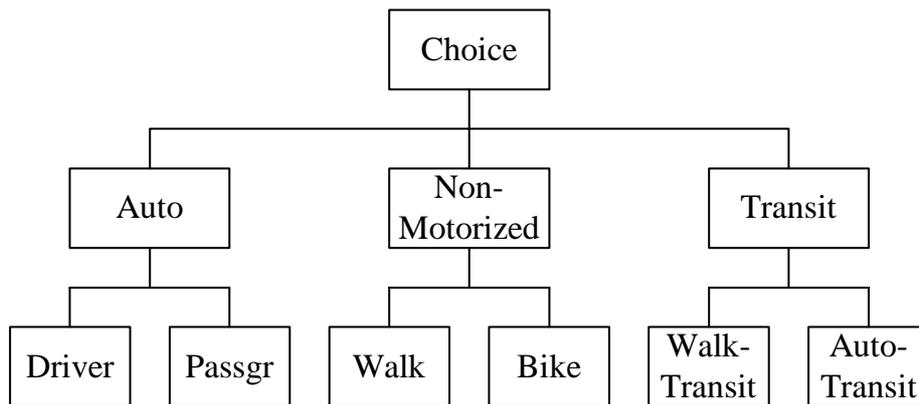


図3-11 ツアーベースの交通手段選択肢

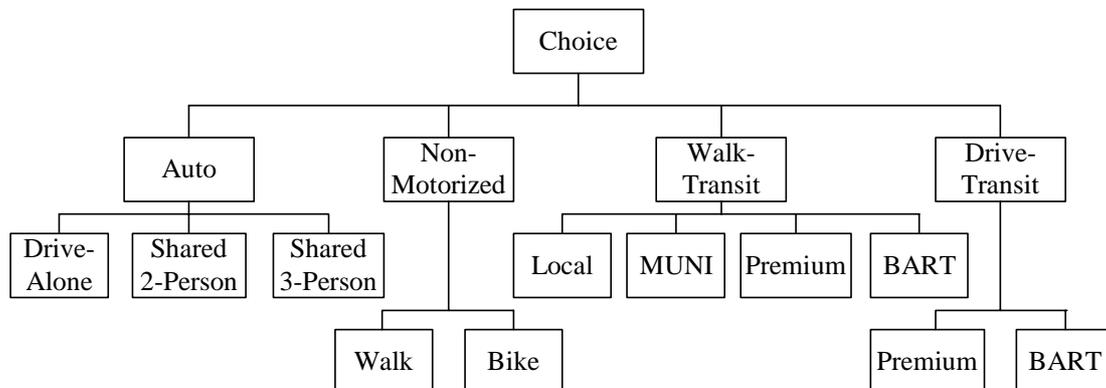


図3-12 トリップベースの交通手段選択肢

表3 - 3 ツアーとトリップの交通手段関係

Trip Mode	Tour Mode					
	Driver	Walk	Bike	Passenger	Walk-	Drive-
Drive Alone	X					
Share-2	X			X	X	X
Share-3+	X			X	X	X
Walk	X	X	X	X	X	X
Bike			X	X	X	X
Walk-Local					X	X
Walk-MUNI					X	X
Walk-Premium					X	X
Walk-BART					X	X
Drive-Premium						X
Drive-BART						X

3 - 1 - 4 . 海外モデルの事例 2 : オレゴン州土地利用交通モデルの概要

(1) 背景

米国およびオレゴン州における土地利用・交通モデルの開発に関わる経緯は、以下のよう
に整理される。

- ・ 1990年代初頭、アメリカでは土地利用と交通、経済、環境の関心が高まる。
- ・ 1990年改正大気浄化法 (CAAA) 。
- ・ 1991年の総合陸上交通効率化法 (ISTEA) の制定により、MPO (都市圏計画機構)
に対して、土地利用と経済発展と整合する長期交通計画策定の責任と、地域の交通資
金を配分する権限を与え、諸利害の調整と合意形成の役割を求めた。

解析レベル等が全国的に変化

- ・ オレゴン州では交通需要モデリングはもともと運輸局の道路部門で行われていたが、
モデリングの成果はもはや道路建設ではなく、土地利用と交通が結びついた全体シ
ステムの解析及び議論へ移行する。
- ・ オレゴン州運輸局 (ODOT) が、1994年にオレゴン州モデリング改善プログラム (OMIP)
に着手する。ねらいは、利害関係者を集め情報交換と新規アイデア開発を行うフォ
ーラム開催、モデリングツールの開発、ツールの適用に関する教育とトレーニングで
あった。
- ・ 1996年から TLUMIP の開発に着手する (州全域モデル) 。

(2) モデル概要

モデルの階層構造と協同開発

オレゴン州でのモデリングは、おもに地域レベルと州全域レベルの2つのレベルで行な
われている。地域レベルでは、MPO のほとんどが所属自治体のためにモデリングを行い、
非MPO地域および支援が必要なMPO地域に対してはODOTがモデリングを実施している。
モデルの改良と統合に対する全般的な、州全域のニーズに対してはOMIPが対応している。

オレゴン運輸局 (ODOT) とメトロ (ポートランド都市圏のMPO) は活動を緊密に調整
し、他のMPOのニーズに応じて支援を行なうため、できるだけ効率的かつ効果的にスタッ
フと資金を使用している。

メトロは、アクティビティ・ベースの交通モデリングに関する先駆的な作業から得られ
た多くの経験と結果を提供している。このため、協同フォーラムが定期的開催されてい
る。

第1世代モデル

1996年から TLUMIP (第1世代) の開発に着手した (州全域モデル) 。都市部の土地
利用・交通モデルはUrbanSim、州全体と分割地域にはTRANUSを適用した。

1) UrbanSim

UrbanSim は、世帯と企業の位置選択を考慮し、土地市場を調整要素として需要と供給の相互作用としてシミュレートする。

外生インプットとして、基準年の土地利用、人口および従業者数、地方の経済予測、交通システムと土地利用計画、土地開発政策(密度や環境制約など)開発賦課金を外挿する。

このモデルは内生的に、企業と世帯の位置、ディベロッパーによる新規建設と再開発の量、土地と建物の価格を予測する。2つのモジュール、すなわち人口学的遷移モジュールと経済移行モジュールが、地方レベルでタイプ別(たとえば、年齢、収入、産業分類)の世帯および企業の分布の変化量を、集計コントロール・トータルに整合させながら予測する。モデルは1年間隔で実行される。

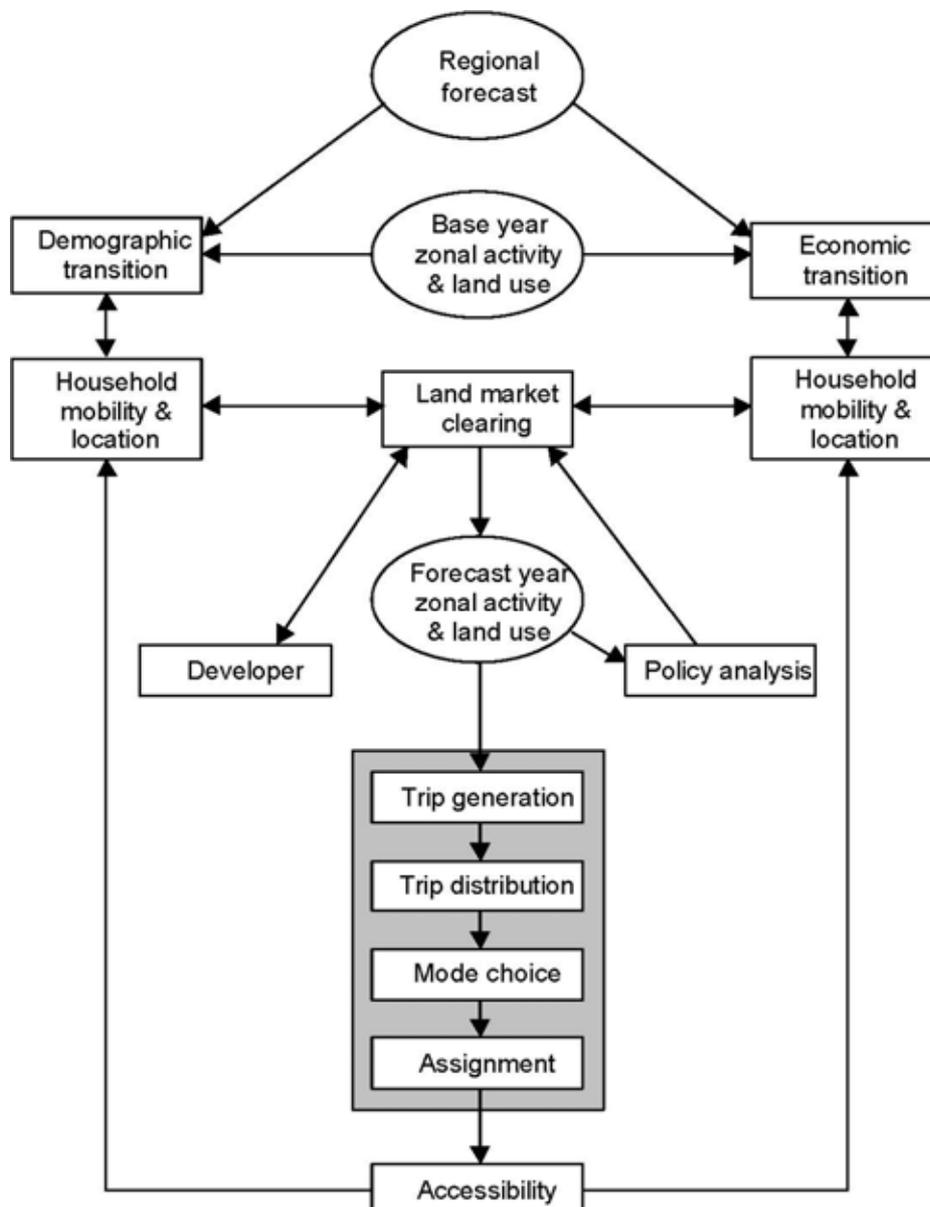


図3 - 13 UrbanSimの構造

2) 州全域モデルと分割地域モデル (TRANUS)

TRANUS パッケージが活用されている。分割地域モデルのゾ
 イ指標が、州全域モデルに返され、収束判定基準が達成され
 州全体モデルではオレゴン州とワシントン州クラーク群を
 分割地域では約 350 ゾーンに分割されている。



図 3 - 14 州全体モデルのゾーン

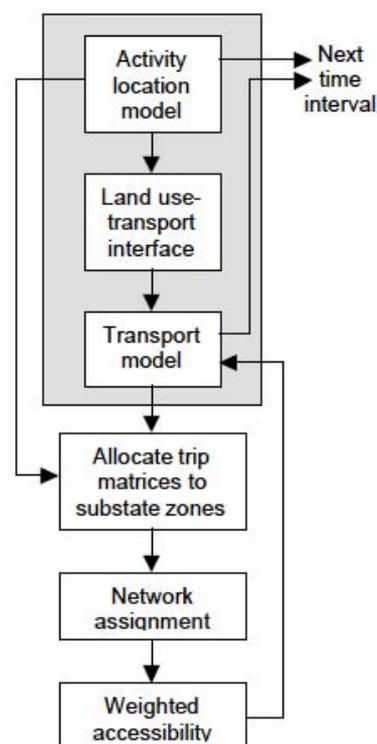


Figure 7. Substate Modeling Framework

経済部門のモデルは、下表のように 12 の産業と 3 つの世帯タイプで表現される。

表 3 - 4 経済部門

記号	説明
AGFF	農業, 林業, 水産業
CONS	建設, 鉱業
OMFG	食品加工, 非金属鉱物, 金属, その他
WOOD	材木・木材, 紙パルプ
PRNT	印刷・出版
TECH	機械設備, ハイテク, 輸送設備
TCPU	運輸, 情報通信, 電気・ガス・熱供給・水道
WLSE	卸売
RETL	小売
FIRE	金融, 保険, 不動産
SERV	宿泊, 個人向/法人向/医療福祉サービス, 娯楽, 団体
GOVT	教育, その他行政機関
HHL0	低所得世帯
HHMi	中所得世帯
HHHi	高所得世帯

交通に関するキャリブレーションの目標は、交通需要区分ごとに総トリップ数と平均トリップ長を測定値から約 20% 以内に合わせることであり、さらに主要都市間の平均平日交通量から約 20% 以内に合わせることであり、達成された。

第2世代モデル

第1世代モデルが2002年8月までに開発され、その後、第2世代モデルは2003年までに開発された。

1) 第2世代モデルの背景

第1世代モデルでは、単一の地理的スケールのモデルでは、多様な課題及び多様な地理的レベルの課題に対処できないと想定され、州全域と分割地域レベルではTRANUSを、大都市圏レベルではUrbanSimを使用することにしたが、第1世代の作業を通して並行的な開発には維持できないほど大きな費用が掛かることが判明した。

また2つのモデリング作業は、歩調を合わせて進むどころか、実際には互いに乖離していくことが明らかとなった。これらの問題を解決し、交通計画解析部門のニーズに対応するため、分析者の必要性に応じてさまざまな地理的および時間的解析レベルに拡張できる、非常に柔軟なモデリングのフレームワークを目指すこととした。

地区レベルの課題に対処できる単一モデルを提供するという目標に置き換えられた。

2) 第2世代モデルの特徴

第2世代モデルの特徴は、以下のとおりである。

- ・モデルは単一の地理的スケール上で稼働しなければならない。そのスケールは、大都市圏では交通解析ゾーン、それ以外の地域では国勢調査の調査単位に概ね等しいものとする。
- ・交通および土地利用、経済のモデリング・コンポーネントは完全に統合されていなければならない。環境のモデリング・コンポーネントについても同様に統合されなければならない。しかしながら、現時点ではその統合の程度と方法は明らかではない。
- ・モデルは、完全にダイナミックでなければならない。
- ・モデルは、均衡（交通および経済市場に対して）および不均衡（土地市場と活動の相互作用に対して）の複合的な構成でなければならない。
- ・交通モデルは、アクティビティ・ベースでなければならない。
- ・モデルに必要なデータは、時間および費用の両面において入手可能でなければならない。

3) 第2世代モデルの構造

第2世代モデルの構造は以下のとおりである。

- ・巨視的な経済人口モデル（ED）が州全域の総活動量を算出し、世帯と企業（生産）に配分される（HA、PA）。この時、土地開発モデル（LD）によって土地と空間の開発行為及びそれらへの影響が表現される。次に、相互作用モデル（AI）によって、各ゾーンの生産要素と消費要素をリンクさせている。最後に、交通モデル（TR）によって、上記活動から発生するトリップをネットワークに配分する。
- ・モデルは、1年間隔で時間が経過することになっている。交通コンポーネントからのアウトプットだけでなく、コンポーネント間がつながったものとなっている。

- ・分析ゾーンは、約3000ゾーンである。

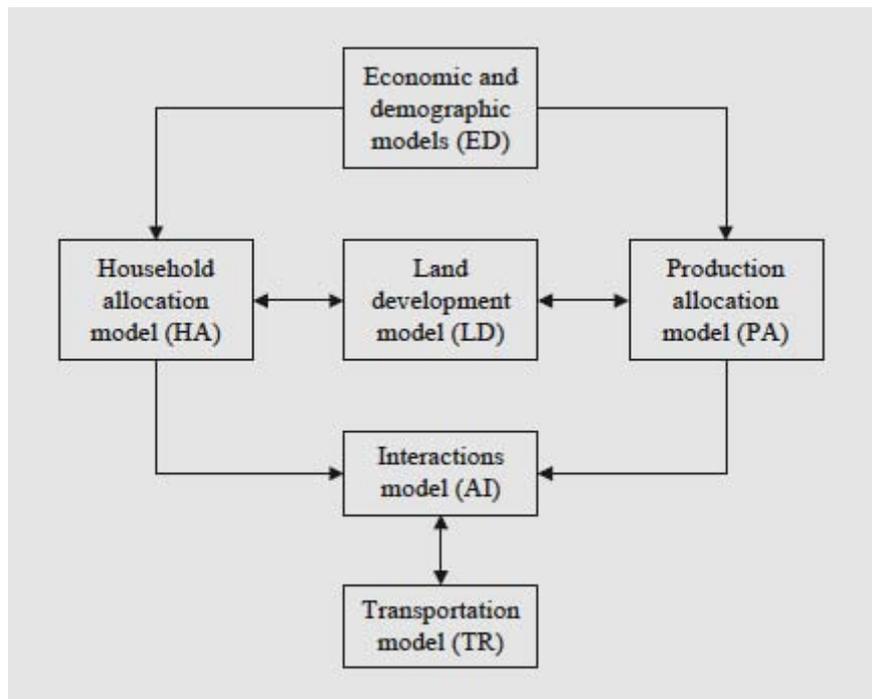


図3 - 15 全体構成

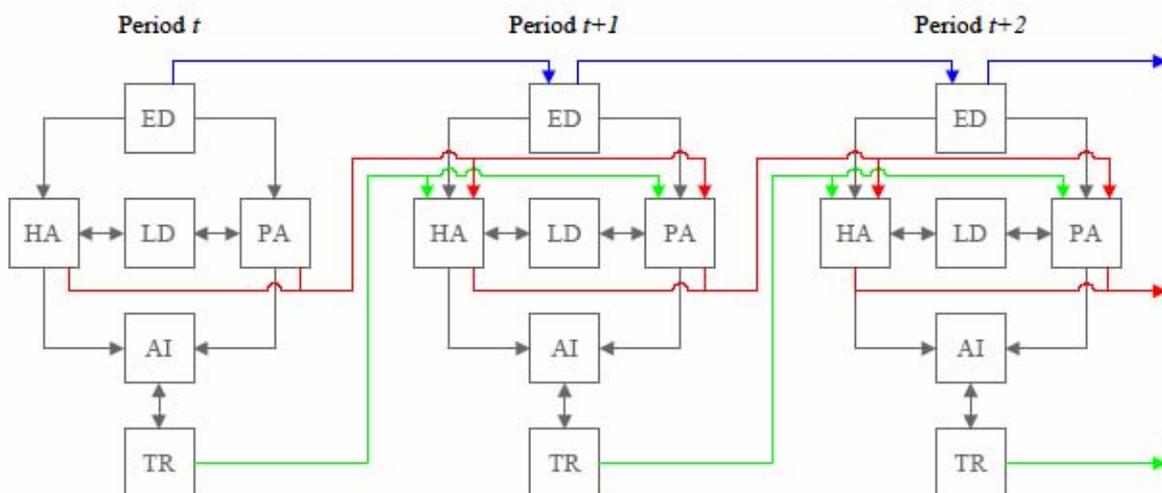


図3 - 16 モデルの全体フレームワーク

経済人口モデルコンポーネント（E D）

（経済コンポーネント）

州全域の産業別生産量の変化を予測するとともに、モデル対象地方と域外地方間の移出入を予測する統合型の計量経済モデル。このモデルによる就業者予測を用いて人口モデルへ情報を受け渡し、さらに人口モデルのアウトプットを用いて経済モデルの労働力供給の情報を得る。

（人口モデルコンポーネント）

世帯の転出入、既存人口の属性更新を踏まえた人口モデルとなっている。経済モデルに統合される予定。

世帯配分モデルコンポーネント（H A）

個々の世帯行為をマイクロシミュレーションにより表現し、世帯の転出入をダイナミックに表すモデル。

生産配分モデルコンポーネント（P A）

個々の企業についてマイクロシミュレーションにより表現することは不可能なため、ゾーンの集計レベルで約20部門ごとの生産額を扱っている。ただし、将来世代のモデリングでは、事業所のマイクロシミュレーションに取り組む予定。

土地開発モデルコンポーネント（L D）

世帯配分及び生産配分コンポーネントによるスペース価格と占有密度を受け、土地開発モデルでは新規空間の開発行為と既存空間の再開発行為をシミュレートし、価格を算出するモデル。

相互作用モデルコンポーネント（A I）

財とサービスが生産者から消費者へと受け渡される交換位置を考慮し、交換価格（市場価格）を決定するモデル。

商品価値のフローが交通モデルへ引き継がれる。

交通モデルコンポーネント（T R）

世帯に対してはアクティビティ・ベースの交通需要モデルを、世帯以外から出発する交通に対しては集計型需要モデル（ツアーベース）を適用。標本数え上げ方法によりポートランド地方の各世帯の交通アクティビティを推定している（「今後、他郡にも拡大できるであろう」）。ポートランドモデルと比べ、世帯及び生産配分モデルで生成されたアクティビティ相互作用を順守するという制約がある。

出発時刻選択モデルにより4つの時間帯（午前ピーク時、昼間、午後ピーク時、オフピーク時）に割り当てられ、確率的利用者均衡配分手法により複合交通のネットワークに配分される。

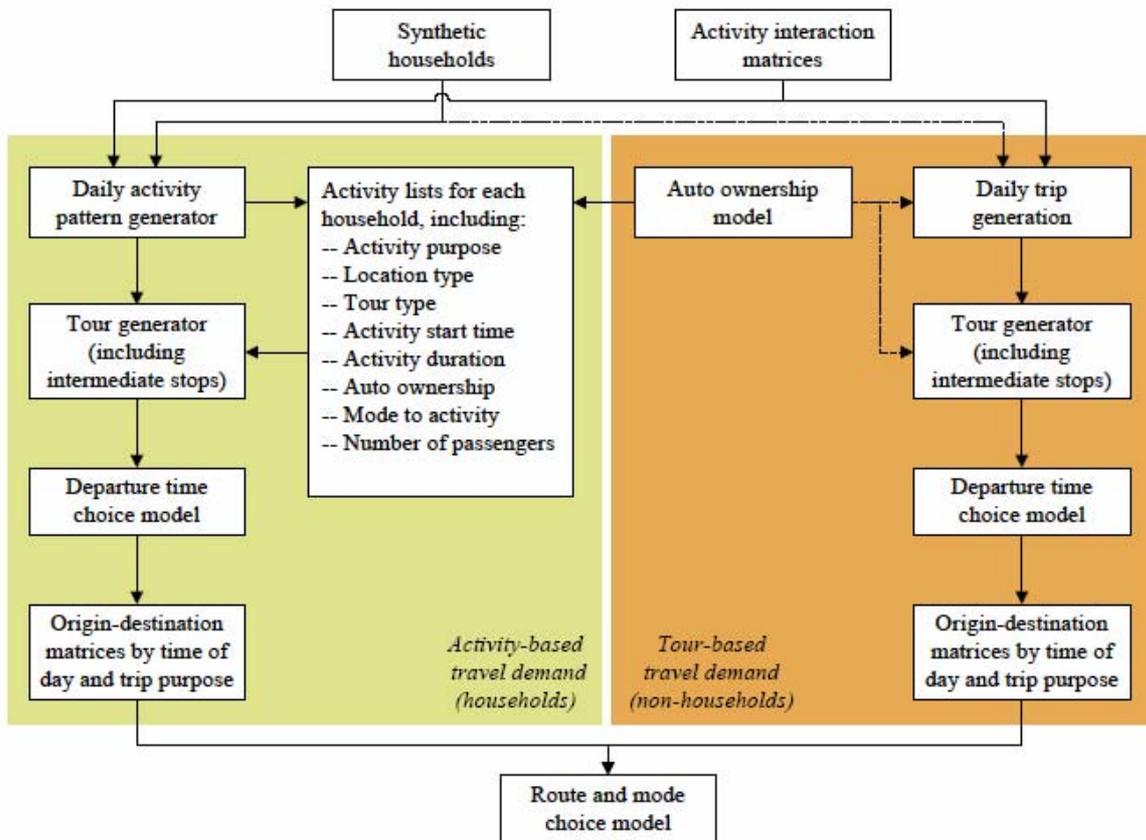


図 3 - 17 交通モデルのフレームワーク

3 - 2 . 交通モデルの改良方針

(1) これまでの成果

以前の研究では、仙台都市圏パーソントリップ調査の交通行動モデルをベースに、配分後の混雑状況をフィードバックさせた均衡モデルを構築した。また、上記の均衡モデルに、土地利用モデルを組み込み、「活動モデル」を構築した。

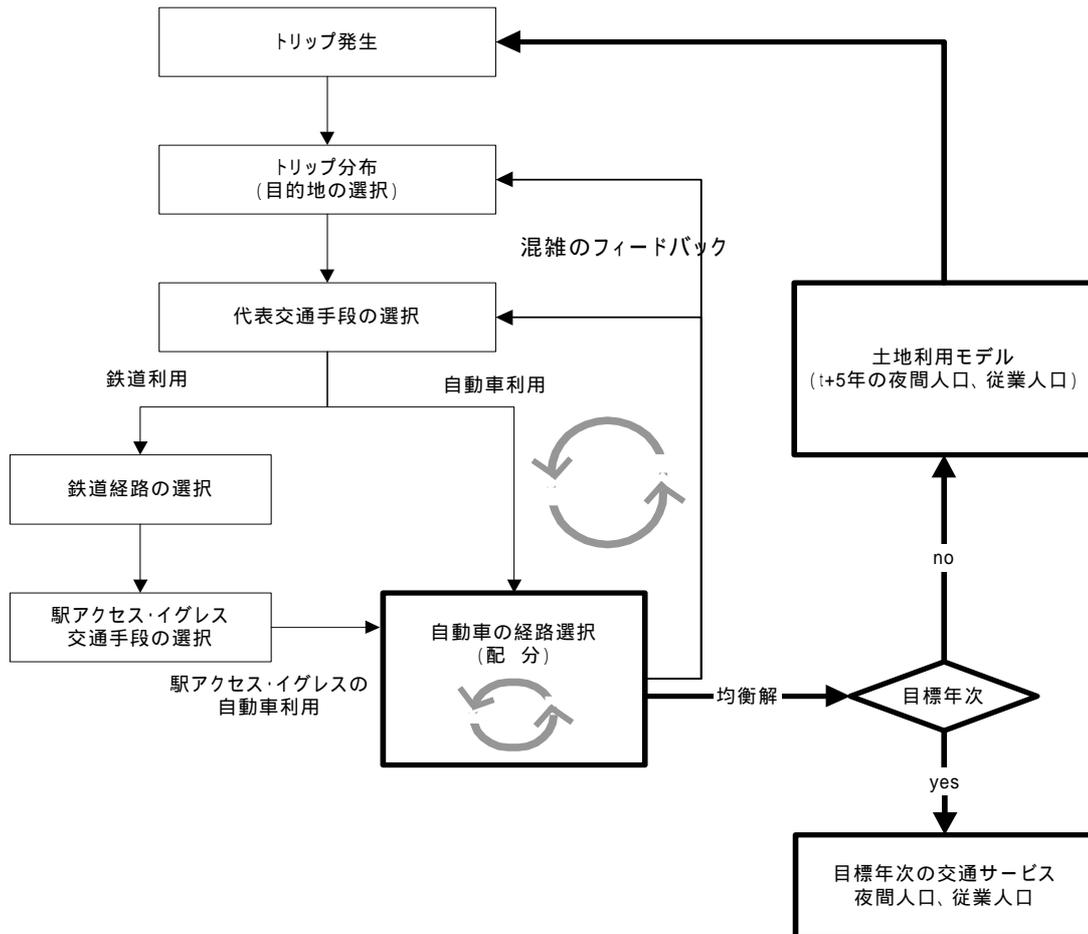


図 3 - 18 活動モデルの全体構成

(2) 交通モデルの改良方針

文献レビューによる交通モデルの課題として、以下が挙げられる。

トリップ単位とせず、トリップ間の関連性を把握したモデルの構築
時間軸を導入したモデルの構築

この他にも、実務面からは、

ゾーニングを細かくして交通サービス水準の精度向上を図る (対応1)

高齢者などの個人属性の考慮

モータリゼーションの進展を表す自動車保有水準選択を組み込み

などが挙げられる。

土地利用モデルでは、アメリカの先進事例のように、まずは交通モデルを活動ベースモデルに拡張し、それに対応した土地利用モデルの開発が進めていくことが考えられる。

以上から、本研究のモデル構築の方向性としては、まず、交通モデルの改良を行い、これに対応した土地利用モデルを検討していく。(対応2)

以上の整理より、本研究においては、次の対応をとることとする。

(対応1) について

- ・ TDM施策等による地域限定的な交通サービス水準の変化の対応や、即地的な評価をより詳細に行えるよう、ゾーンを細分化し、これに対応したモデルの改良を行った。

(対応2) について

- ・ 人口配置、経済活動を網羅し、改良した交通モデルの結果を反映できるよう経済モデルを改良することとした。

3 - 3 . 交通モデルの構築

(1) 基本的な考え方

フレームワーク

交通モデルは、そのベースは以前の研究と同様に、交通行動を人の意志決定プロセスに
ならい、一貫性ある4階層からなるモデルとした。

交通目的：通勤、通学、帰宅、私事、業務

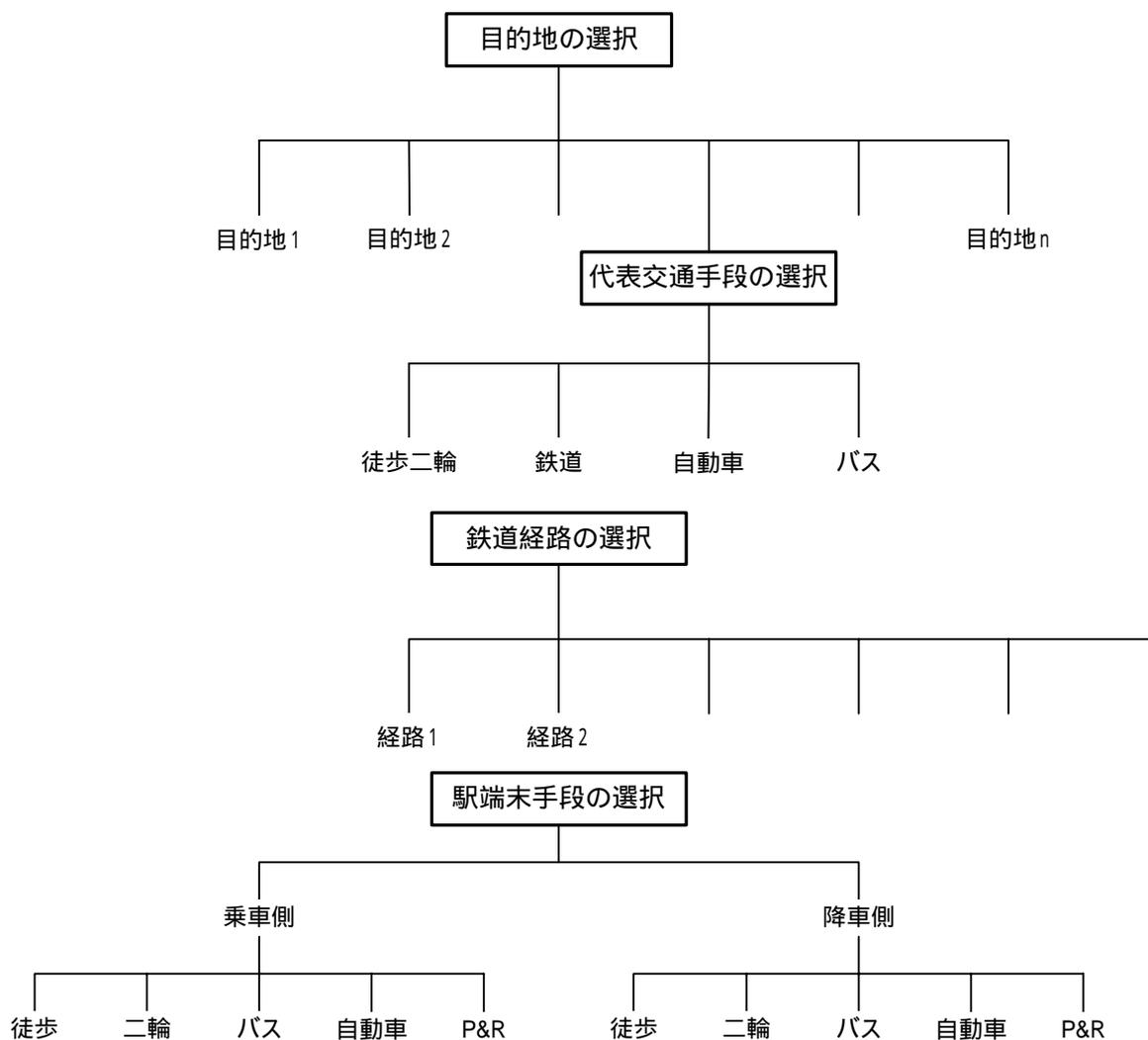


図3 - 19 交通モデルの階層

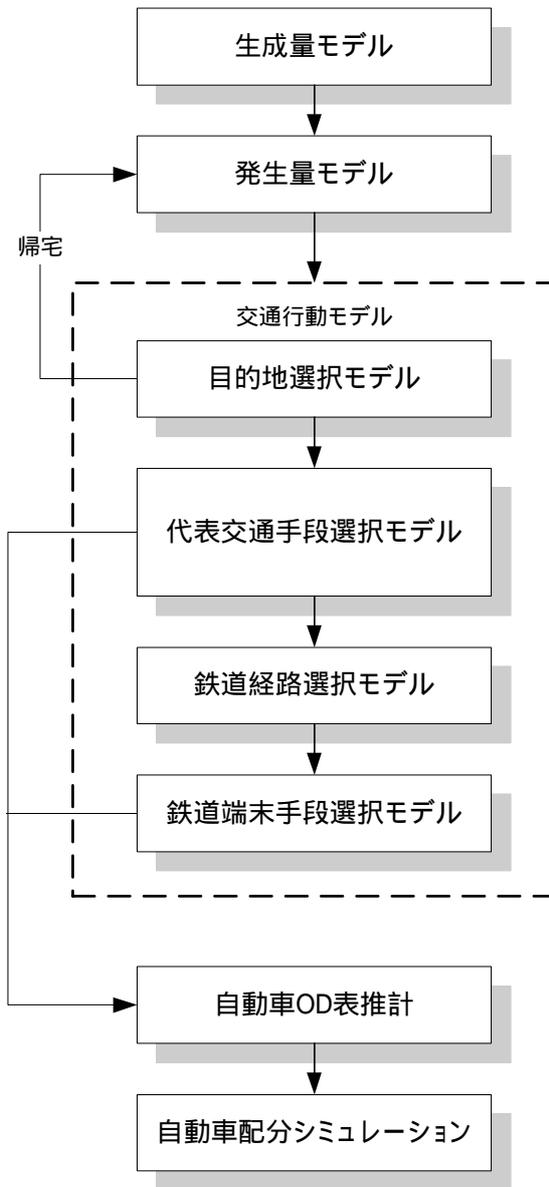


図3 - 20 交通モデルのシミュレーション体系

モデル推定の手順

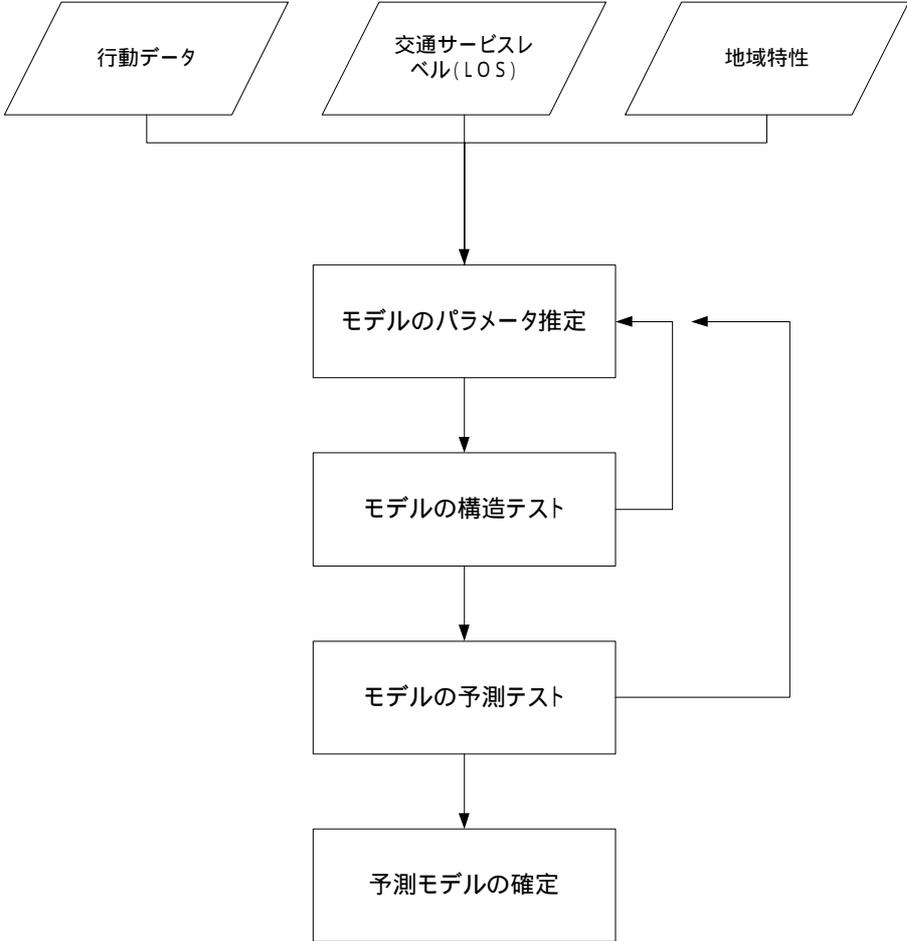


図3 - 21 モデル推定手順

(2) 交通行動モデルの構築

ゾーンの細分化により交通サービス水準の詳細な表現が可能となったことから、個人の交通行動に及ぼす交通サービス要因をより適切に評価することができた。

鉄道端末手段選択モデル

鉄道駅端末手段には「徒歩」「二輪車」「バス」「自動車」「P & R」の5手段を設定した。説明変数には、ゾーン鉄道駅間の交通サービス水準として各手段の所要時間、ゾーン特性として自動車保有水準などを組み込むことができた。

鉄道経路選択モデル

鉄道経路選択モデルは、鉄道利用の乗降駅を推計するもので、説明変数には乗車時間、待ち時間などを組み込むことができた。

代表交通手段選択モデル

代表交通手段には「徒歩・二輪」「自動車」「バス」「鉄道」の4手段を設定した。説明変数には、ゾーン間の交通サービス水準として各手段の所要時間、ゾーン別産業比率、自動車保有水準などを組み込むことができた。

目的地選択モデル

目的地選択モデルは、「通勤」「私事」「業務」の3目的についてモデルを構築した。説明変数には、目的地となるゾーン別従業員人口密度や、ゾーンの魅力を表現するダミー変数、施設立地件数などを組み込むことができた。

(3) 現況再現

目的別手段別トリップ数(割合)

目的別手段別トリップ数(割合)の現況再現性は、良好な結果となっている。

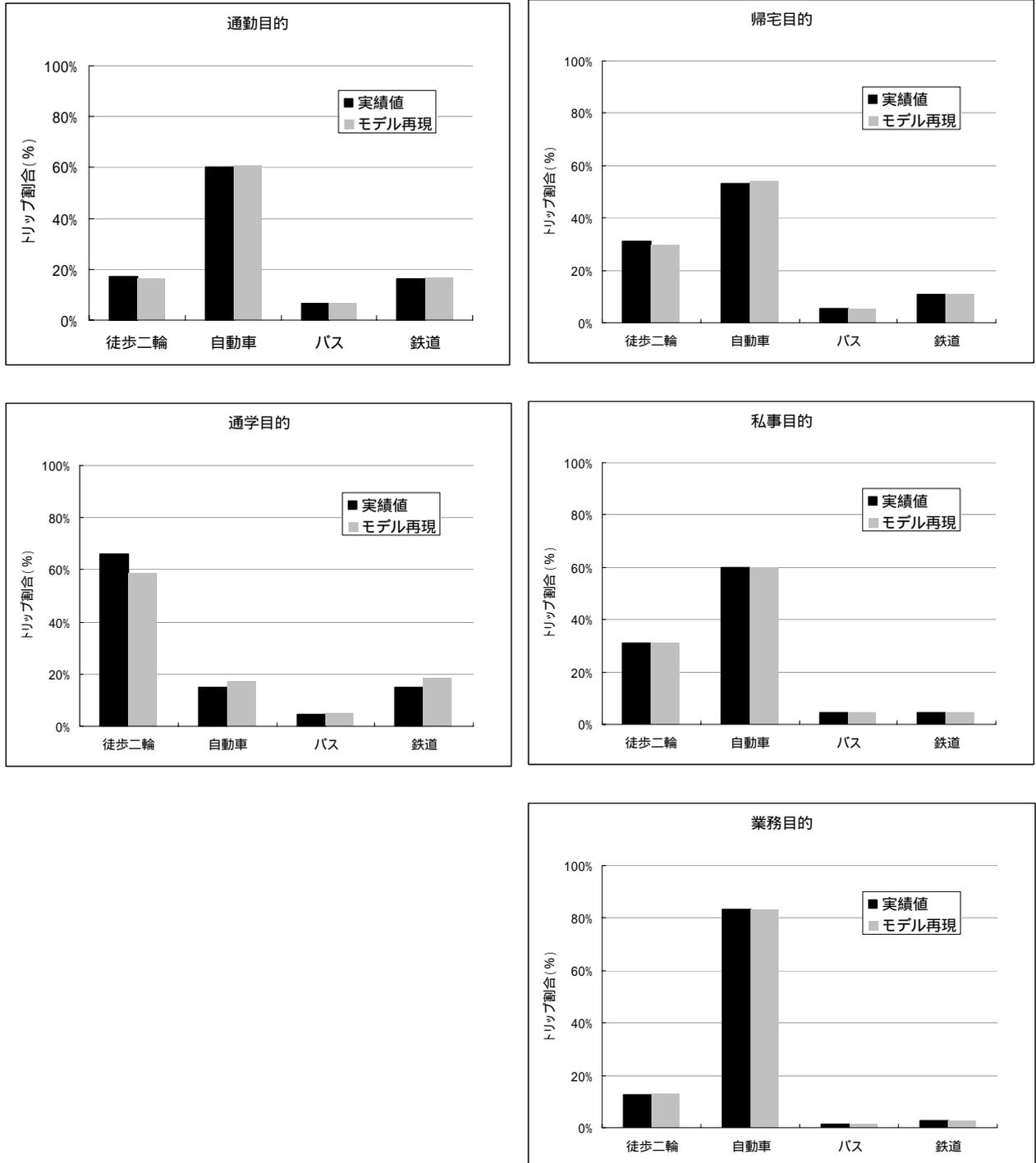


図3 - 22 目的別手段別トリップ割合の現況再現性

トリップ長分布

トリップ長分布別にみた現況再現性は、短いトリップ長のODで、やや乖離がみられるが、全般には概ね良好な結果となっている。

トリップ長分布別の再現力

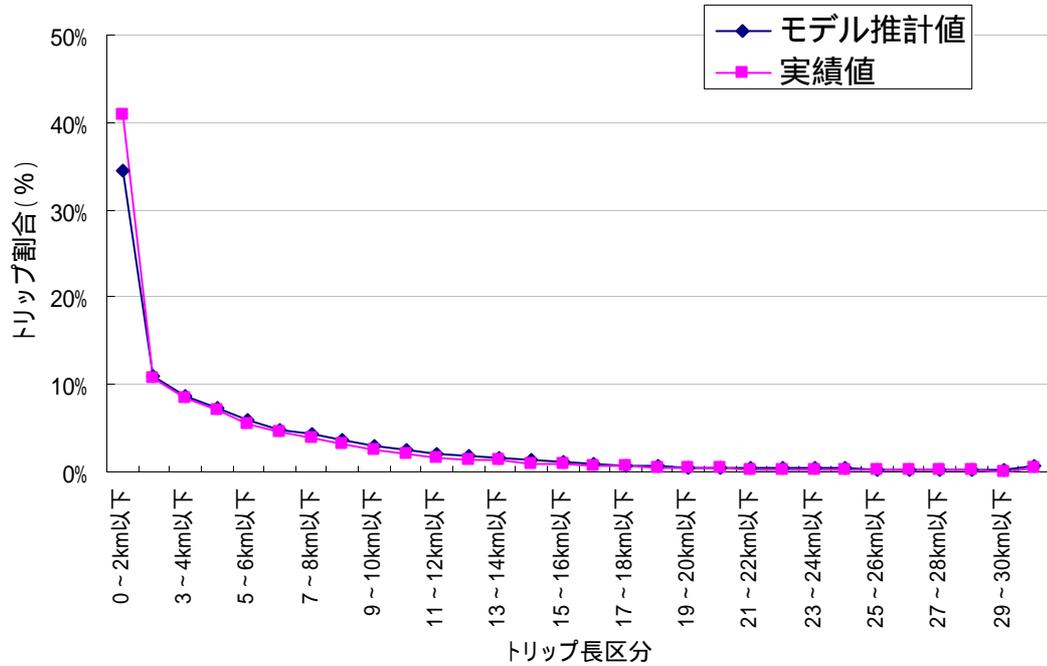


図3 - 23 トリップ長分布の現況再現性

3 - 4 . シミュレーション結果

(1) ケース設定

シミュレーションを行ったケースは次のとおりである。

ケースA：趨勢型

ケースB：都心居住型

ケースC：副都心型

(2) 各指標

手段別トリップ数（人トリップベース）

ケースB（都心居住型）で、自動車トリップ数が減少し、徒歩二輪及び鉄道、バスが増加する。

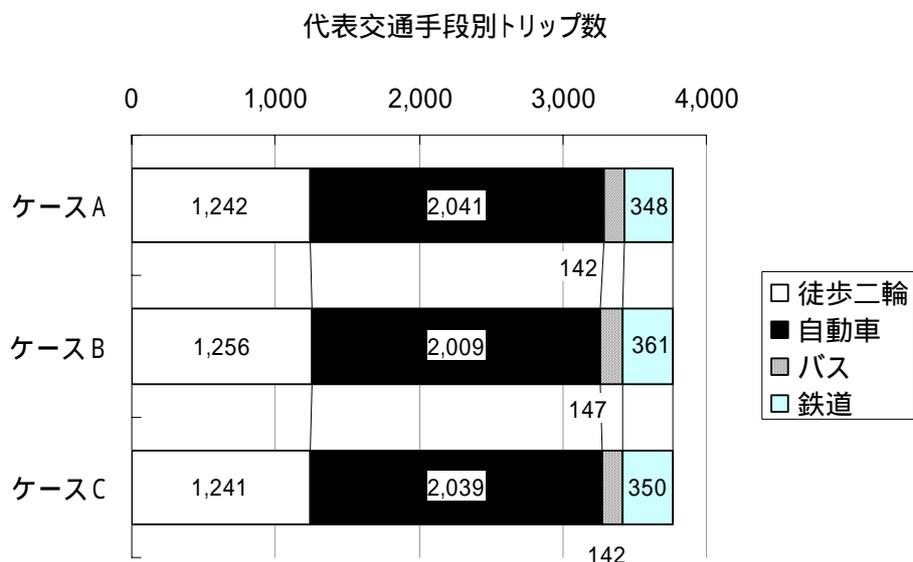


図 3 - 24 ケース別代表交通手段別トリップ数

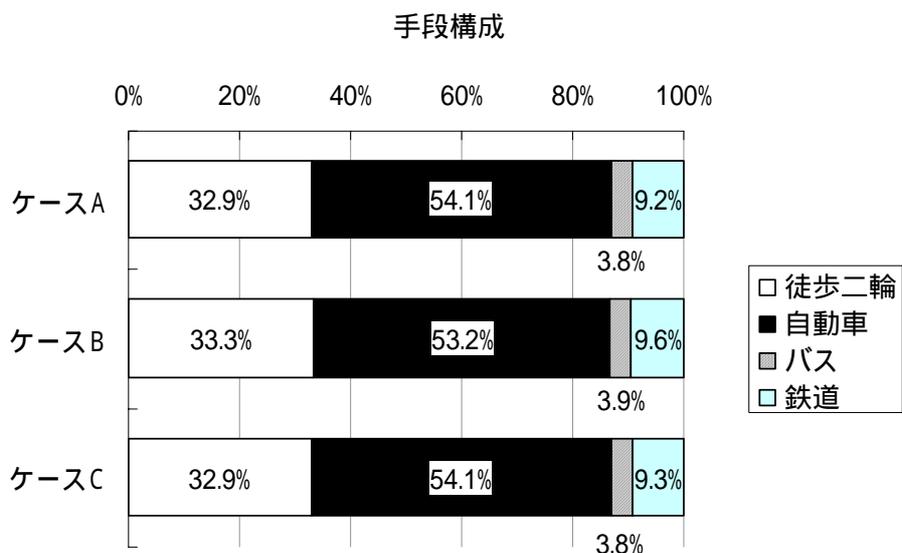


図 3 - 25 ケース別代表交通手段別構成

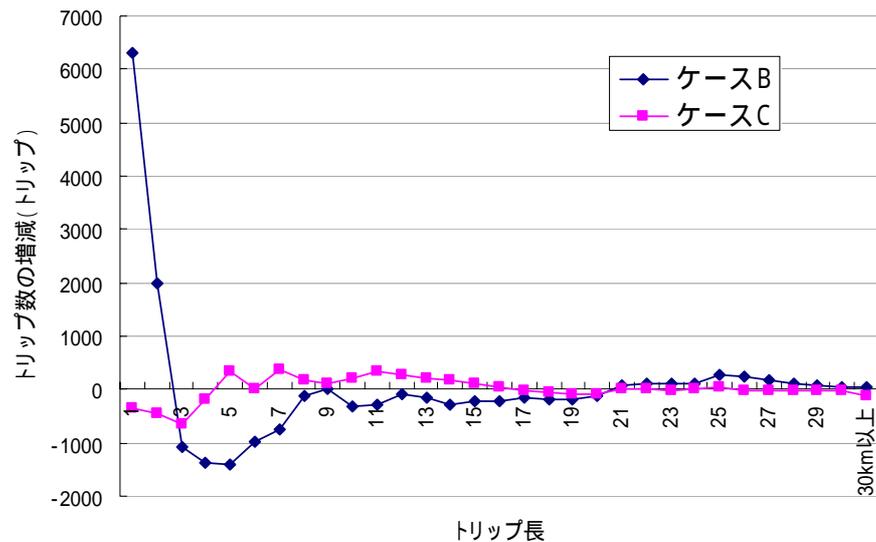
トリップ長

(目的別のトリップ長分布(代表交通手段ベース))

ケースB(都心居住型)では、トリップ長の短いトリップが増大する。自動車では、トリップ長の短いトリップがケースBで減少する。

全目的

トリップ長分布の変化(全目的全手段 ケース1に対して)



通勤目的

通勤のトリップ長分布の変化(ケース1に対して)

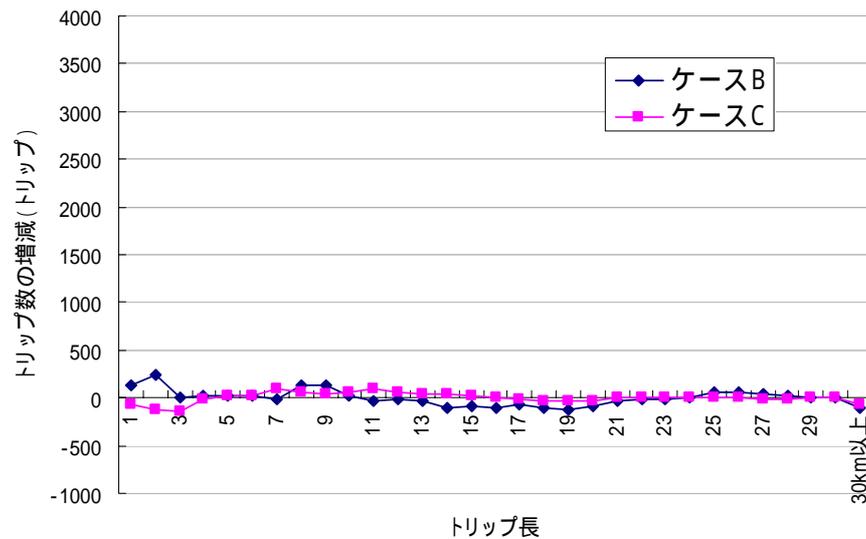
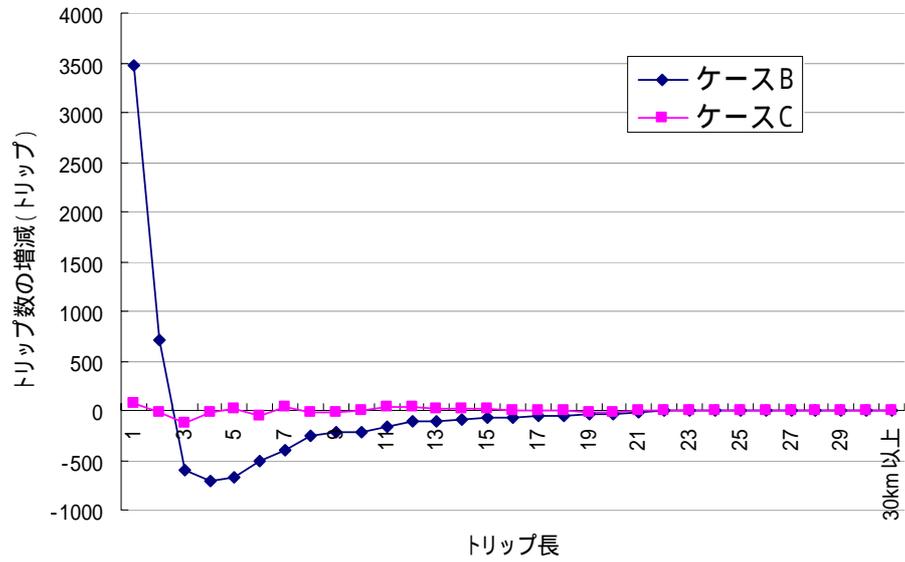


図3-26 ケース別目的別トリップ長分布の変化(その1)

私事目的

私事のトリップ長分布の変化(ケース1に対して)



業務目的

業務のトリップ長分布の変化(ケース1に対して)

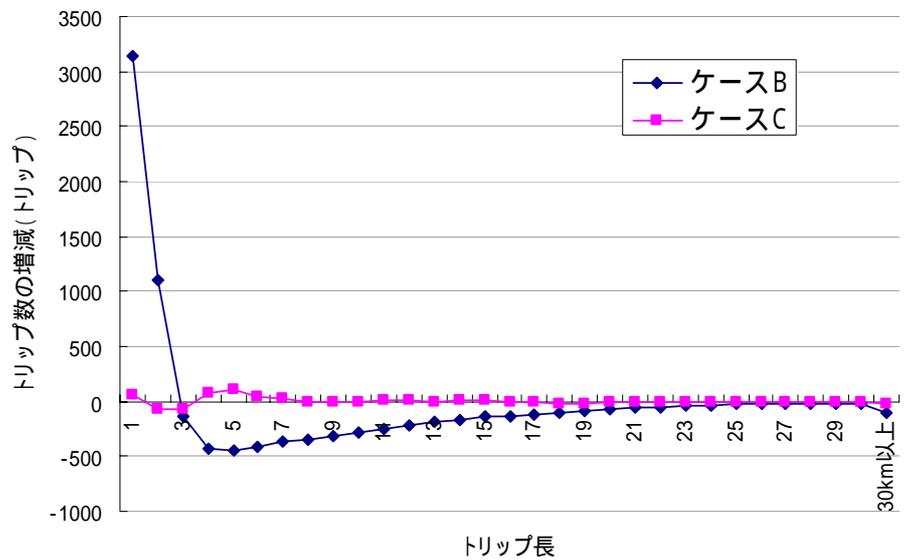
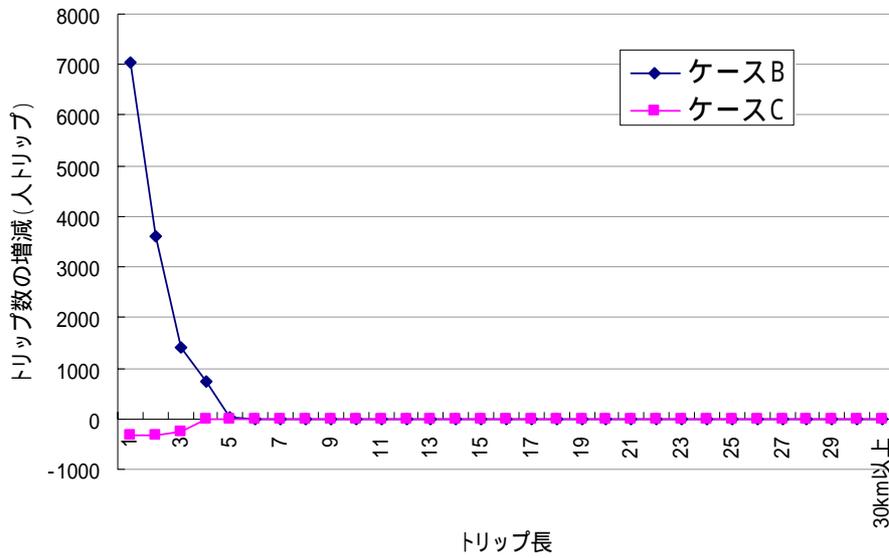


図3 - 26 ケース別目的別トリップ長分布の変化(その2)

(手段別トリップ長分布 (代表交通手段ベース))

徒歩二輪

徒歩二輪のトリップ長分布の変化(ケース1に対して)



自動車

自動車のトリップ長分布の変化(ケース1に対して)

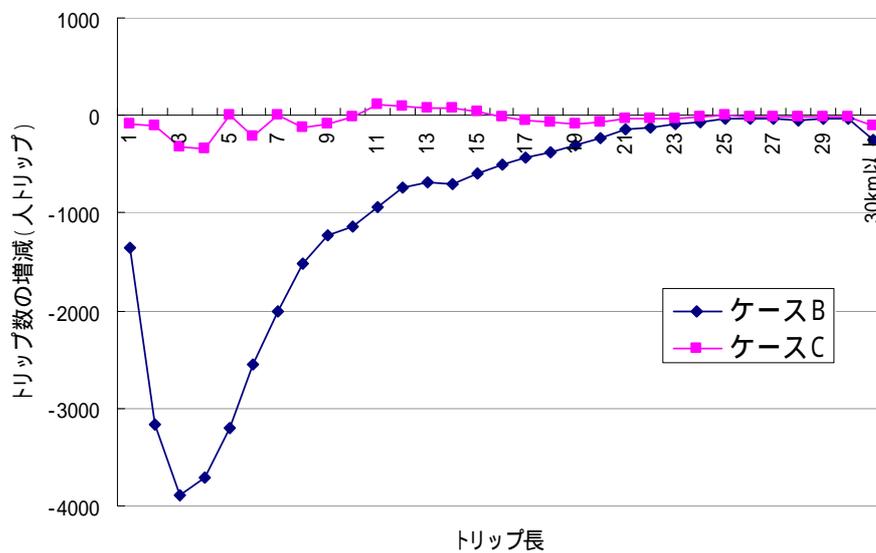
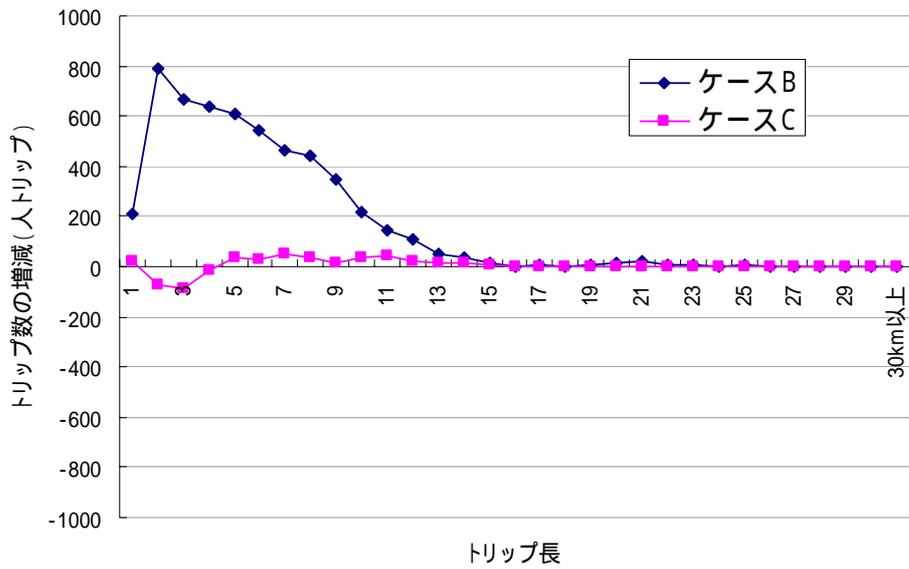


図3 - 27 ケース別代表交通手段トリップ長分布の変化(その1)

バス

バスのトリップ長分布の変化(ケース1に対して)



鉄道

鉄道のトリップ長分布の変化(ケース1に対して)

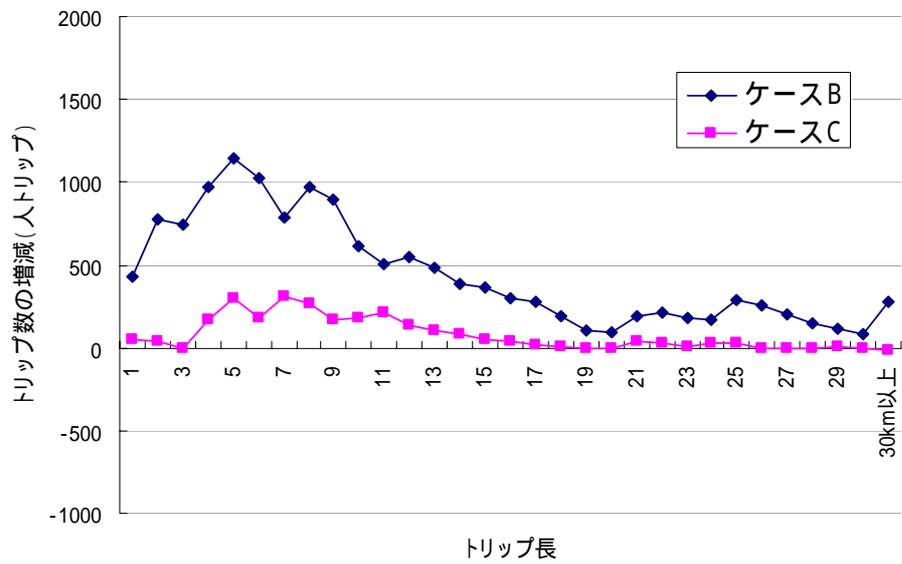


図3 - 27 ケース別代表交通手段トリップ長分布の変化(その2)

表3 - 5 平均トリップ長

				ケースA	ケースB	ケースC	
代表交通 (人トリップ)	目的	全目的	km	5.47	5.46	5.47	
		通勤	km	7.89	7.88	7.89	
		業務	km	6.01	5.88	6.01	
		私事	km	4.06	4.03	4.06	
	手段	徒歩二輪	km	1.17	1.17	1.17	
		自動車	km	6.65	6.64	6.64	
		バス	km	4.85	4.86	4.86	
		鉄道	km	10.71	10.70	10.69	
	自動車(台トリップ)			km	5.97	5.95	5.97

混雑度

ケースB（都心居住型）では、都市圏の混雑度は改善されるが、都心部の混雑度がやや増大する。

表3 - 6 ケース別混雑度

		ケースA	ケースB	ケースC
台キロ (万台km)	全域	3,451	3,391	3,447
	都心部	299	298	299
容量キロ (万台km)	全域	3,118	3,118	3,118
	都心部	278	278	278
混雑度	全域	1.107	1.088	1.106
	都心部	1.056	1.059	1.057

都心部(3km圏)

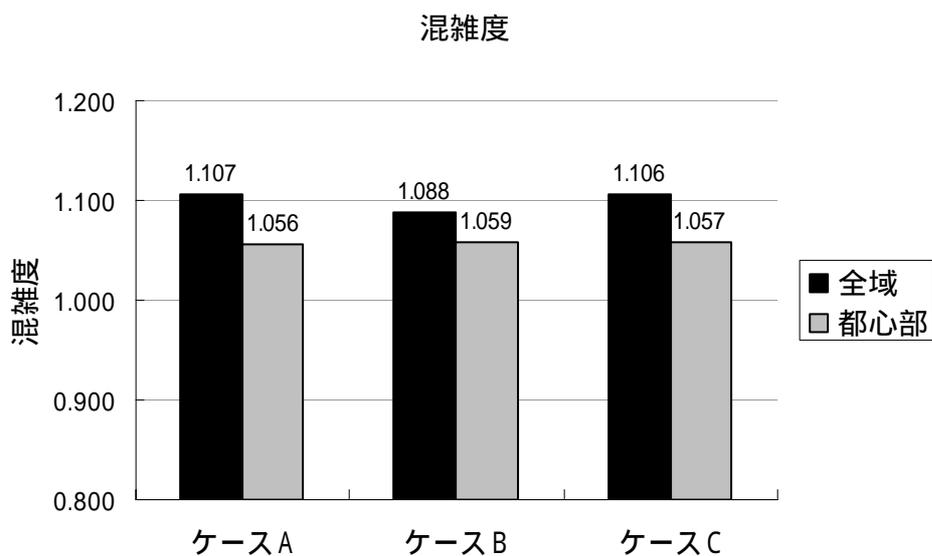


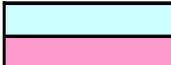
図3 - 28 ケース別混雑度

(3) 評価の整理

都心居住型では自動車トリップ数を減少させ、走行台キロを減少させる。さらに、平均トリップ長も短いことから、自動車による交通負荷は軽減される。

表3 - 7 評価結果の整理表

			ケースA	ケースB	ケースC
トリップ数	自動車トリップ数	千トリップ	2,041	2,009	2,039
	鉄道トリップ数	千トリップ	348	361	350
	徒歩二輪トリップ数	千トリップ	1,242	1,256	1,241
平均トリップ長	全目的	km	5.47	5.46	5.47
	通勤	km	7.89	7.88	7.89
	業務	km	6.01	5.88	6.01
	私事	km	4.06	4.03	4.06
	自動車(台)	km	5.97	5.95	5.97
自動車交通量	都市圏台キロ	万台km	3,451	3,391	3,447
	都心部台キロ	万台km	299	298	299
混雑度	都市圏平均		1.107	1.088	1.106
	都心部平均		1.056	1.059	1.057

 減少
 増加

3 - 5 . 今後の課題

(1) 交通モデルの課題

本研究では、各ケースで、生成交通量（総交通量）が一定となっているが、地域の交通利便性に応じた交通量を予測していくことが望ましい。

また、海外の先進モデルを参考にし、アクティビティ・ベースの交通モデルの構築を検討することが今後必要である。

(2) 他モデルとの課題

交通モデルで推計された混雑状況（交通サービス水準）を、経済モデル・交通モデルへフィードバックさせ、目標年次まで段階的に予測していく交通と経済（人口配置）が相互作用の関係となったモデルを構築することが望ましい。

第4章.

経済モデルの開発

第4章 . 経済モデルの開発

4 - 1 . 経済モデルの全体構成

(1) 本研究モデルの経緯

本研究モデルの経緯は下表の通りである。以前の研究の経済モデルにおいてゾーン別の人口分布は、別の土地利用モデルから与えられる外生変数であったのに対し、本研究のモデルにおけるゾーン人口分布は交通モデルから得られるゾーン間交通条件をもとに内生変数として求める構造に変更した。これにより、経済モデルは一般性を持った構造となり、分析の信頼性が向上したと考えられる。

表 4 - 1 経済モデル構築の経緯

	以前の研究モデル	改良モデル	本研究モデル
モデル構造	人口分布与件のもと地代関数・生産関数による単一方程式体系	人口分布外生の連立方程式体系 (この場合、人口分布は土地利用モデルより求める)	人口分布内生の連立方程式体系
モデルの特徴	人口分布与件の地代関数・生産関数の単一方程式分析とする。	人口分布外生のシステム分析とした。人口分布の影響を受けて、地代・生産額は連立方程式の同時決定となる。	人口分布内生のシステム分析とした。分析の信頼性が向上すると考えられる。
夜間・従業人口分布	別の土地利用モデルより、夜間人口・従業人口分布は外生として与える		夜間人口・従業人口は本経済モデルにより内生的に求める。
ゾーン間交通条件 (空間概念)	× (別の土地利用モデルで考慮し、経済モデルでは考慮しない)		(交通モデルから得られるゾーン間所要時間を経済モデルで考慮する)
アウトプット指標	ゾーン別 地代水準・ 生産水準・ 厚生水準		ゾーン別 夜間・従業人口分布 地代水準・ 生産水準・ 厚生水準

(2) 経済モデルの全体構造

本モデルでは、交通モデルから得られるネットワーク条件の変更により、家計部門・企業部門を通じて、夜間人口・従業人口がゾーン毎に内生的に求まる構造をとる。各主体の行動の結果、各市場では需給が均衡するように価格が調整される。また、生産活動・交通行動に伴う環境負荷物質排出の影響により、水質・NOx等の環境外部性が社会経済活動に影響する構造を持つ。

モデル構築のポイントは以下のようにまとめられる。

- ・ 人口分布を内生化する。
- ・ ゾーン間距離の考慮により、空間概念を導入する。
- ・ 交通施策と環境質の変化が経済活動へ影響する関係を考慮する。

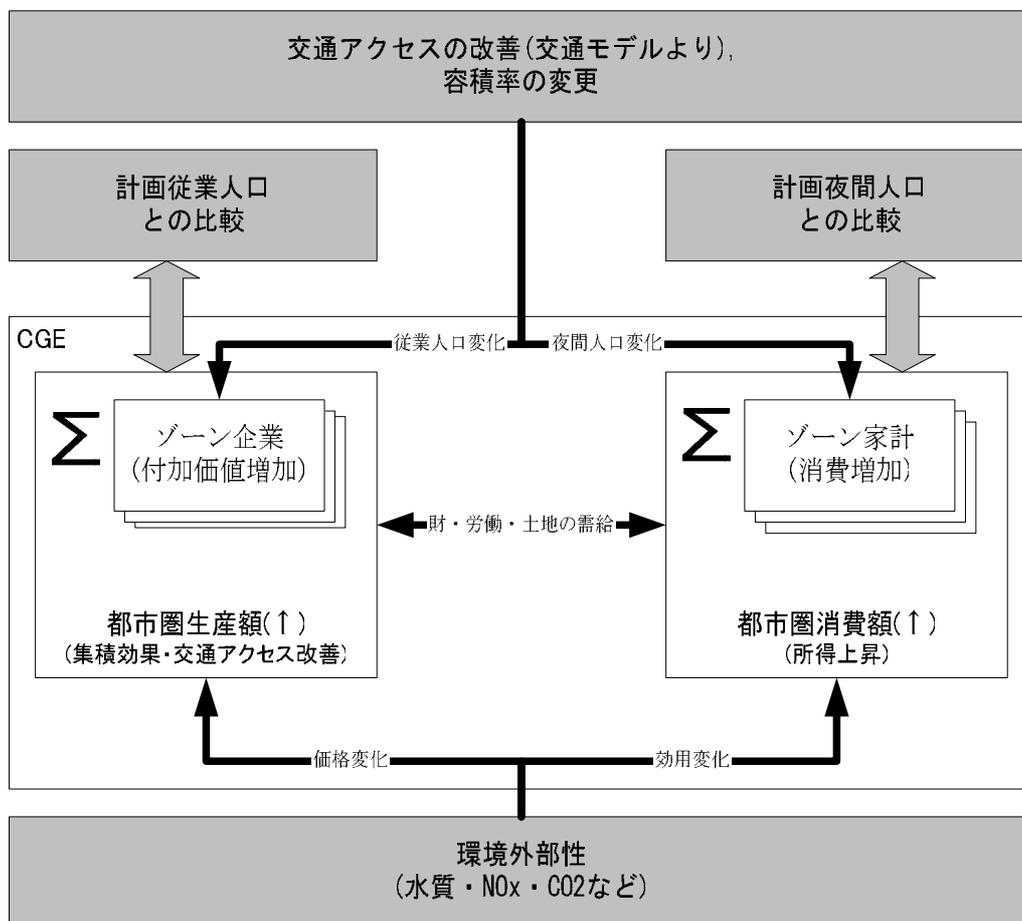


図4 - 1 経済モデルの全体構造

(3) モデルの枠組み

空間と人口移転を考慮した経済モデルの考え方を下図に示す。

- ・企業は、アクセシビリティ水準に依存して、立地を内生的に決める。
- ・家計は、交通費用を考慮した所得制約下で効用最大化行動をとる。効用水準の大小に従い、家計の立地(夜間人口)が決定される。
- ・各ゾーンでは、家計・企業の土地面積需要と土地供給が均衡し、地代水準が決定される。また、ゾーン別に労働需給が均衡し、賃金率が決まる。財の需給は都市圏で均衡する。

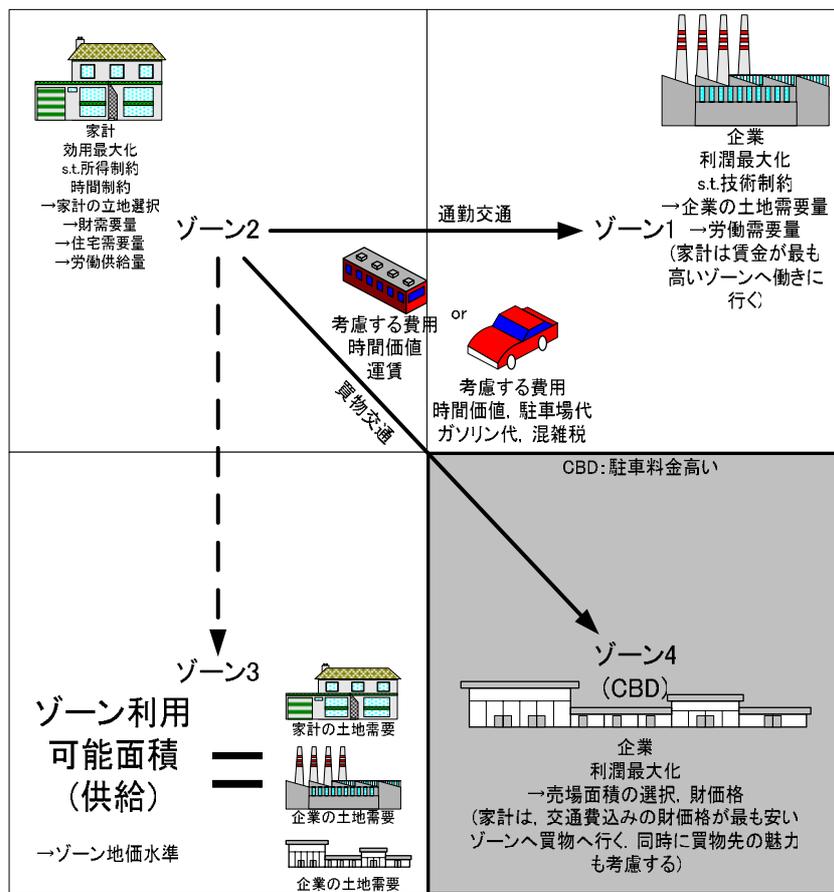


図4-2 ゾーン視点で捉えたモデル構造

- : 選択の結果の実際の交通
- : 選択可能性のある交通路

(4) 既存研究レビュー

本経済モデルの特徴について、既存研究との関係から次の2つの視点に基づき整理する。1 つめは、施策効果を評価する大規模な統合モデルに組み込まれている評価モデルからみた視点、2 つめは都市・交通施策を評価するための経済モデルからみた視点である。

1 つめの大規模な統合モデルについては、わが国においても開発事例^{[1][2]}がみられる。著者らはこれら既存モデルの利点を取り入れ、都市圏などの広域的な地域を対象に、多様な施策（交通・人口分布・民生）について、多様な視点（環境負荷・生活の質・経済）から評価可能であり、その結果が総合的にわかりやすく表示される「都市環境施策評価モデル」を開発している。モデルの枠組みは、交通モデルと人口分布モデルからなる活動モデルを上位に、環境負荷、生活の質、経済の3つの評価モデルから構成される。

大規模な統合モデルに経済の視点が導入された事例として、大成建設の開発した「都市環境設計支援システム - PLATON^[1]」がある。このモデルは、大規模複合都市開発事業診断システム - SOPHIA^[3]と連動し、損益計算、資金計画、経済波及効果を算出することにより事業可能性を評価するものである。それに対して本分析は、経済主体の合理的行動を基礎とするモデル構築により、地代・生産水準の経済指標を算出することに重点がある。

また、Wegener の土地利用・交通モデル開発の整理^[4]によると、世界各地で、交通モデルと連動する土地利用モデルが開発されている。米国オレゴン州ポートランド、カリフォルニア州サンフランシスコ等においては、さらに、土地利用・交通モデルにより推計された結果が環境、経済等のモデルに受け渡され、複数の視点からの評価を行うモデルが開発されている^[5]。本経済モデルも、多様な指標による施策評価を行う大規模な統合モデルの一部分を構成する評価モデルとしての役割を担うものである。

2 つめの都市・交通施策を評価するための経済モデルの視点について整理する。土地利用モデルは、グラビティモデル、ローリーモデル、空間価値モデル、連立方程式モデル、最適化モデルへと発展し^[5]、ローリーモデル以後、土地利用と交通のフィードバック型モデルが開発されてきた。前述の Wegener の報告^[4]では、近年の交通・土地利用モデルの発展の方向性として、市場ベースのモデルへと進展しているとされている。わが国においても、経済モデルの方法としてマクロ計量経済モデル・システムダイナミクス・産業連関分析などが適用されてきたが^{[6][7]}、近年はミクロ経済的基礎に基づく一般均衡分析の枠組みに従ったモデル分析が多く適用されている^[8]。しかし、一般均衡の枠組みによる既存研究では都道府県単位^[9]や生活圈単位^{[10][11]}による比較的広い地域単位での適用事例が多く、都市圏内の小地域単位の都市交通施策を対象とした研究事例は少ない。本分析は、ミクロ経済理論の枠組みから得られる因果関係を都市圏内の小地域に適用することにより、交通政策をゾーン別に評価することを目指した。

以上のように、1 つめの特徴である大規模な統合モデルの一部を構成する評価モデルであること、2 つめの特徴であるゾーン別に評価するということから、本経済モデルは、ゾーン別夜間人口、従業人口、地代水準、総生産を内生変数として算出し、その結果は他の評価モデルの外生変数として受け渡す構造となっている。

本経済モデルは、都市・交通施策を経済面から評価するための有用な政策検討ツールと

して活用されることを意図したものである。これまでの都市計画行政においては、人口分布を変化させる住宅・業務拠点開発、容積率変更等について、地代水準からみた施策評価やフィージリティ検討はほとんど行われていなかった。本分析は、地代等の経済指標により都市行政を定量的に評価可能とするものであり、この点で有益であると考えらる。

4 - 2 . 経済モデルの構築

ここでは、人口内生型の経済モデルを構築する。モデルは大きく、生産・消費・市場均衡に分けられる。

(1) モデル構築

生産

ゾーン i に立地する産業 s は、生産量 y_i^s に対して要する利潤を最大化する。

$$\max \pi_i^s = p_i^s y_i^s - w_i L_i^s - ph_i T_i^s \quad \forall i, s \quad (1)$$

制約条件は、技術制約を示す生産関数となる。

$$\text{s.t. } y_i^s = (L_i^s)^{\alpha^s} (T_i^s)^{\beta^s} (ACC_i)^{\gamma^s} (E_i)^{\delta^s} \quad \forall i, s \quad (2)$$

ここで、 E : 環境質(環境質が悪ければ E は大きい)。 δ^s : 環境外部性($\delta^s < 0$)。 w_i : ゾーン i 賃金率、 ph_i : ゾーン i 地代水準、 L_i^s : ゾーン i 産業 s の従業者数、 T_i^s : ゾーン i 産業 s の土地面積、 ACC_i : ゾーン i アクセシビリティ、 x_f^i : ゾーン i 産業 s の生産量。 $\alpha_f + \beta_f = 1$ (一次同次)、 $\gamma_f \geq 0$ を仮定する。

アクセシビリティ関数は下式を定義する。ここで μ 、 η : パラメータ。

$$ACC_i = \sum_j \frac{L_j^\mu}{\exp(\eta \tau^{ij})} \quad \forall i \quad (3)$$

費用最小化問題を解くと、下式のゾーン i 要素需要関数が導出される。

$$L_i^s = \alpha^s \frac{p_i^s}{w_i} \quad \forall i, s \quad (4)$$

$$T_i^s = \beta^s \frac{p_i^s}{ph_i} \quad \forall i, s \quad (5)$$

ゾーン i 産業 s の生産額 1 単位当たり付加価値(単位費用関数)は下式となる。

$$p_i^s = \left(\frac{w_i}{\alpha^s} \right)^{\alpha^s} \left(\frac{ph_i}{\beta^s} \right)^{\beta^s} (ACC_i)^{-\gamma^s} (E_i)^{-\delta^s} \quad \forall i, s \quad (6)$$

企業の立地選択行動は、単位費用が小さいゾーンを選択する。 ε^i を単位費用以外に立地選択に影響を及ぼす確率的要因と仮定すると、下式の関係が得られる。このとき、ゾーン i はゾーン i' よりも立地選択確率が高い。

$$p_i^s + \varepsilon_i < p_{i'}^s + \varepsilon_{i'} \quad \forall i, s \quad (7)$$

ε^i はガンベル分布に従うと仮定して、産業 s のゾーン i への立地選択確率(Pr_i^s)は、ロジットモデル型の下式となる。

$$\Pr_i^s = \frac{\exp(-\lambda_F p_i^s)}{\sum_i \exp(-\lambda_F p_i^s)} \quad \forall i, s \quad (8)$$

ゾーン i 産業 s の生産額は下式で求められる。

$$y_i^s = \Pr_i^s Y^s \quad \forall i, s \quad (9)$$

ゾーン i の生産量と都市圏全体の生産量は、下式が成立する。ここで、 X_f : 都市圏全体の産業 s の生産量。

$$Y^s = \sum_i y_i^s \quad \forall s \quad (10)$$

ゾーン i 産業 s の生産額をゾーンで合計すると、下式の都市圏平均の 1 単位当たりの付加価値が導出される。都市圏均一の平均価格関係式が求まる。

$$p^s = \frac{\sum_i p_i^s y_i^s}{Y^s} \quad \forall s \quad (11)$$

消費

家計の効用関数は下式を定義し、所得制約のもとで効用最大化を行う。効用関数には、水質や公園への環境質(E)、アクセシビリティ(ACC_i)を含む。

$$\max u(\mathbf{c}, h_i, E_i, \Lambda_{ij}) = \sum_s a^s \ln c_i^s + a^h \ln h_i + bE_i + \Lambda_{ij} \quad \forall i, j \quad (12)$$

予算制約式は下式となる。

$$\text{s.t. } w_j + \Omega = \sum_s p^s c_i^s + p h_i h_i \quad \forall i, j \quad (13)$$

ここで、 c_i^s : ゾーン i 居住者の財 s の消費額。 $\Omega = \frac{\sum_i p_h^i \Phi^i \bar{H}^i}{\bar{N}}$: 交通費・土地収入の均等分配

所得、 Λ^{ijk} : 経済効用で捉えられない交通行動による効用。その要素として、ここではアクセシビリティ(ACC_i)を考える。 ρ_d^{ij} : ゾーン i 居住者、買物先 j への交通費用、 τ^{ij} : ゾーン i 居住者、通勤先 j への交通所要時間。また、 $\sum_s a_s + a_h = 1$ (一次同次)を仮定する。

効用最大化により、下式の需要関数が導出される。

$$c_j^s = \frac{a^s (w_j + \Omega)}{p^s} \quad \forall j, s \quad (14)$$

$$h_{ij} = \frac{a^h (w_j + \Omega)}{p h_i} \quad \forall i, j \quad (15)$$

間接効用関数は次式で得られる。

$$V_{ijk} = \ln(w_j + \Omega) - a^h \ln ph_i + bE_i + \Lambda_{ijk} \quad \forall i, j, k \quad (16)$$

間接効用関数からゾーン*i*居住者、通勤先*j*の買物先*k*のロジット型の立地選択確率(PrV^{ijk})が求まる。

$$Pr[i, j, k] = \frac{\exp(\lambda_H V_{ijk})}{\sum_{i', j', k'} \exp(\lambda_H V_{i'j'k'})} \quad \forall i, j, k \quad (17)$$

ゾーン*i*居住者、通勤先*j*の買物先*k*の世帯数は下式となる。 N ：総世帯数。

$$N_{ijk} = Pr[i, j, k] \bar{N} \quad \forall i, j, k \quad (18)$$

$$Pr[i] = \sum_{j, k} Pr[i, j, k] \quad \forall i \quad (19)$$

$$N_i = Pr[i] \bar{N} \quad \forall i \quad (20)$$

市場均衡

1) 土地均衡式

ゾーン*i*の土地の需給均衡式は次式となる。

$$\Phi_i \bar{H}_i = \sum_s T_i^s + \sum_j N_{ij} h_{ij} \quad \forall i \quad (21)$$

左辺はゾーン*i*の容積率を考慮した床面積総供給量である。右辺はゾーン*i*の床面積総需要量であり、企業の床面積需要と家計の土地需要からなる。価格はゾーン値 ph_i で算定される。

2) 労働均衡式

労働均衡式は次式となる。左辺は企業の労働需要、右辺は家計の労働供給である。

$$L_i = N_i \quad \forall i \quad (22)$$

これにより、ゾーン均衡賃金 w_i が求まる。

3) 財市場均衡式

左辺は財供給であり、右辺は財需要である。財の需給については都市圏全体で均衡することに留め、ゾーン別には求めない。

$$\sum_i y_i^s = \sum_j N_j c_j^s \quad \forall s \quad (23)$$

以上でシステムは閉じられる。

効用指標(CV・EV)

本分析では道路整備の評価指標として、CV(Compensating Variation：補償変分)、EV(Equivalent Variation：等価変分)を用いる。指標は具体的には下式で示される。添字 W は With(整備有り)、 O は Without(整備無し)を意味する。

$$CV; V(\mathbf{p}_W, I_W - CV) = V(\mathbf{p}_O, I_O), \quad EV; V(\mathbf{p}_O, I_O + EV) = V(\mathbf{p}_W, I_W)$$

ここで、 I ：所得、 p ：価格(財と地代の合成価格：価格指数と解釈可能)、 V ：効用水準
CV とは、プロジェクト整備前と同じ効用水準を得るために、整備後の効用水準から幾らの所得を支払っても良いか支払意思額(WTP：Willingness to Pay)の指標であり、また EV とは、整備後の効用水準をプロジェクト前の状態で達成するために、いくらの所得を補償されなければならないか受取補償額(WTA：Willingness to Accept)の指標である。

本モデル間接効用関数より CV、EV を陽表的に導出すると下式となる。

$$CV^{ij} = I_W - \prod (p_W^{ij} / p_O^{ij})^a I_O, \quad EV^{ij} = \prod (p_O^{ij} / p_W^{ij})^a I_W - I_O$$

CV、EV 指標は家計毎に異なる。対象圏域全体での CV、EV の総額(TCV、TEV)は各世帯の便益額を集計することで得られる。

$$TCV = \sum_{i,j} N^{ij} CV^{ij}, \quad TEV = \sum_{i,j} N^{ij} EV^{ij}$$

効用指標の理論的な算定式は上式の CV、EV 式となるが、本研究における世帯の立地動向を決定する効用関数は外部性要因(補正要因)としてアクセシビリティ変数が加味されており、厳密には CV、EV 指標と効用指標(立地指標)が一致しない。そこで本分析では(16)式の効用関数(立地関数)で効用指標を計測する。所得・地代等の価格要因以外の要素が入っていることに注意が必要である。

環境外部性の考え方

本分析では、環境外部性の考え方をモデルに取り入れることを検討する。下図は、企業の財供給において、環境外部性が存在する場合の限界費用の変化を示すものである。環境改善により、限界費用が p_0 から p_1 へ低下し、財需要が x_0 から x_1 へ増加する。

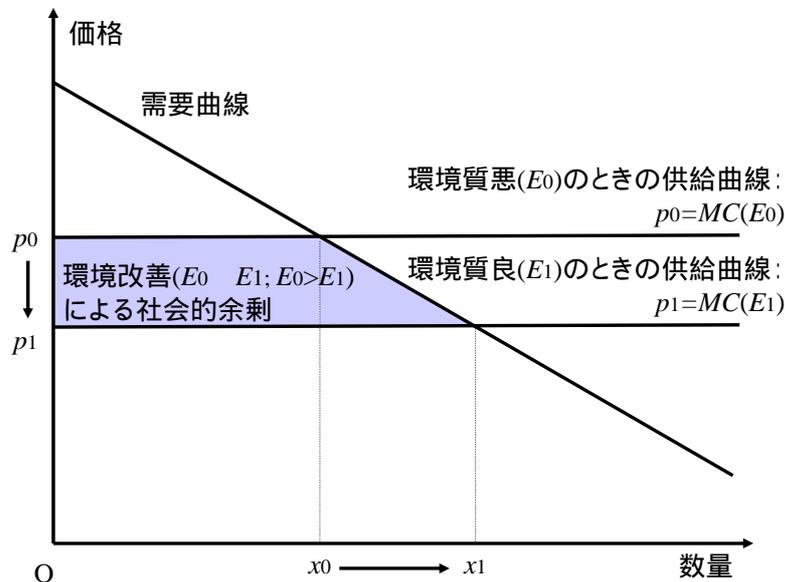


図 4 - 3 環境質改善による社会的余剰の変化

$p = MC$ はモデルより、下式で求められている。環境水準： E の水準により、限界費用 (MC) がシフトすることが分かる。ここで <0 である。

$$p_i^s = \left(\frac{w_i}{\alpha^s}\right)^{\alpha^s} \left(\frac{ph_i}{\beta^s}\right)^{\beta^s} (ACC_i)^{-\gamma^s} (E)^{-\delta^s} \quad \forall i, s \quad (6)$$

図より社会的余剰は、便宜的には下式(台形公式)で求められる。

$$SB = \frac{(p_0 - p_1) * (x_0 + x_1)}{2}$$

(2) パラメータ・外生変数の設定

本分析の経済モデルは、以下のインプット条件により決定される。交通・環境モデルから導出されるデータを外生変数として受けて、経済活動が決定される。

表4 - 2 外生変数・パラメーター一覧

分類	変数	出所
外生変数	ゾーン間の距離・時間 (d_{ij}, τ_{ij})	交通モデルからの ケース別データ
	ゾーン面積・容積率 (\bar{H}, Φ)	仙台都市圏 パーソントリップ調査
	都市圏総人口 (\bar{N})	国勢調査
	ゾーン環境指標 (E)	環境モデルからの ケース別データ
パラメータ	生産パラメータ (α, γ)	本分析における推定
	消費パラメータ (a_1, a_2, a_3, a_h)	家計調査年報
	$F = 1.8$ $H = 1.0$	本分析における キャリブレーション
	外部性パラメータ (δ, b)	本分析における 推定・キャリブレーション

容積率の設定

容積率データの利用について下図の通り、指定容積率と実績容積率の2案が考えられる。
ここでは、実際の利用状況を考慮するため、実績容積率を適用する。

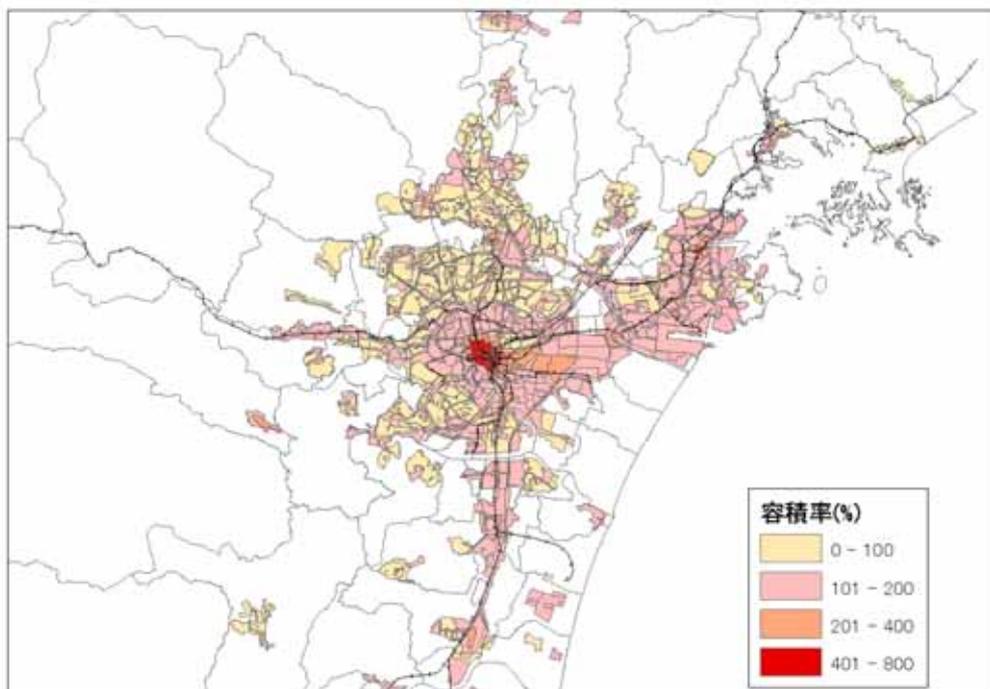


図4 - 4 指定容積率

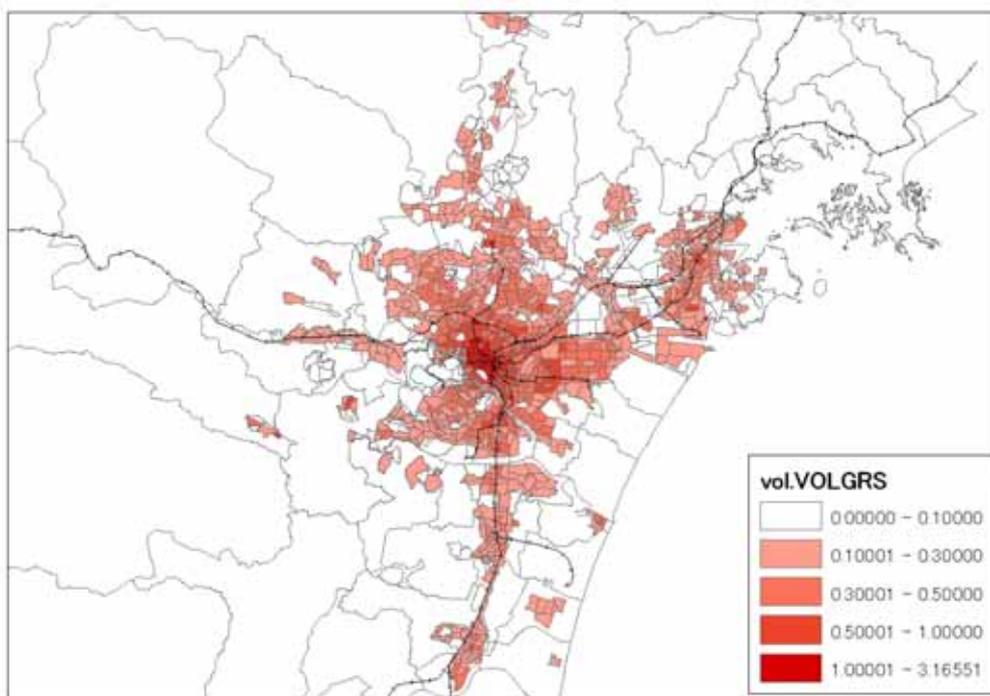


図4 - 5 実績容積率

生産関数パラメータ推定

コブ・ダグラス型の生産関数を推定する。関数は以下の通りであり、環境外部性のデータとして、ここでは以前の研究で推計した環境負荷データを適用する。

$$\text{推定式： } y_i^s = \exp(c)(L_i^s)^{\alpha^s} (T_i^s)^{1-\alpha^s} (ACC_i)^{\gamma^s} (E_i)^{\delta^s}$$

Y_i ：産業 i の付加価値(総生産)、

L_i ：産業 i の労働者数、 T_i ：産業 i の土地面積、

$ACC=1/t$ ：アクセシビリティ(仙台中心部までの所要時間)、

E ：環境負荷変数、

：労働分配率、：集積パラメータ、：環境外部性、 c ：定数項

データ出典

各変数についてのデータ出典は以下の通りである。

Y_i ：平成 7 年度宮城県市町村民所得統計より市町村内純生産(実額)。

N_r ：平成 7 年国勢調査の市町村人口。

L_i ：平成 8 年事業所・企業統計調査の市町村別・産業大分類別従業者数。

T_i ：平成 7 年宮城県地目別土地利用面積。

E_i ：以前の研究のモデルから得られるゾーン別環境負荷水準。

推定結果

都市圏の郊外部では環境負荷水準が低く、かつ農業総生産が高いので 1 次産業パラメータについては $= -0.672 < 0$ と符号条件は合致する。しかし、他の 2 次・3 次産業では符号条件の合うパラメータ推定はできなかった。これについて、閾値設定などの様々の推定を行ったが、環境変数について統計的有意性は得られなかった。考えられる原因として、環境負荷量が生産水準に大きな影響を及ぼすほど顕在化していないことが挙げられる。

今後の課題としては、統計データから得られる水需要シェアの数値を適用する等の方法が考えられる。しかし、その方法はモデルの枠内での方法であり、環境水準が経済活動に確実に有意に影響を及ぼすためには、根本的なモデル改善が必要である。

既往研究では、高木・武藤(2001, 2002)^{[12],[13]}らを始めとして水質評価分析が多くなされており、水質管理・排出処理部門の構築により水質汚濁の蓄積の視点で問題を扱っている。これに対して、本分析は水質を外部性として扱っている点でアプローチが異なっている。

以上より、以下のシミュレーションで利用するパラメータは、「環境変数なし」のセットとする。

表4 - 3 パラメータ推定結果

係数	環境変数あり			環境変数なし		
	第一次産業	第二次産業	第三次産業	第一次産業	第二次産業	第三次産業
c (定数項)	1.38 (1.74)	5.43 (6.13)	3.60 (3.32)	1.84 (7.93)	1.35 (4.89)	1.10 (7.31)
(労働分配率)	0.486 (4.93)	0.858 (15.6)	0.886 (11.1)	0.531 (7.32)	0.828 (28.2)	0.886 (26.7)
(集積パラメータ)	- (-)	0.402 (3.79)	0.235 (1.94)	- (-)	0.100 (3.93)	0.0744 (3.64)
(環境パラメータ)	-0.672 (-1.33)	0.0559 (0.487)	-0.0560 (-0.613)	- (-)	- (-)	- (-)
Adjusted R ²	0.468	0.977	0.986	0.744	0.969	0.989

()内：t値

数値計算

以下のフローチャートのもと、計算結果が得られる。

基準価格(ニューメレール)となるゾーン番号1の地代水準とする。

ワルラス法則により事後的に確認できる、ゾーン番号1の土地の需給均衡の計算誤差は0.50%となる。

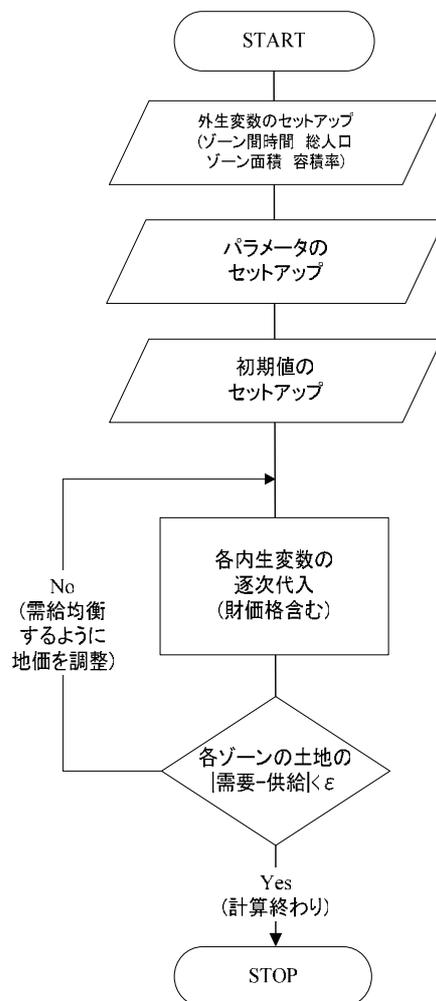


図 4 - 6 数値計算の手順

ニュメレール財を現実価格へ戻す方法

CGE は相対価格しか求まらない。本モデルではゾーン番号 1 の地代水準をニュメレールとしている。実証分析をするため、ニュメレールを現実価格へ変換する。その方法は以下の通りである。

$Land_price = H14$ 年の本調査よりゾーン番号 1 の地価水準は 473 万円と既知である。

また、下グラフより長期利子率の平均値： $i = 1.741\%$ である。

$$Rent = Land_price * i$$

より、ゾーン番号 1 の地代水準は 82,349 円/m²となる。この価格をニュメレールとする。

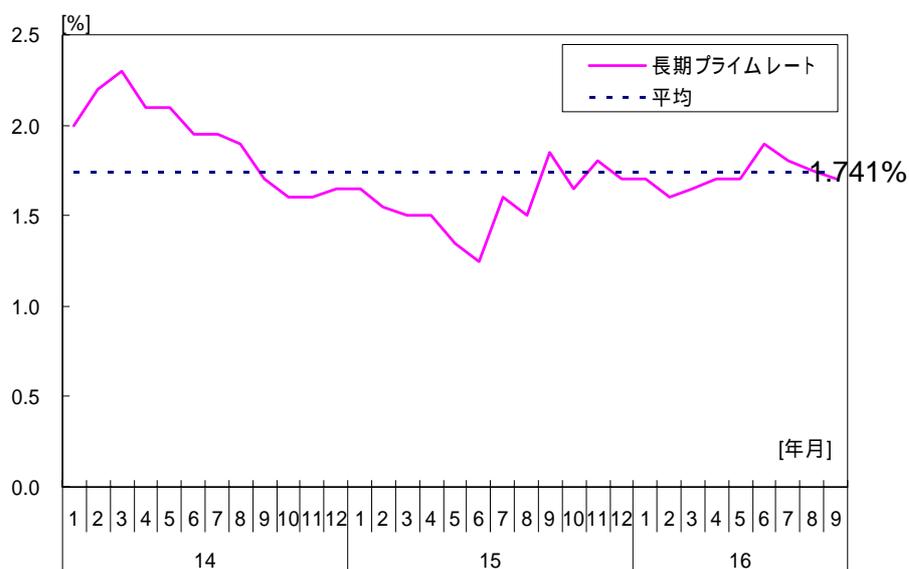


図 4 - 7 長期プライムレート

資料：日本銀行ホームページ

4 - 3 . 施策評価シミュレーション

(1) シミュレーションケースの設定

以下のケース設定により、施策評価を行う。Case A をベンチマークとし、各施策(Case B 、 Case C)との比較により評価を行う。

経済モデルで評価するのは人口分布が変化する場合の Case A、 Case B、 Case C のみである。

施策ケースと施策内容

施策ケースと施策内容は以下のとおりである。

表 4 - 4 施策ケース名

都市構造 都市施策	趨勢型(A)	都心居住型(B)	副都心型(C)
なし	Case A	Case B	Case C
環境施策-1	Case A-1		
環境施策-2	Case A-2		

表 4 - 5 施策ケース条件設定

都市構造 都市施策	趨勢型(A)	都心居住型(B)	副都心型(C)
容積率	現況 容積率	都心ゾーン容積率を 1.7 倍へ (実績容積率を参考に 都心居住ゾーンの 容積率を増加した)	副都心ゾーン容積率を 4.0 倍へ (実績容積率を参考に 副都心ゾーンの 容積率を増加した)
道路条件	H32 年 道路条件 ¹		

¹ ここで用いる道路条件(ゾーン間所要時間)とは、経済モデルと交通モデルの相互関係を考慮したゾーン間所要時間である。すなわち、先ず交通モデルから得られる初期値としてのゾーン間所要時間が経済モデルの人口分布モデルに反映される。次にその人口分布は、交通モデルにおいて外生値として参照され、再度ゾーン間所要時間が算出される。この相互依存関係により、交通現象を考慮した人口分布が求められると考える。具体的には本研究において、交通モデルからのネットワークデータのやり取りを 2 回行った。

容積率増加と床面積増加の関係

容積率増加施策を施策対象地区の床面積の増分で表すと、下図の通りである。

Case B の施策後の床面積合計値は 2,179ha、Case C の床面積合計値は 1,903ha となり、利用可能面積の総量は、ほぼ近似した水準である。

施策による床面積の増分は、Case C が Case B と比較して 1.66 倍も多い結果となる。

今後考えられる他の施策としては、床面積を同一量増加させた場合の経済的評価を行うことも考えられる。

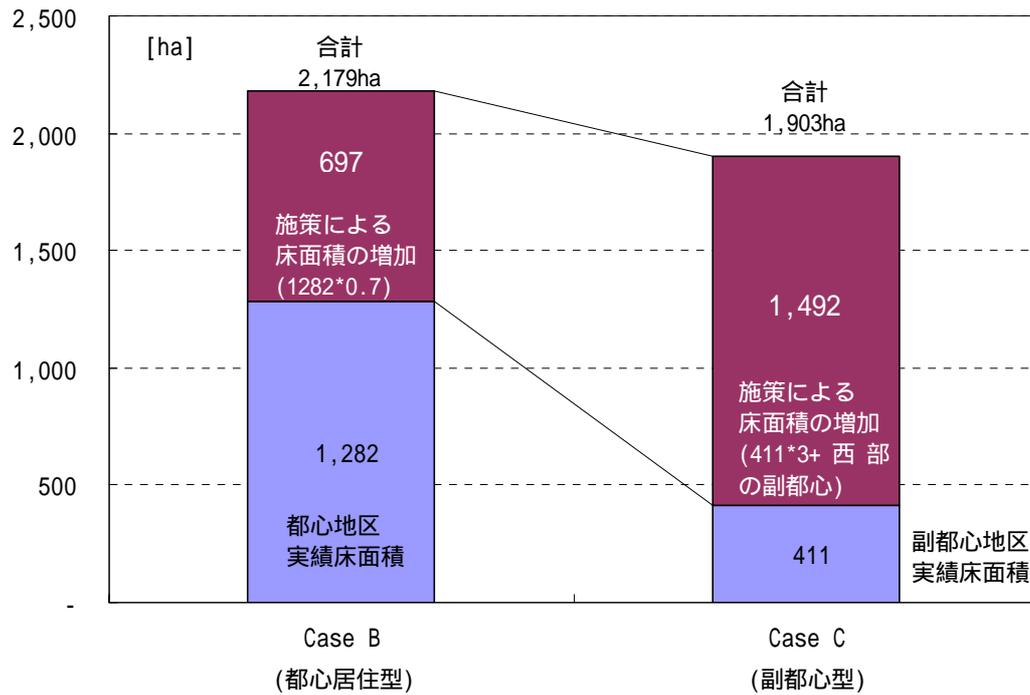


図 4 8 容積率変更と床面積増加の関係

(2) 留保層設定

留保層の設定は、土地利用モデルにおける他の文献において多く扱われている。

夜間人口の留保率は、国勢調査の5年間の移動人口から市区町別に求めた。本分析は1年単位のデータであるため、国勢調査5年間のデータを1年間データに変換している。

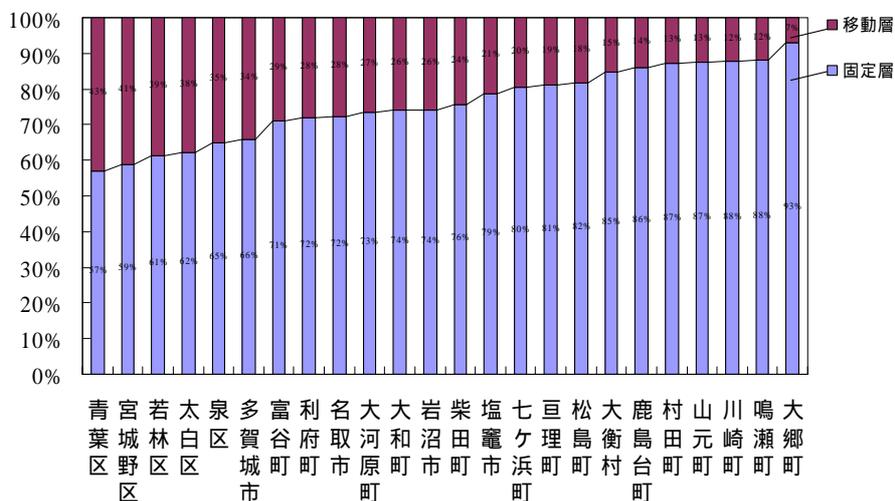


図4 - 9 人口の移動率²

産業別従業人口の留保率は、事業所企業統計調査より、5年以内の開業率にしたがって、設定している。このデータは、地区町村別に分散が大きいことから、産業別に都市圏一つの値で設定を行う。留保率は下図の通りである。

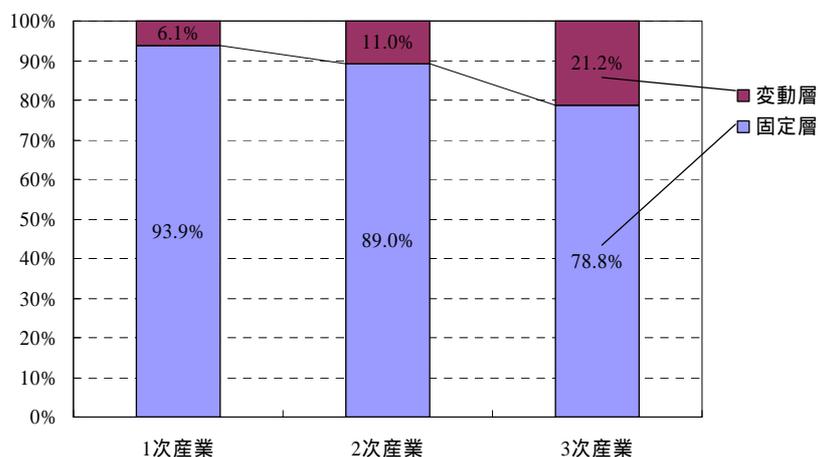


図4 - 10 産業別従業者数の変動³

資料：1)平成12年、国勢調査報告、第7巻、その1 人口移動I 第2部 都道府県・市区町村編 宮城県、総務省統計局。CD-ROM

2)平成13年事業所・企業統計調査報告、第3巻 事業所及び企業に関する集計 都道府県別結果 04 宮城県、総務省統計局。CD-ROM

² 移動層は現在の居住地と5年前の居住地が違っている割合により算定する。

³ 移動層は現在開設事業所が5年以内に新規開設した割合により算定する。

(3) 現況再現性

Case A の現況再現性を確認する。人口分布の 45 度線は下図の通りである。当てはまりは良いと言える。

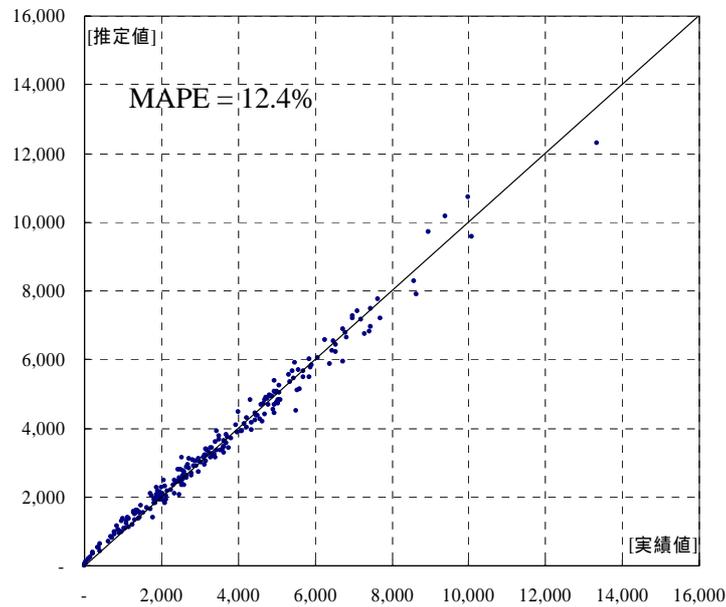


図 4 - 11 現況再現性(夜間人口)⁴

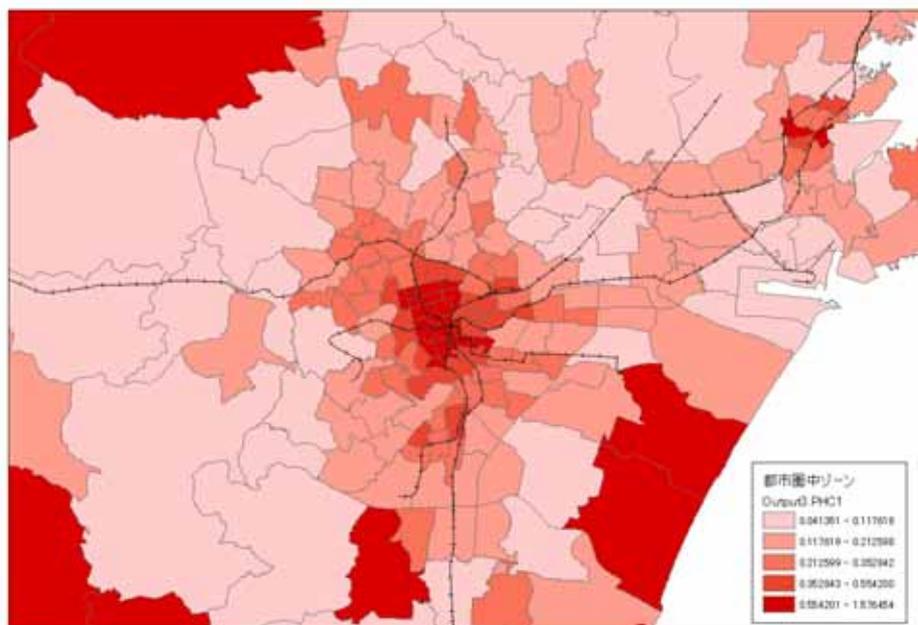


図 4 - 12 Case I の地代水準

⁴ MAPE(The Mean of Absolute Percentage Error : 絶対パーセンテージ平均誤差) = $\sum_{t=1}^n \frac{|e_t|}{y_t} / n$. 推定値と実績値の乖離 (Error)の程度を指標化したもの。値は小さいほど良い。

(4) Case B (都心居住型都市構造)

夜間人口の変化

Case A を基準ケースとした Case B(都心居住施策)の夜間人口分布は、中心部に夜間人口が集積し、鉄道沿線の周辺部で減少する傾向が見られる。また、鉄道沿線以遠の夜間人口は変化しない。

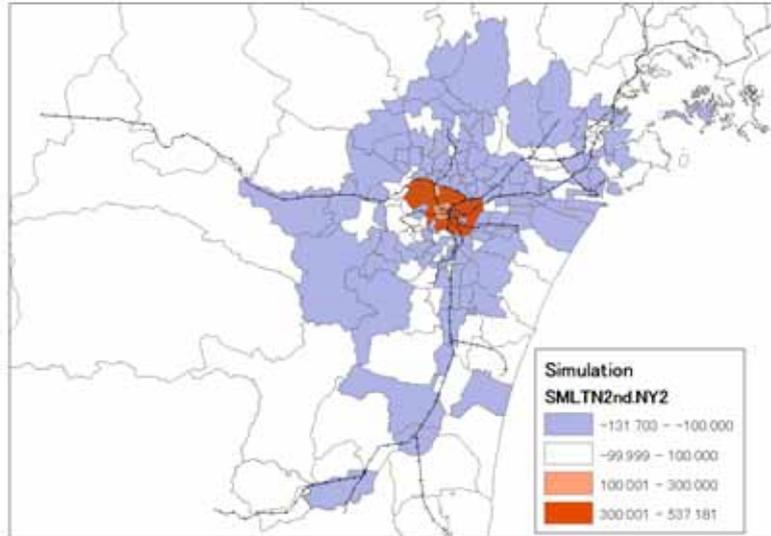


図4 - 13 夜間人口分布(Case B - Case A)

全産業従業人口の変化

全産業の従業人口は、都心ゾーンにおいて増加する。3次産業従業人口の増加の影響が大きい。減少ゾーンは、鉄道沿線周辺部と郊外部である。

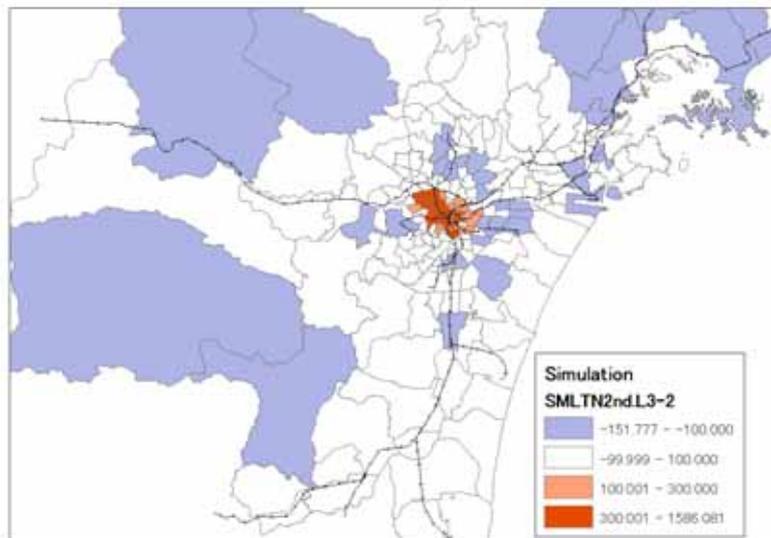


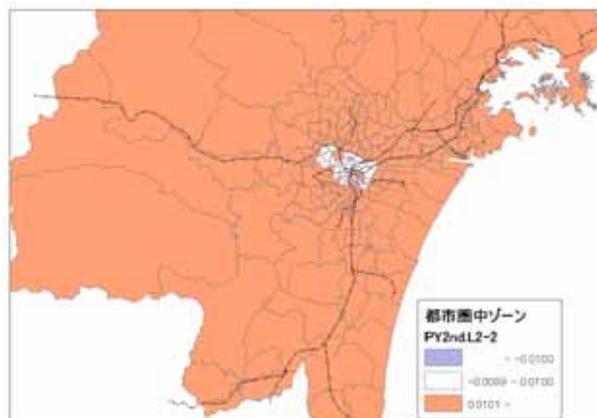
図4 - 14 全産業従業人口(Case B - Case A)

産業別従業人口の変化

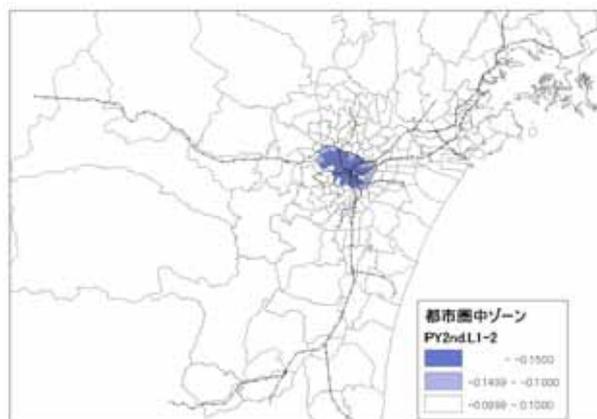
Case B(都心居住施策)の産業別の従業人口の変化は、3次産業では都心において従業人口が集積し、鉄道沿線で減少する。1次・2次産業の従業人口は、規模は小さいが減少し、夜間人口・3次従業人口集積による押し退け効果が見られる。変化の程度は、3次従業人口が中心部において最大約1,500人である。



3次産業 従業人口変化



2次産業 従業人口変化



1次産業 従業人口変化

図4 - 15 従業人口変化(Case B / Case A)

地代(土地 1 m²あたり)の変化

容積率が増加した分、土地 1 m²あたりでは、開発ゾーンの地代が上昇する。夜間人口と生産活動の影響が合成され、変化が形成される。

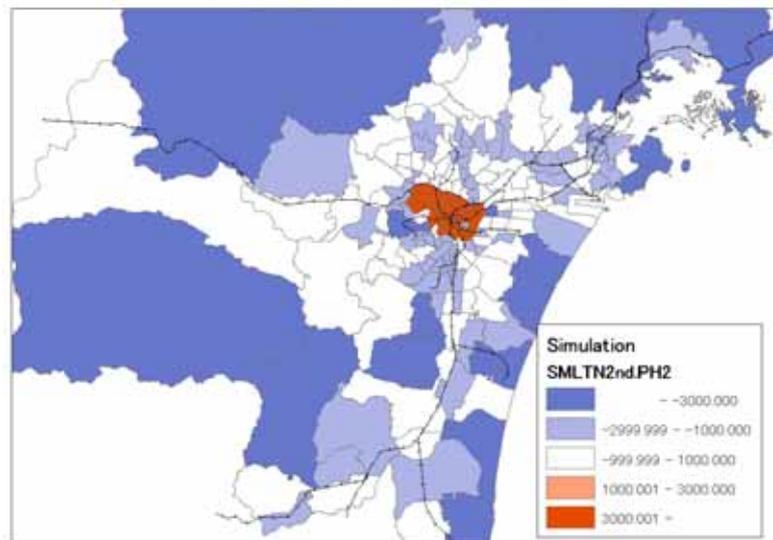


図 4 - 16 地代水準変化(Case B - Case A)

厚生水準の変化

厚生水準指標は、夜間人口の立地決定要因であり、同一の挙動をしめす。中心部において、厚生水準が増加し、中心部で夜間人口が増加する。鉄道沿線周辺部では、厚生水準が低下し、夜間人口は減少する。CV、EV の何れの指標においても同様の結果となる。

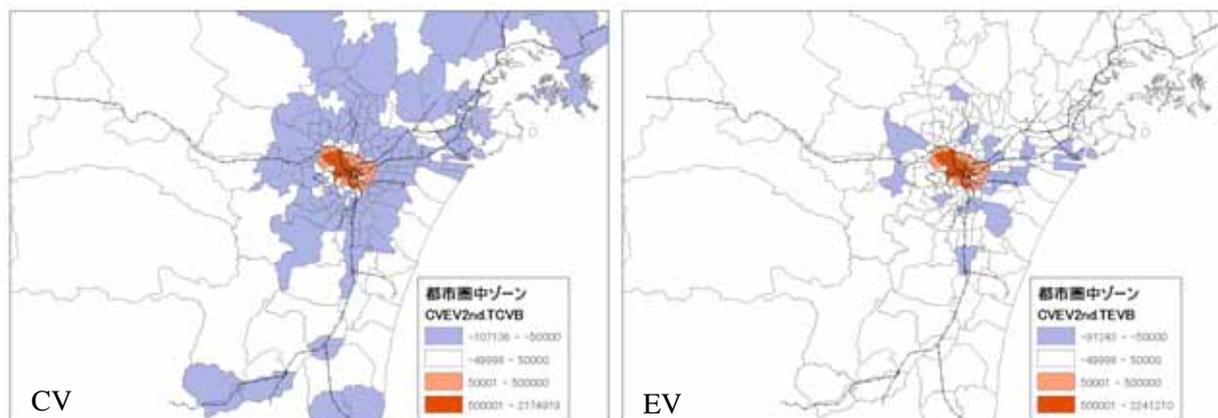


図 4 - 17 厚生水準(Case B - Case A)

(5) Case C (副都心型都市構造)

夜間人口の変化

Case A を基準ケースとした Case C(副都心施策)の夜間人口分布は、副都心 4 方向において夜間人口が集積し、中心部・周辺部の鉄道沿線で夜間人口が減少する。鉄道沿線以外の周辺部では、夜間人口は大きな変化はない。

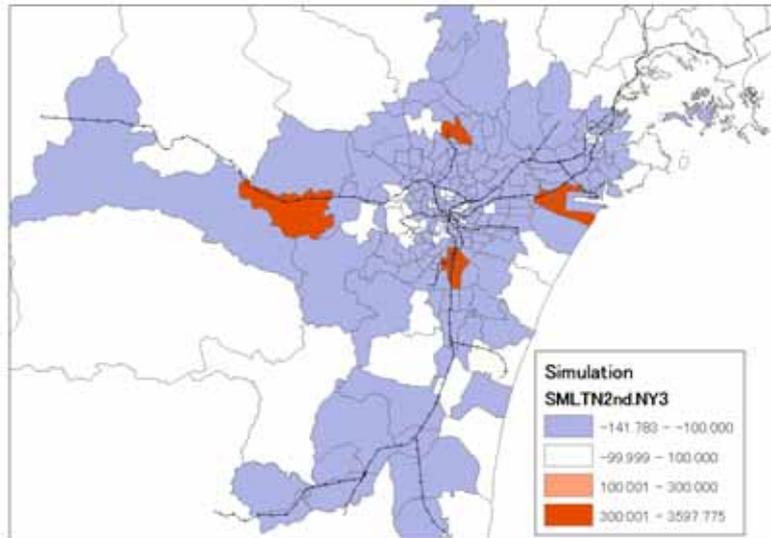


図 4 - 18 夜間人口分布(Case C - Case A)

全産業従業人口の変化

全産業の従業人口は、副都心 4 方向において増加する。副都心ゾーンの 1・2 次産業の従業人口は微減するが、それ以上に 3 次産業従業人口の増加の影響が大きい。

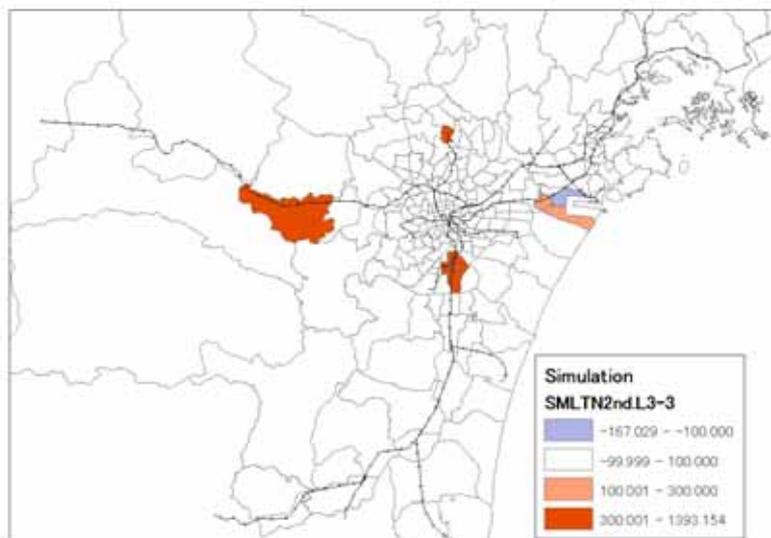
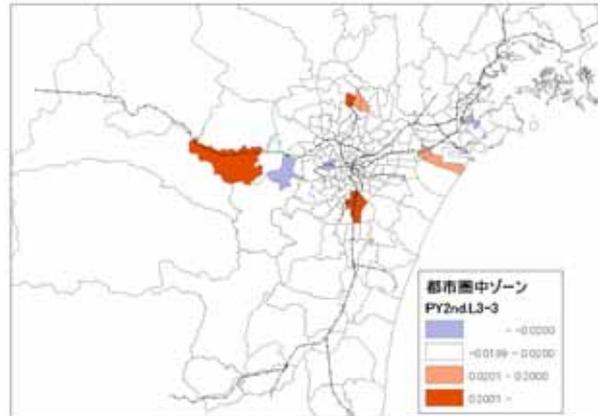


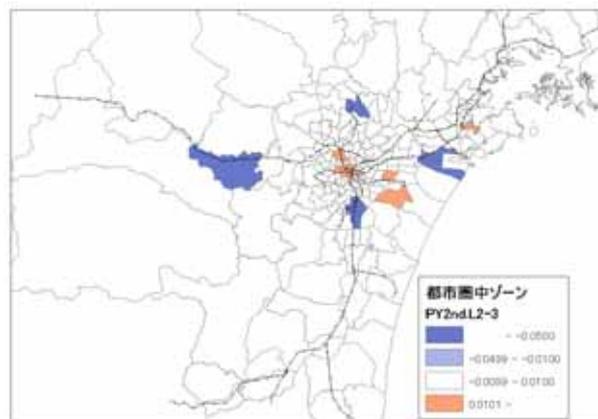
図 4 - 19 全産業従業人口(Case C - Case A)

産業別従業人口の変化

Case C(副都心施策)の産業別の従業人口の変化は、3次産業では副都心4方向において従業人口が集積する。1次・2次産業従業人口の変化の規模は小さいが減少し、夜間人口・3次従業人口による押し退け効果が見られる。変化の程度は、3次従業人口が最大約1,400人である。



3次産業 従業人口変化



2次産業 従業人口変化



1次産業 従業人口変化

図4 - 20 従業人口変化(Case C / Case A)

地代(土地 1m² 当たり)の変化

容積率が増加した分、土地 1m² 当たりでは、開発ゾーンの地代が上昇する。夜間人口と生産活動の影響が合成され、変化が形成される。副都心方向 4 ゾーンで地代上昇が見られる。

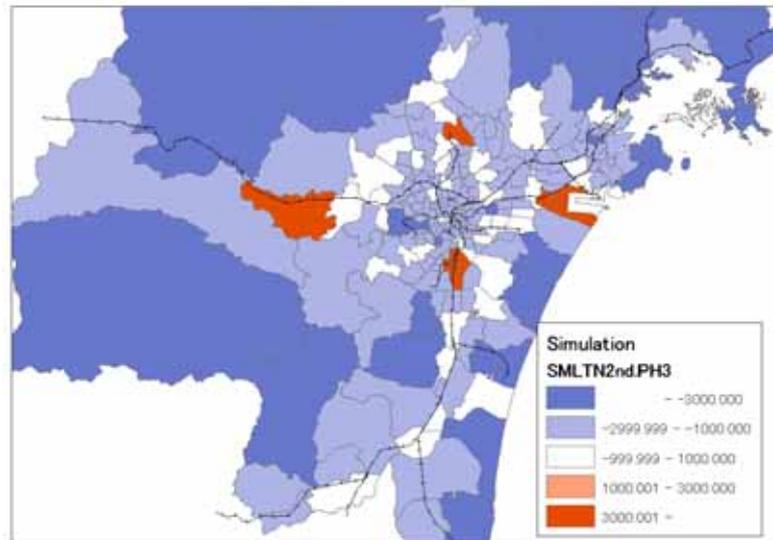


図 4 - 21 地代水準変化(Case C Case A)

厚生水準の変化

厚生水準指標は、夜間人口の立地決定要因であり、夜間人口と同一の挙動をしめす。副都心において、厚生水準が増加し、副都心で夜間人口が増加する。それ以外のゾーンにおいて、値の大きな変化は見られないが、基本は人口分布と同一の分布となる。CV、EV の何れの指標においても同様の結果となる。

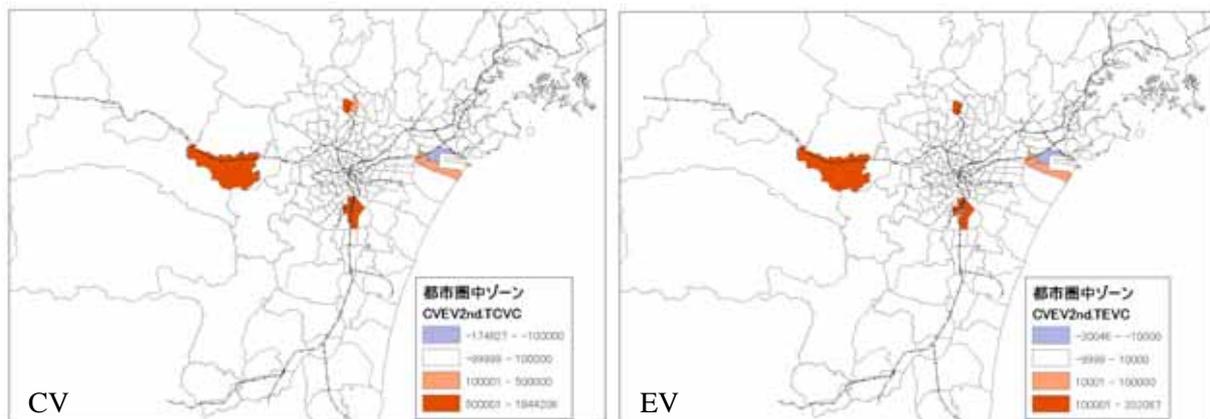


図 4 - 22 厚生水準(Case C - Case A)

(6) 都市圏全体での変化

夜間・従業員人口

中心部・副都心の対象ゾーンでは、人口が全体で約2万人程度動いている。都心居住型では対象ゾーンに3次従業員人口が多く移転し、副都心型では夜間人口が多く移転する結果となる。

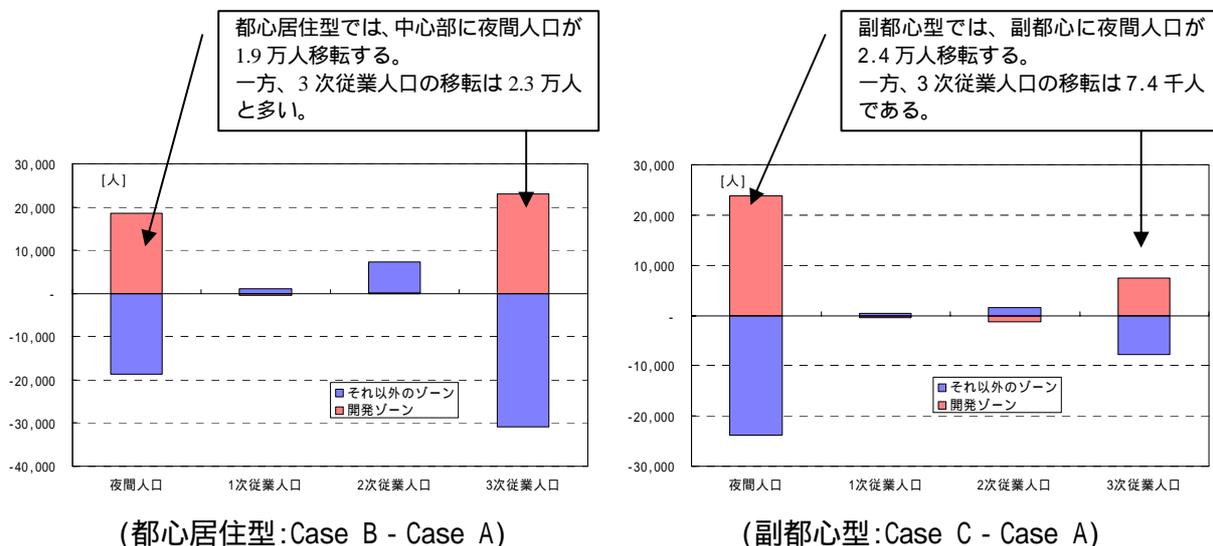


図4-23 対象ゾーン別の人口変化

夜間・従業員人口モーメント

人口分布の散らばり具合の指標である人口モーメントは、夜間人口モーメント・従業員人口モーメントの何れにおいても、都心居住型が最も小さい値を示し、都市構造が効率的な人口分布であることが分かる。次いで副都心居住型、趨勢型と続く。

人口モーメント=各ゾーン人口*ゾーン中心から仙台市役所までの距離値が小さいほど効率化している。

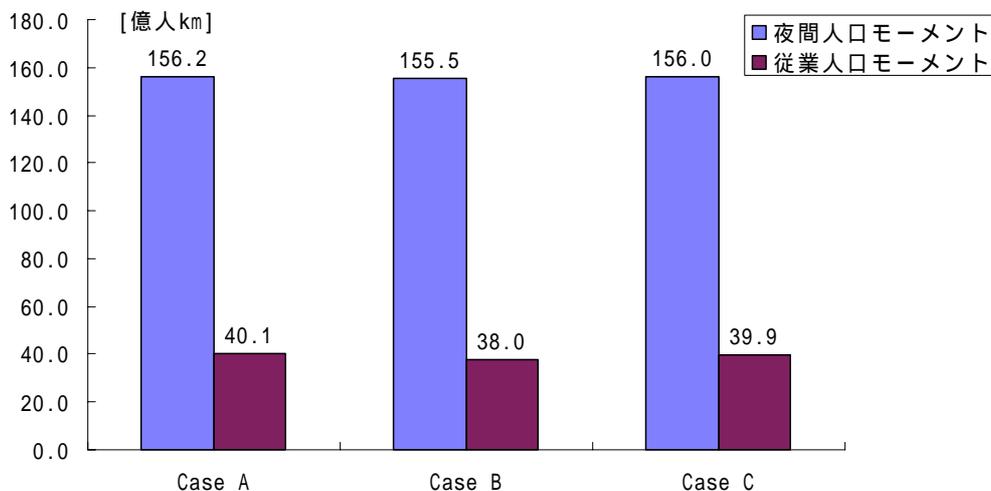


図4-24 夜間・従業員人口モーメント

総生産

Case A を基準 100% とすると、Case B の総生産は大きく 2.2% 増加する。理由は「集積経済」が働くためである。2・3 次産業の生産増加として現れる。また、Case C の総生産は Case A より微増 1.3% である。副都心 4 拠点への分散化は、趨勢型(Case A)よりは効率的となるが、中心部型(Case B)よりは非効率となる。

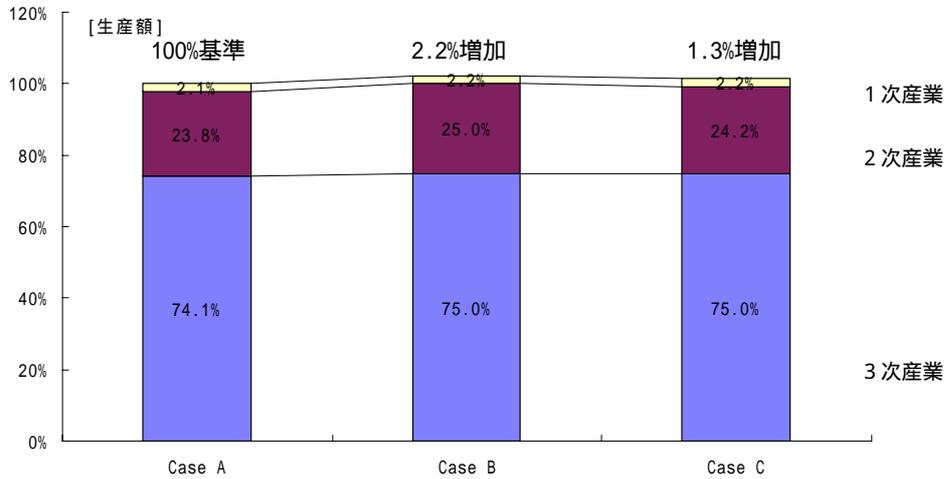


図 4 - 25 Case 別総生産の変化

産業比は実績値と同じ

地代水準

地代水準の都市圏全体での総額は約 5 兆円であり、都市圏の総生産水準に近似した値となる。これは各期 1 年の付加価値が地代に帰着していることを示すものである。Case A を基準として比較すると、Case B で 2.36% 増加、Case C で 0.35% 減少となる。

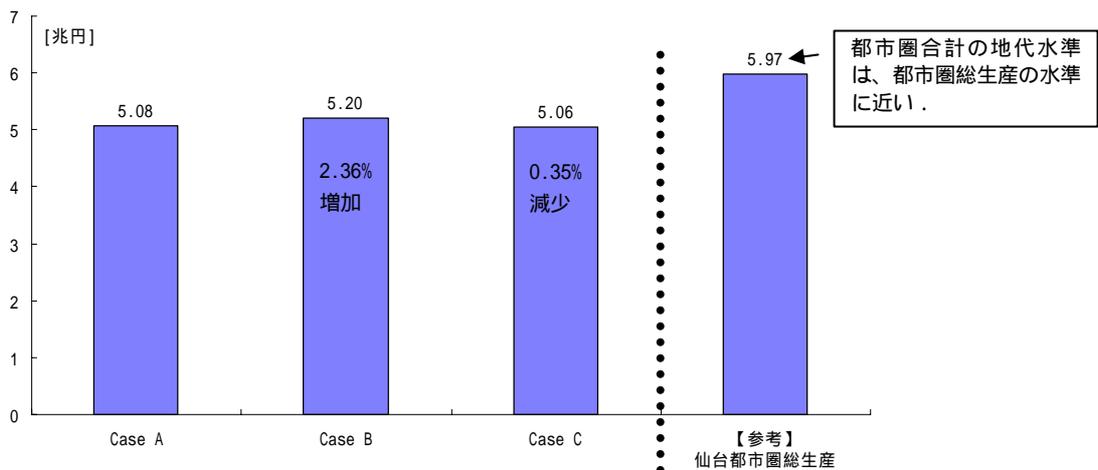


図 4 - 26 Case 別地代水準の変化

効用指標

Case B・Case C の厚生水準は、Case A より高い。なぜならば、容積率が一律に増加するので、地代水準が低下し居住面積が増加すること、生産増加による所得水準が増加することにより厚生は増加する。中でも、集積力が高まる Case B の厚生水準が最も高くなる。なお、本研究においては、厚生水準として(16)式による効用指標を用いた。

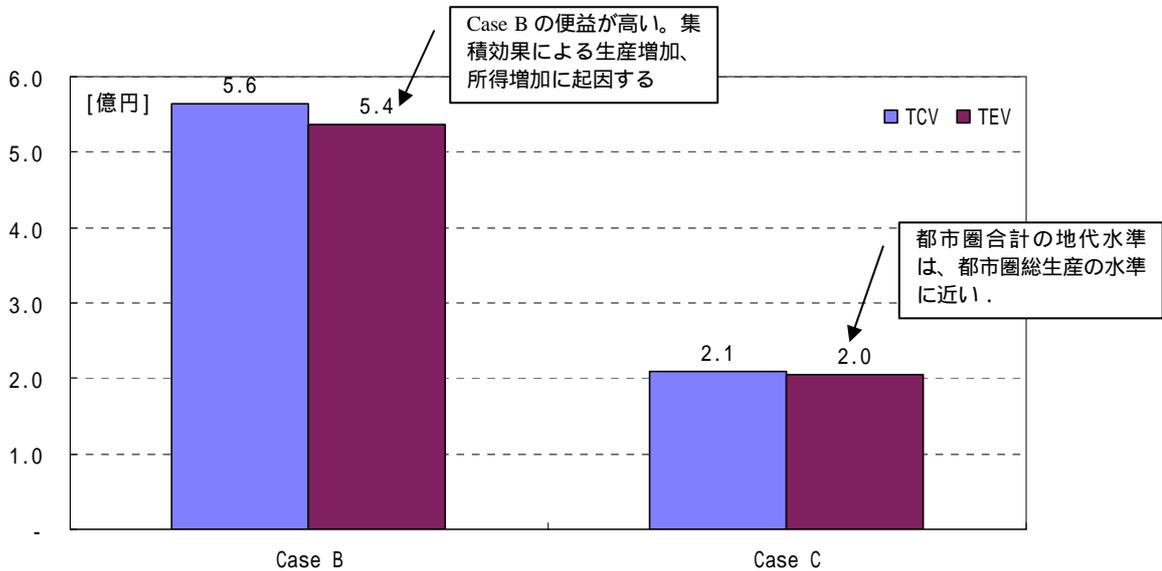


図 4 - 27 Case 別厚生水準の変化

評価指標の整理

Case A を基準 100 とする比率により、各ケース間比較を行う。人口分散が小さく、集積経済が発揮されている Case B の経済的インパクトが大であることが分かる。

表 4 - 6 経済評価モデルの評価結果

ケース	夜間人口 (万人)			夜間人口モーメント (億人 km)	従業人口 (万人)			従業人口モーメント (億人 km)
	都市圏	うち都心	うち副都心		都市圏	うち都心	うち副都心	
ケースA 趨勢型	156.9	15.9	8.4	156.2	81.6	26.4	4.6	60.5
ケースB 都心居住型	156.9	16.9	8.3	155.5	81.6	28.7	4.4	58.3
ケースC 副都心型	156.9	15.6	9.7	156.1	81.6	26.3	5.2	60.3

ケース	従業人口 (人)			総生産 (兆円)				地代水準 (兆円)	CV	EV
	第1次	第2次	第3次	第1次	第2次	第3次	産業計			
ケースA 趨勢型	2.0	18.3	61.3	0.13	1.42	4.43	5.97	5.08	-	-
ケースB 都心居住型	2.0	19.0	60.5	0.13	1.46	4.53	6.12	5.20	206.8	171.8
ケースC 副都心型	2.0	18.3	61.3	0.13	1.42	4.41	5.95	5.06	84.2	77.1

減少
 増加

4 - 4 . 今後の課題とまとめ

(1) モデル構築に関する技術的課題

モデル構築に関する技術的な課題として二点挙げられる。

一つは、環境外部性を考慮する必要があることである。本分析は生産活動に環境が影響を与えると仮定してモデル構築を行ったが、パラメータ推定は有効な数値が得られなかった。今後の課題としては、環境外部性が有効となるモデリングの検討が必要となる。

二つは、私事目的の交通をモデル化することの検討である。本モデルでは、計算可能性の限界から通勤交通のみを対象としたモデリングを行っている。しかし、現実には買い物等の私事目的の交通の行動が生ずる。今後は、私事交通を含む目的の交通をモデル化の検討が必要である。

(2) 分析のまとめ

Case B の都心居住型施策により、夜間人口・従業人口が都心へ集中することにより、「集積の経済」効果が発現する。これにより、都心地域で 2 次・3 次産業総生産は増加、地代水準は増加という影響が見られ、厚生水準の向上も見られる。

一方、Case C の副都心型施策においては、夜間人口・従業人口が 4 方向の副都心へ集中することにより、人口が分散化する。「集積の経済」効果が削がれることにより、中心部型と比較して、都市圏全体の総生産水準は小さい水準となる。一方、趨勢型との比較では、郊外部からの人口移転により副都心に人口が集中することから、ある程度の集積効果が得られ、趨勢型よりは総生産水準は増加する。また何れのケースにおいても、床面積が増加となることにより(経済資源の増加)、厚生水準の増加が見られる。

以上より、これまでの人口分布評価モデルである「土地利用モデル」よりも、本分析の CGE アプローチは豊富な結論を提供すると言え、空間経済分析の有効性が確認できた。また、計量経済モデルでは表現できないゾーン単位での政策アウトプットを、本分析では評価することができた。

【参考：目的別交通サービスを考慮したモデル】

- ・ 先のモデルは、居住地選択・通勤地選択のみを考慮したモデルであり、私事買物先選択を考慮しておらず、一般的なモデルとなっていない。そこで、私事交通・居住地選択・通勤地選択を考慮したモデルを構築した。しかし、モデル変数の数が大きくなり、収束計算が困難な状態である。
- ・ 簡単のため、市場は土地市場のみ考える。ゾーン別に均衡するのは地代のみである。それ以外の市場(財・労働市場)については価格は一定(外生として考える)とし、市場は考えない。

1. モデル

(1) 生産

$$\max \Pi_i = py_i - w_i L_i - r_i T_i - p_E E_i \quad (1)$$

$$\text{s.t. } y_i = (L_i)^{\alpha_1} (T_i)^{\alpha_2} (\varepsilon E_i)^{\alpha_3} (ACC_i)^\gamma \quad (2)$$

$$T_i = \frac{\alpha_i p y_i}{r_i} \quad (3), \quad E_i = \frac{\alpha_i p y_i}{p_i} \quad (4)$$

$$w_i = \frac{\alpha p y_i}{L_i} \quad (5), \quad y_i = \sum_{j,k} x_{ijk} N_{ijk} \quad (6)$$

(2) 家計

$$\max U_{ijk} = (h_{ik})^{\beta_1} (x_{ijk})^{\beta_2} (\varepsilon e_{ik})^{\beta_3} \quad (7)$$

$$\text{s.t. } I_{ik} = r_i h_{ik} + p_{ij} x_{ijk} \quad (8)$$

$$I_{ik} = w_k (\bar{\tau} - 2\tau_{ik}) - 2\rho\delta_{ik} + \sum_i r_i \bar{H}_i / \bar{N} \quad (9)$$

$$p_{ijk} = p + 2(\rho\delta_{ij} + w_k \tau_{ij}) \quad (10)$$

$$h_{ik} = \frac{\beta I_{ik}}{r_i} \quad (11), \quad x_{ijk} = \frac{(1-\beta)I_{ik}}{p_{ijk}} \quad (12)$$

$$e_{ik} = \frac{\beta_3 I_{ik}}{\varepsilon p} \quad (13)$$

$$\text{Pr}_{ijk} = \frac{\exp(\lambda U_{ijk})}{\sum_{i,j,k} \exp(\lambda U_{ijk})} \quad (14)$$

$$N_{ijk} = \text{Pr}_{ijk} \bar{N} \quad (15), \quad L_k = \sum_{i,j} N_{ijk} \quad (16)$$

(3) 土地均衡

$$\Phi_i \bar{H}_i = \sum_k h_{ik} N_{ik} + T_i \quad (17)$$

$$\varepsilon \bar{W} = \sum_k z_{ik} N_{ik} + Z_i \quad (18)$$

2. 入力条件

(1)パラメータ

パラメータは、以前の研究のパラメータ値を設定する。

(2)ネットワーク

ネットワーク状況は、H14 調査の趨勢型を入力する。

(3)土地面積

パーソントリップ調査のゾーン面積を利用する。

3. 数値計算

本モデルは、居住地・通勤先・買物先の3肢選択モデルである。中ゾーン 236 ゾーンの計算負荷が高く計算可能でなかった。そこで以下では、モデルの挙動を把握するため、全く均質な9ゾーンによる定性分析を行う。ゾーン面積は正方形の1、総人口は100である。

Z1	Z2	Z3
Z4	Z5	Z6
Z7	Z8	Z9

図4-28 ゾーン形状

4. 結果

(1)計算結果

ネットワーク条件が良い中心部ゾーンで人口集積・経済活動水準が高いことが分かる。

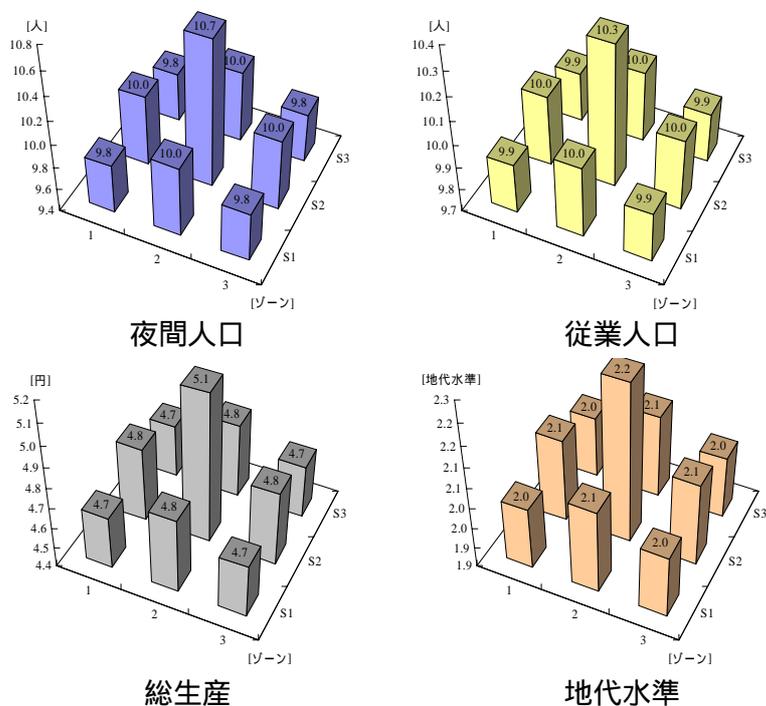


図4-29 9ゾーン分析結果

第5章 .

生活の質モデルの開発

第5章 . 生活の質モデルの開発

5 - 1 . 生活の質モデルの開発方針

(1) 以前の研究モデル

以前の研究においては、活動モデルから推計される交通量や人口配置を、各評価モデルがインプットデータとして取り扱い評価を行った。

生活の質評価モデルは、個人属性や環境特性を組み込むことができる共分散構造モデルとした。

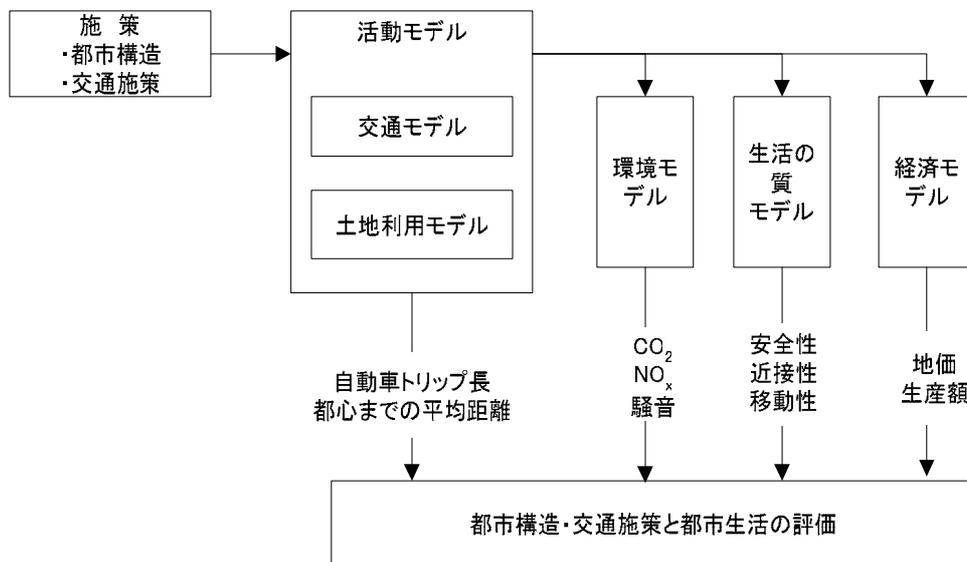


図 5 - 1 以前の研究の評価モデル体系

(2) モデル開発の基本的な考え方

交通利便性、環境指標等との関係を踏まえた「生活の質」モデルを構築した。モデルは、以前の研究の評価対象である環境指標に対応した「生活の質」モデルとした。

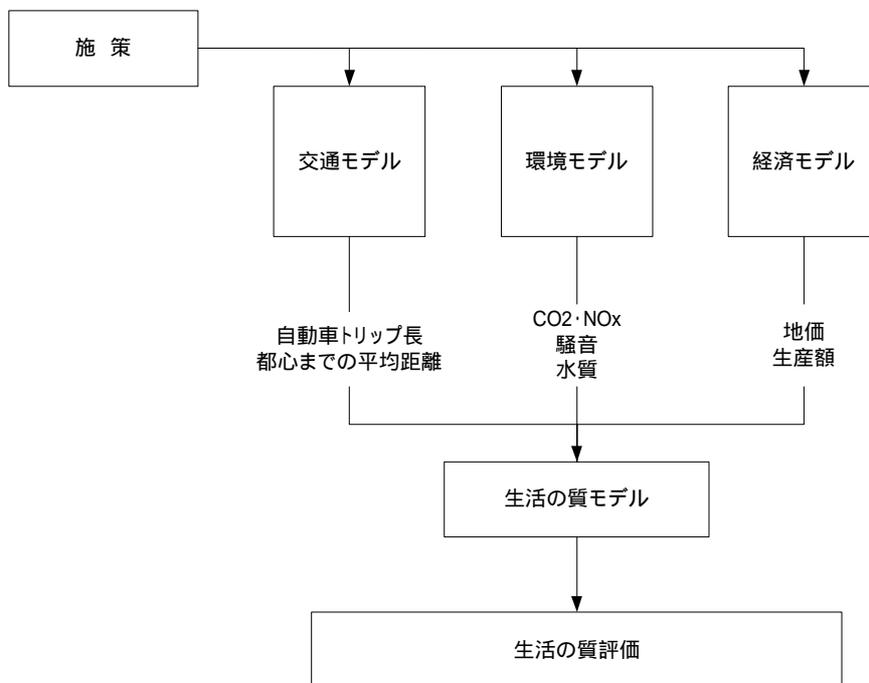


図5 - 2 今後の評価モデル体系案

(3) 生活の質の定義

本研究の「生活の質」は、以前の研究を踏襲し、吉田論文の考えを基本とする。

即ち、吉田論文では、都市計画と関連が深いMyersの研究から、生活の質を定義しており、「生活の質」を都市計画の観点から「住みよさ」に限定し、「コミュニティの生活の質は、居住者が体験する同一の環境特性とそれに対する居住者の主観的評価によって構成される」と定義している。

本研究においても、上記の解釈に基づき、生活の質を「安全性」「近接性」「移動性」などを基本的概念とする「住みよさ」と解釈し、評価を行うこととする。

(4) 計測モデル

計測モデルについても、以前の研究と同様に、個人属性や環境特性を組み込むことができる共分散構造モデルとする。

モデルの構造方程式には、活動モデルから評価される活動指標、環境モデルから評価される評価指標を取り入れたものとする。

(モデル式)

居住満足度の主観的評価値は、「安全性」や「利便性」などの潜在変数の指標であり、潜在変数は環境特性や個人属性のような客観的変数によって構成させるという構造を仮定する。すべての因果関係が線形であると仮定すれば、共分散構造モデルが適用できる。

$$x^* = \Gamma z + \zeta \quad (\text{構造方程式})$$

$$y = \Lambda x^* + \varepsilon \quad (\text{測定方程式})$$

ここに、

x^* : 「生活の質」を表す潜在変数ベクトル

z : 環境特性、個人属性などの客観的変数ベクトル

y : 居住満足度を表す主観的評価値ベクトル

Γ, Λ : パラメータ

ζ, ε : 誤差項

5 - 2 . 既往研究のレビュー

ここでは、研究事例を整理し、本研究の生活の質モデルの位置づけを整理した。

文献レビューの概要は、次ページ以降にまとめた。

各モデルについて一長一短があるが、本研究では、都市単位ではなくゾーン単位に評価でき、交通施策の導入による「利便性」を生活の質から評価できるモデルを基本とする。

表5 - 1 生活の質の評価方法の特徴

	「環境指標」の展開	「住宅地における環境の評価指標に関する研究」	近隣環境における「生活の質」の計測に関する研究
対象都市	北九州市（1984） 東京都（1986）	東京23区（1989）	山形市（1997）
概要	<ul style="list-style-type: none"> 環境計画策定に向けて住民満足度調査結果とメッシュ別環境データから、快適性の評価に主眼をおいた環境指標を作成 地域の環境データ（人口、交通量等）から環境指標（快適性）を、重回帰により直接表現しようとするもの。 	<ul style="list-style-type: none"> 居住環境の評価モデルを構築するため（方法論）、客観値と主観的評価地値の評価関数にファジィ理論を用いている。 街並みの空間領域に配慮して、鳥瞰図のような街並みイメージを被験者に提示して景観的要素を含めた評価を行っている。 	<ul style="list-style-type: none"> 住民満足度調査と個人属性、ゾーン別環境データから、共分散構造モデルを活用して居住環境の評価指標を作成
指標概要	<p>環境データ等を説明変数とした以下の個別指標を設定</p> <ul style="list-style-type: none"> 空気のきれいさ まちの静けさ まちの清潔さ 自然景観 など <p><例>空気のきれいさの説明変数 NO₂濃度、交通量、人口密度 北九州市では、上記個別指標を変数とした重回帰分析で総合評価を行う 東京都は、指標間の重みをアンケート調査から分析し、総合評価を行っている。</p>	<p>東京都の住環境測定指標を活用している。 焼失危険度、日照通風阻害度、空地延床面積比率、共用空地率、近隣緑量率、5.5m道路率等</p> <p>評価項目間のウェイト設定にファジィ積分が適用されている</p>	<p>分析により、環境データと満足度の間に介在する潜在変数として、以下の指標を設定している。</p> <ul style="list-style-type: none"> 快適性 安全性 利便性 <p>上記の潜在変数を組み込んだヘドニック分析により、貨幣価値換算を行っている</p>
データ	<ul style="list-style-type: none"> メッシュ別の環境情報データ（人口、交通量、土地利用、騒音状況等） 快適環境に関する市民意識調査（アンケート） 	<ul style="list-style-type: none"> 東京都の住環境測定指標 住民アンケート 	<ul style="list-style-type: none"> ゾーン別（都市計画基礎調査）データ（人口、交通量、土地利用等） 居住環境に関する市民意識調査（アンケート）
適用性	<ul style="list-style-type: none"> NO₂濃度が個別指標の変数にある。 仙台都市圏では個別指標を構成する説明変数データの収集が一部で困難 パラメータが明示されている 	<ul style="list-style-type: none"> 仙台都市圏では、東京都の住環境測定指標に相当するデータ収集が困難 パラメータが明示されていない 	<ul style="list-style-type: none"> NO₂濃度が変数にない 個別指標の説明変数となるデータの収集が比較的容易 パラメータが明示されている

	都市環境計画支援システム“PLATON” 「地球環境都市デザイン」	「生活質の定量化に基づく社会資本整備の評価に関する研究」 (林・土井・杉山)
対象都市	ニュータウン	都市
概要	<p>・「都市の自立性」「市民生活の豊かさ」の2面から、主にニュータウンの完成時の都市環境を生活者の視点から計画立案段階で評価する静的モデル</p>	<p>・価値観の変化を、ライフステージの進行に伴う個人属性の変化とともに、環境変化に伴うストレスの変化としてモデル化している。</p> <p>・評価項目の重要度(重み)の変化として表現している。 ストレス：個人の思い描く理想状況に対するその未充足度をストレスと定義する</p>
指標概要	<p>都市の自立性評価モデル</p> <p>・水域への負荷軽減効果、大気への負荷軽減効果、省エネルギー効果の視点から評価</p> <p><熱関係> ・エネルギー消費量 ・下水排熱、廃棄物排熱 ・NO_x、CO₂、SO_x排出量 ・燃料使用料金 ・熱売単価</p> <p><水関係> ・ごみ排出量 ・上水使用量、節水量、上水道料金 ・BOD負荷量、BOD濃度 ・プラント建設費</p> <p>市民生活の豊かさ評価モデル</p> <p>・安全性、保健性、利便性、快適性の4つの視点から評価(15の機能から評価)</p> <p><安全性> ・災害防止 ・交通安全 ・弱者への配慮 ・防犯</p> <p><保健性> ・衛生・清潔 ・水質保全 ・騒音・振動 ・日照・日影</p> <p><利便性> ・商業・公共施設利便性 ・職住近接性・交通便利性 ・スポーツ公園・文化施設利便性 ・サービスソフト・情報利便性</p> <p><快適性> ・緑・水とのふれあい ・空間的ゆとり・美しさ ・コミュニティ・にぎわい形成</p> <p>定量評価項目は、評価項目別に価値関数を設定し評価を行っている。 定性評価項目は、ランク別の評価値を設定し評価を行っている。 重み係数を設定し総合評価を行っている。</p>	<p>5つの評価軸と各評価軸のインディケータ</p> <p><経済活動機会> 可処分所得、一人当たりの情報発信量 地域の失業率</p> <p><生活サービス機会> 1時間圏内にある百貨店数 1時間圏内にある特定機能病院数 日帰り観光地数 1時間圏内にある大学数</p> <p><快適性> 住居面積、1週間の非拘束時間 1人当たりの緑地面積</p> <p><安心・安全性> 人口1万人当たりの交通事故発生件数 人口1万人当たりの火災件数 人口1万人当たりの犯罪発生件数</p> <p><環境負荷低減性> 自動車1台が受け持つ都市面積 ゴミの資源化率、1人当たりの緑地面積</p>
データ	・詳細は不明	・住民アンケート(三大都市圏及び他5都市)
適用性	<p>・ニュータウンレベルの評価でありゾーン単位評価モデルではない</p> <p>・価値関数が明示されておらず、適用は困難</p>	<p>・都市単位の評価モデルである</p> <p>・一部のパラメータしか明示されていない</p>

5 - 3 . 生活の質に関するデータベースの作成

5 - 3 - 1 . 計測単位

山形市を対象とした吉田論文の「生活の質」評価モデルでは、町丁字を基本にしたゾーニングのもとで構築されている。

このため、本研究においては、仙台都市圏を町丁字により分割し、ゾーンの細分化を行った。

5 - 3 - 2 . データ項目

人口や土地利用などのゾーンデータ、施設までの近接性を表現するデータを整備した。以下に整備したデータ項目を示す。

表5 - 2 データベースリスト

区 分	変 数	定 義(案)
施設近接性	都心までの距離	仙台市役所までの自動車所要時間
	幼稚園までの距離	ゾーン施設間の徒歩所要時間
	学校(小・中)までの距離	ゾーン施設間の徒歩所要時間
	総合病院までの距離	各病院までの自動車所要時間
	鉄道駅までの距離	鉄道駅までの自動車所要時間
	街区公園までの距離	ゾーン施設間の徒歩所要時間
	大規模小売店までの距離	ゾーン施設間の徒歩所要時間
	避難地までの距離	ゾーン施設間の徒歩所要時間
	水辺までの距離	水辺(川・海)までの直線距離
交通	道路密度(道路面積)	幅員5.5m以上道路の線密度(km/km ²)
	バス利便性	最寄りバス停運行頻度(本)/バス停までの距離
	交通量(台キロ)	ゾーン別交通量×距離(配分)
自然・土地	標高	ゾーン内の平均標高(m)
	農地面積	ゾーンにおける田畑の面積率
	自然地面積	ゾーンにおける自然地の面積率
建物・人口	人口密度	ゾーン内の人口密度(人/m ²)
環境	騒音	騒音(台キロ)

5 - 3 3 . 施設近接性の計測方法

(1) 計測方法

対象施設を、アクセス手段により以下の2タイプに分ける。アクセス手段は、「自動車」と「徒歩」を想定する。

徒歩による : 幼稚園、小学校、中学校、街区公園、避難地

自動車による : 都心、総合病院、大規模店舗、鉄道駅

上記設定を踏まえ、ゾーンから施設までの所要時間を設定する。自動車による経路計測は、自動車用のネットワークから、自動車の速度を設定し、最短経路探索を行う。徒歩所要時間設定は、徒歩用のネットワークから、徒歩速度・時速5kmと設定し、最短経路探索を行う。

(2) 計測用のネットワーク

徒歩用ネットワーク

全国デジタル道路地図から、都市圏内の全道路（幅員3m以上）を網羅した徒歩用ネットワークを作成した。

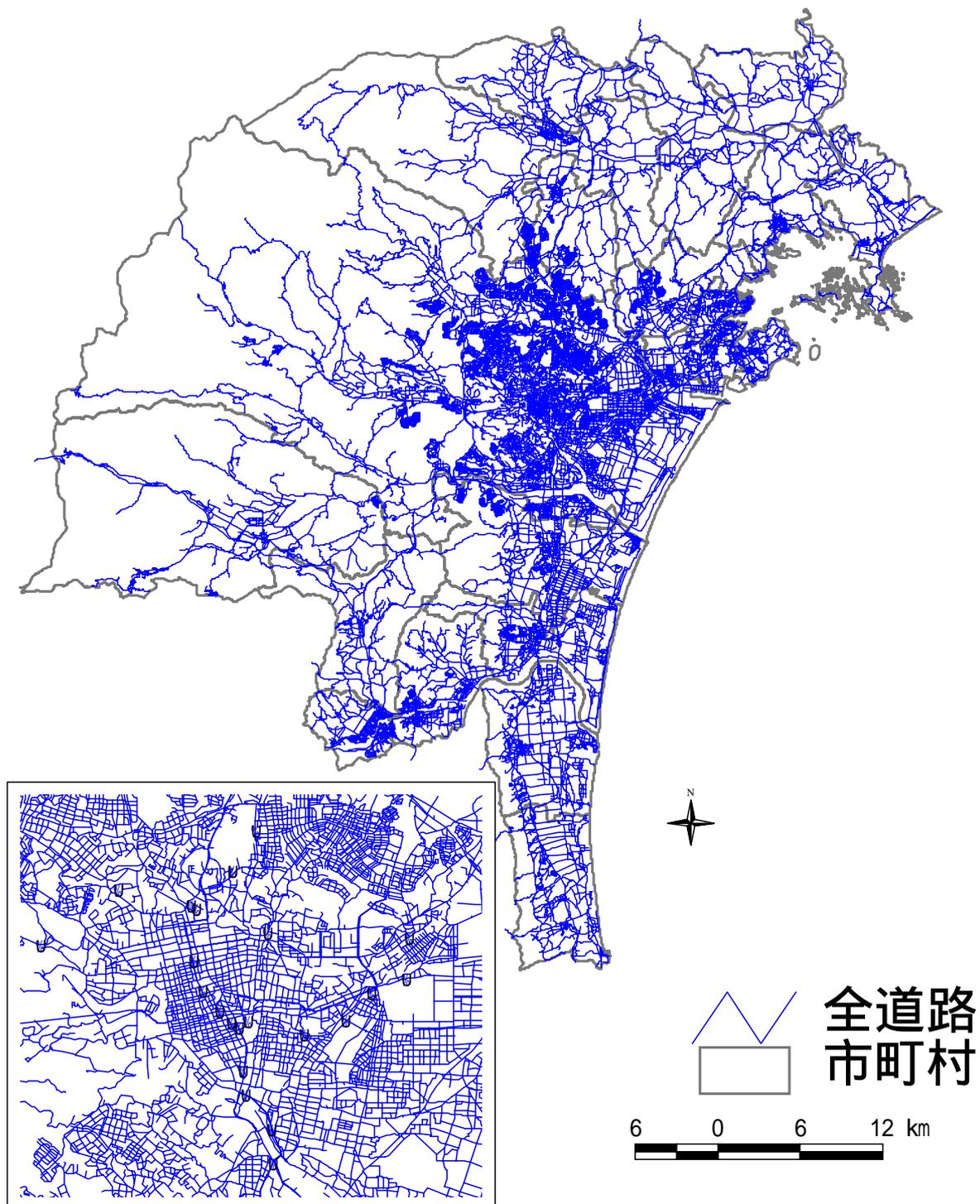


図5 - 3 全道路網図

自動車用ネットワーク

自動車用のネットワークは、徒歩用ネットワークから、県道、国道、その他の多車線道路を網羅するネットワークとした。

(3) 施設数と施設配置

施設近接性を計測するために設定した施設、および施設数は、下表のとおりである。

表5 - 3 施設数

施設名	施設数	備考
都心	1	仙台市役所とした
幼稚園	190	
小学校	229	
中学校	124	
総合病院	87	
鉄道駅	79	旅客輸送を行う鉄道駅
街区公園	1887	近隣公園、総合公園、運動公園等含む
大規模店舗	360	全国大型小売店総覧 2004 (東洋経済新報社) 店舗面積 1000 m ² 以上
避難地	2267	小中高校 + 高専 + 大学・短大 + 街区公園

5 - 3 - 4 . 施設近接性の整備結果

(1) 自動車による所要時間

都心 (仙台市役所)

自動車による都心までの所要時間を下図に示す。

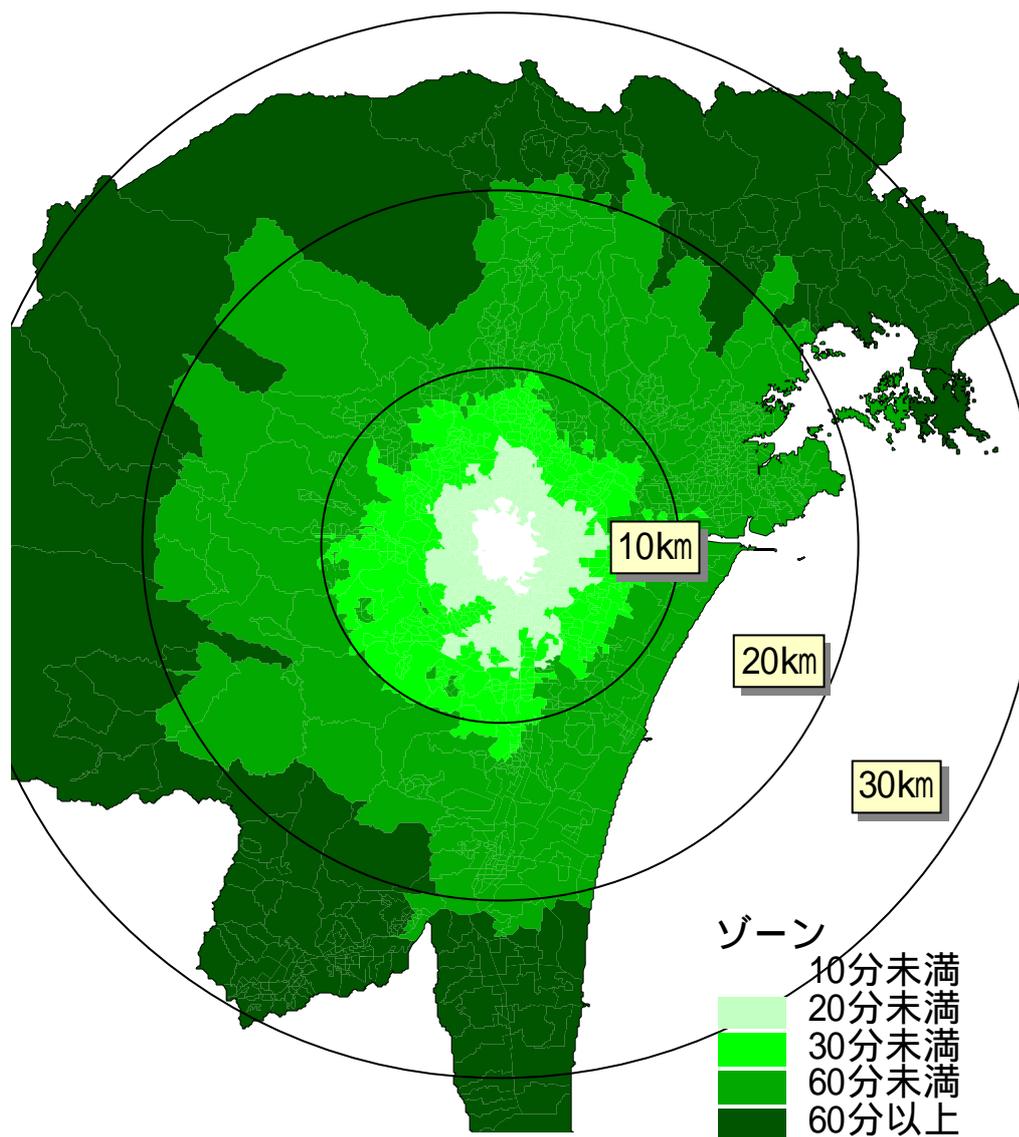


図 5 - 4 自動車による都心までの所要時間

総合病院

自動車による総合病院までの所要時間を下図に示す。

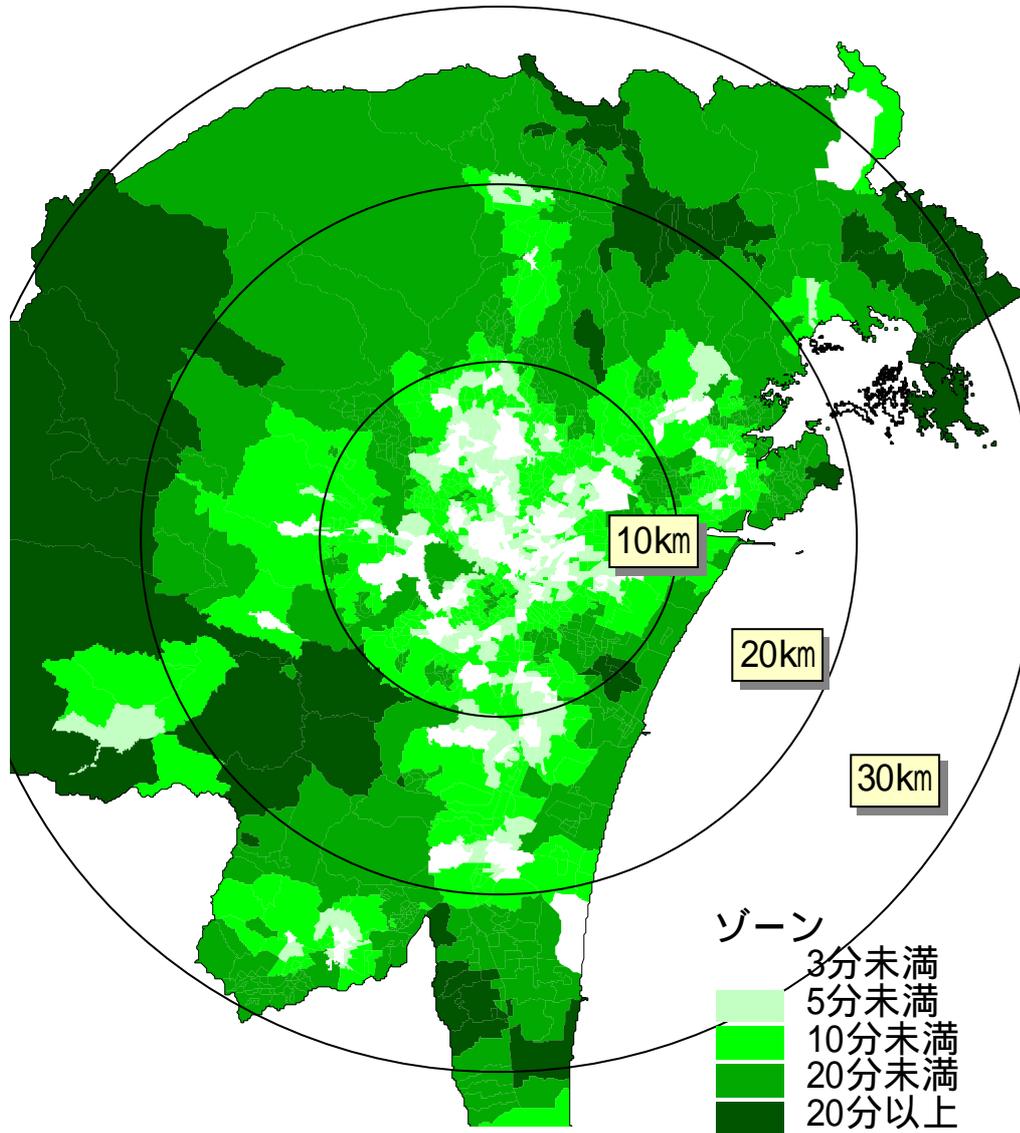


図5 - 5 自動車による総合病院までの所要時間

鉄道駅

自動車による鉄道駅までの所要時間を下図に示す。

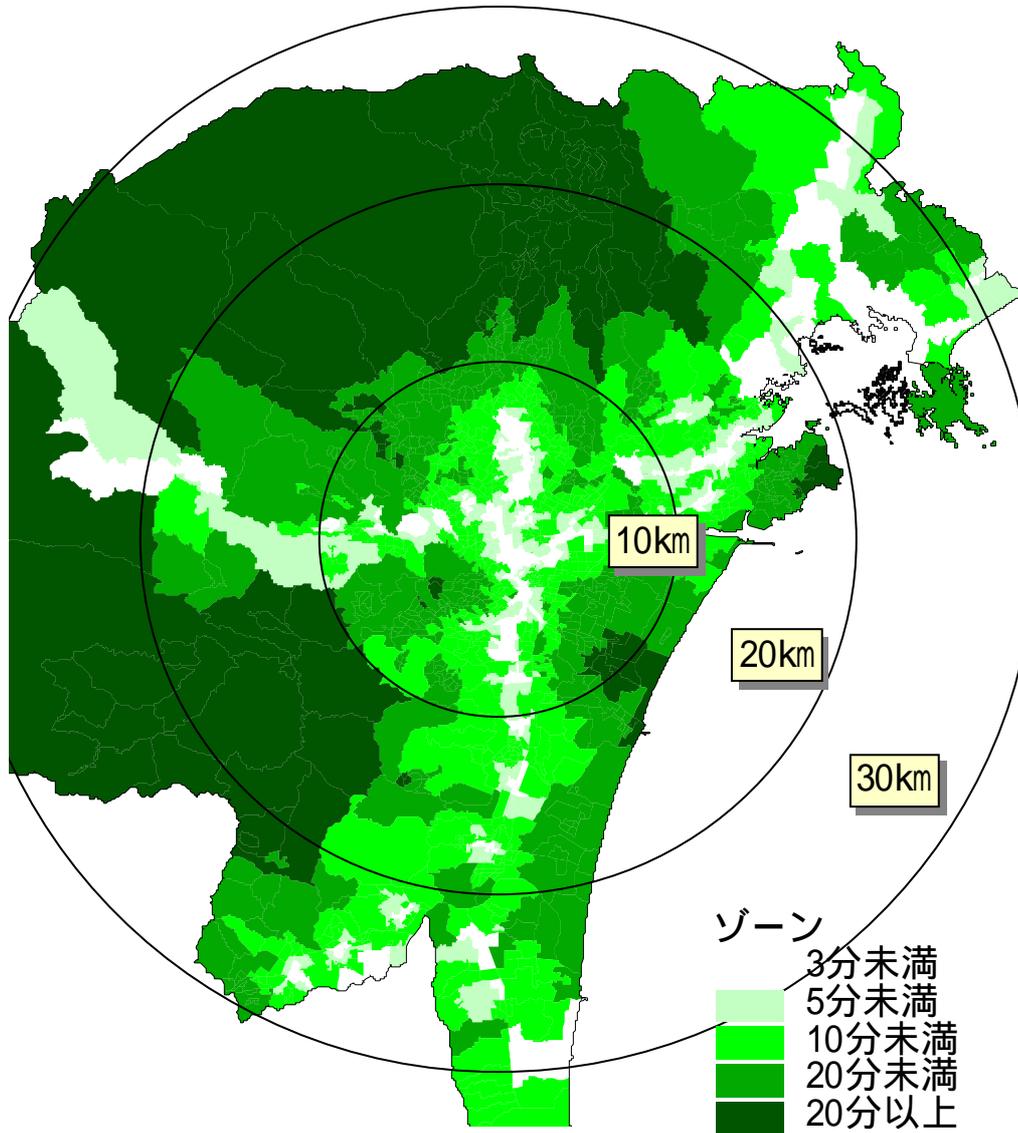


図5 - 6 自動車による鉄道駅までの所要時間

大規模店舗

自動車による大規模店舗までの所要時間を下図に示す。

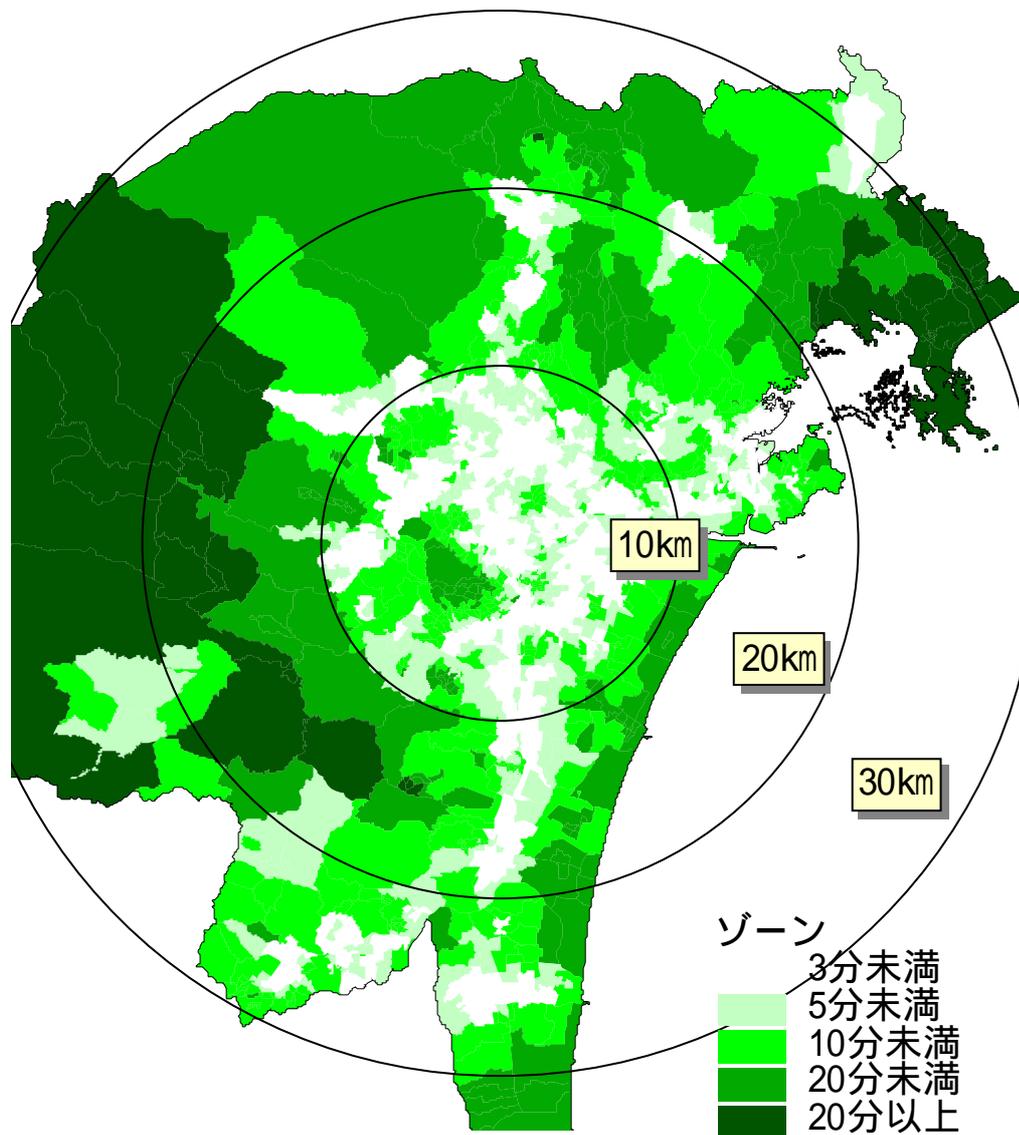


図5 - 7 自動車による大規模店舗までの所要時間

(2) 徒歩による所要時間

幼稚園

徒歩による幼稚園までの所要時間を下図に示す。

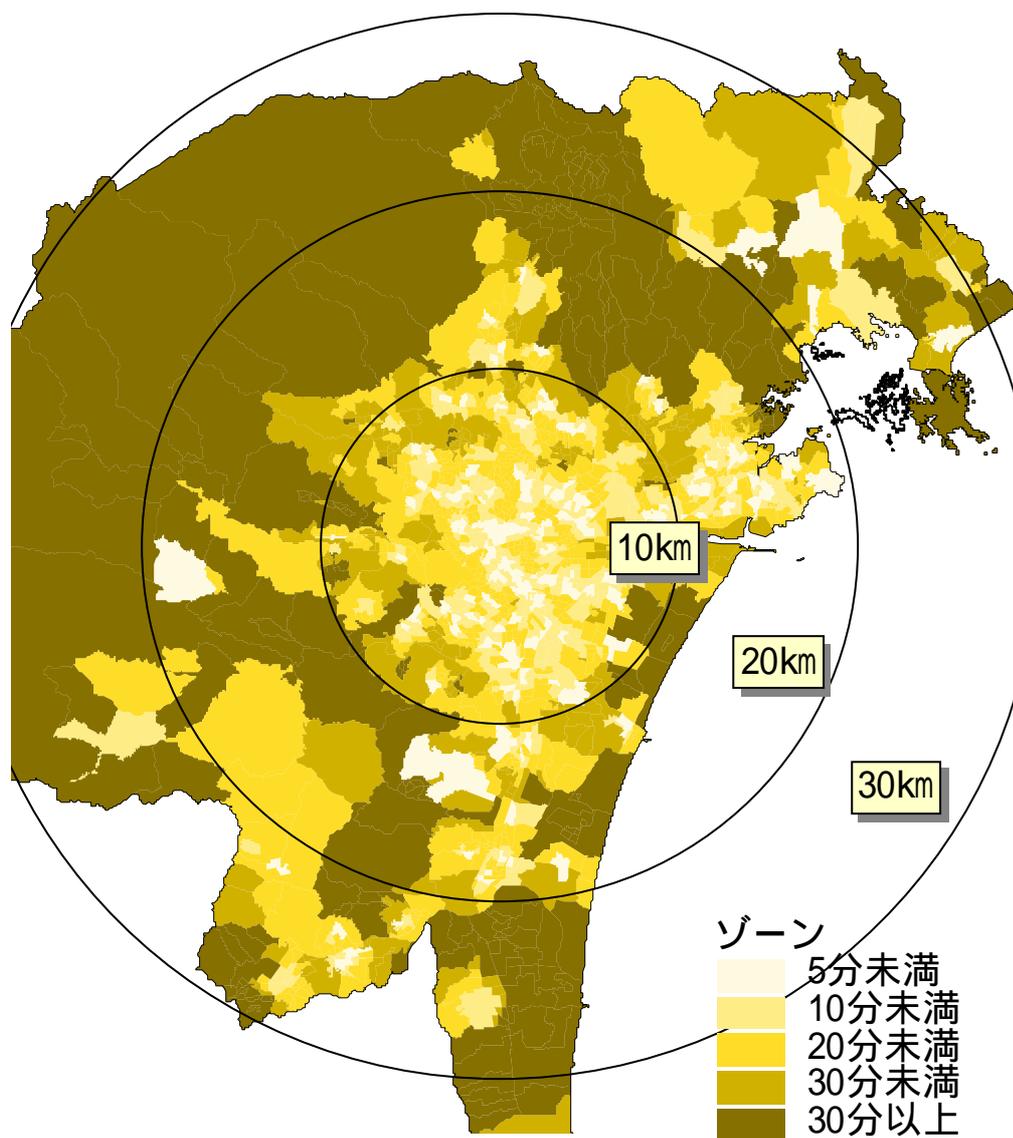


図5 - 8 徒歩による幼稚園までの所要時間

小学校

徒歩による小学校までの所要時間を下図に示す。

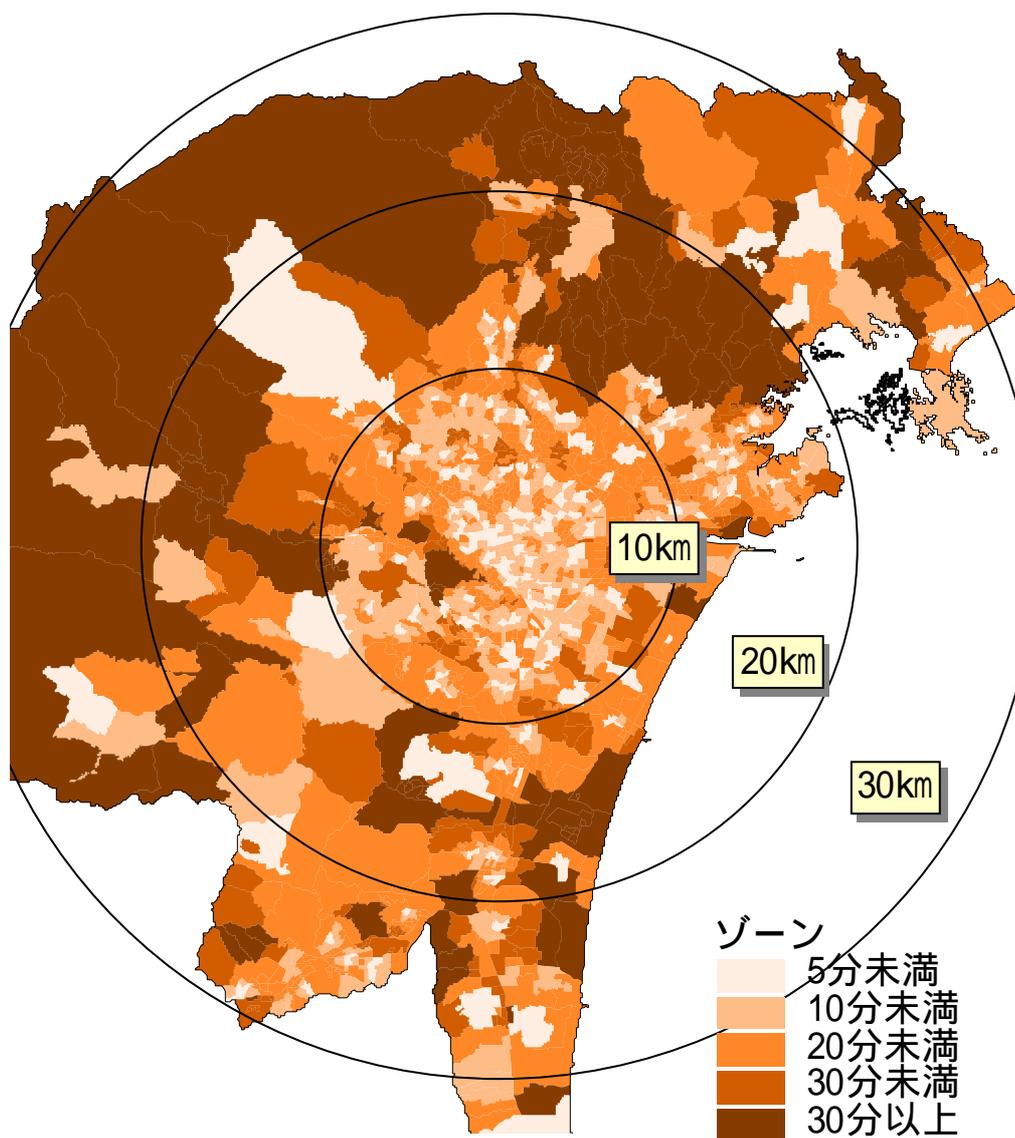


図5 - 9 徒歩による小学校までの所要時間

中学校

徒歩による中学校までの所要時間を下図に示す。

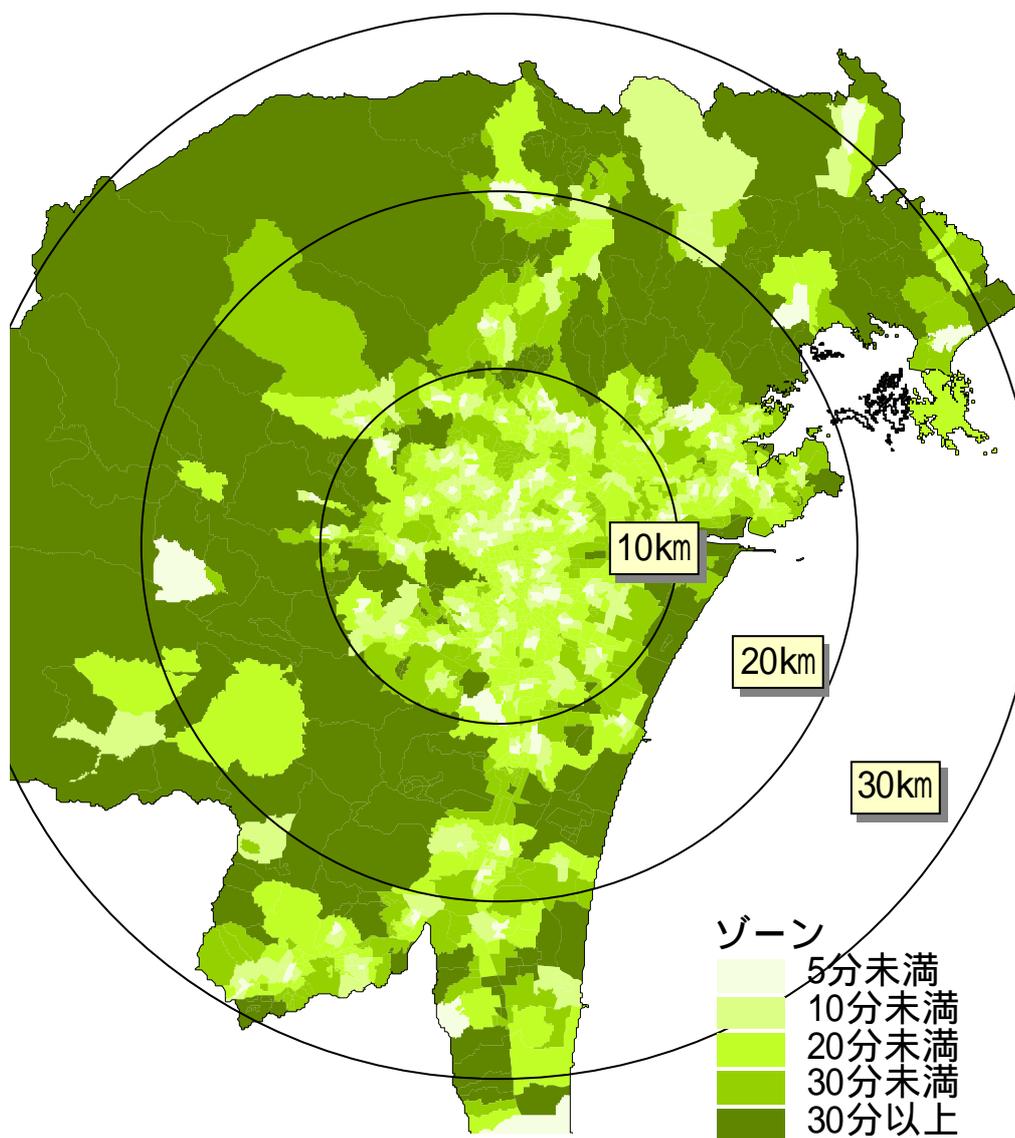


図5 - 10 徒歩による中学校までの所要時間

街区公園

徒歩による街区公園までの所要時間を下図に示す。

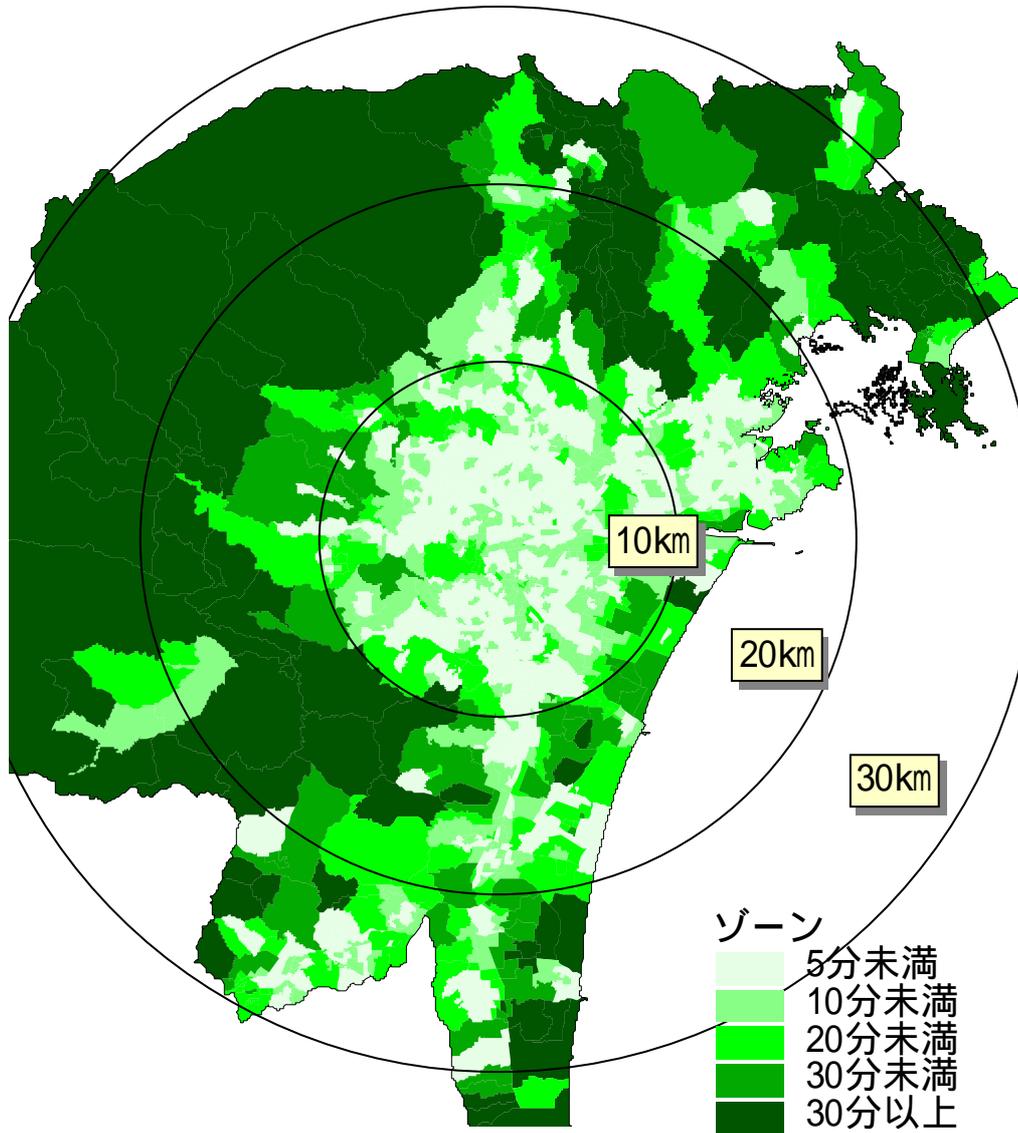


図5 - 11 徒歩による街区公園までの所要時間

避難地

徒歩による避難地までの所要時間を下図に示す。

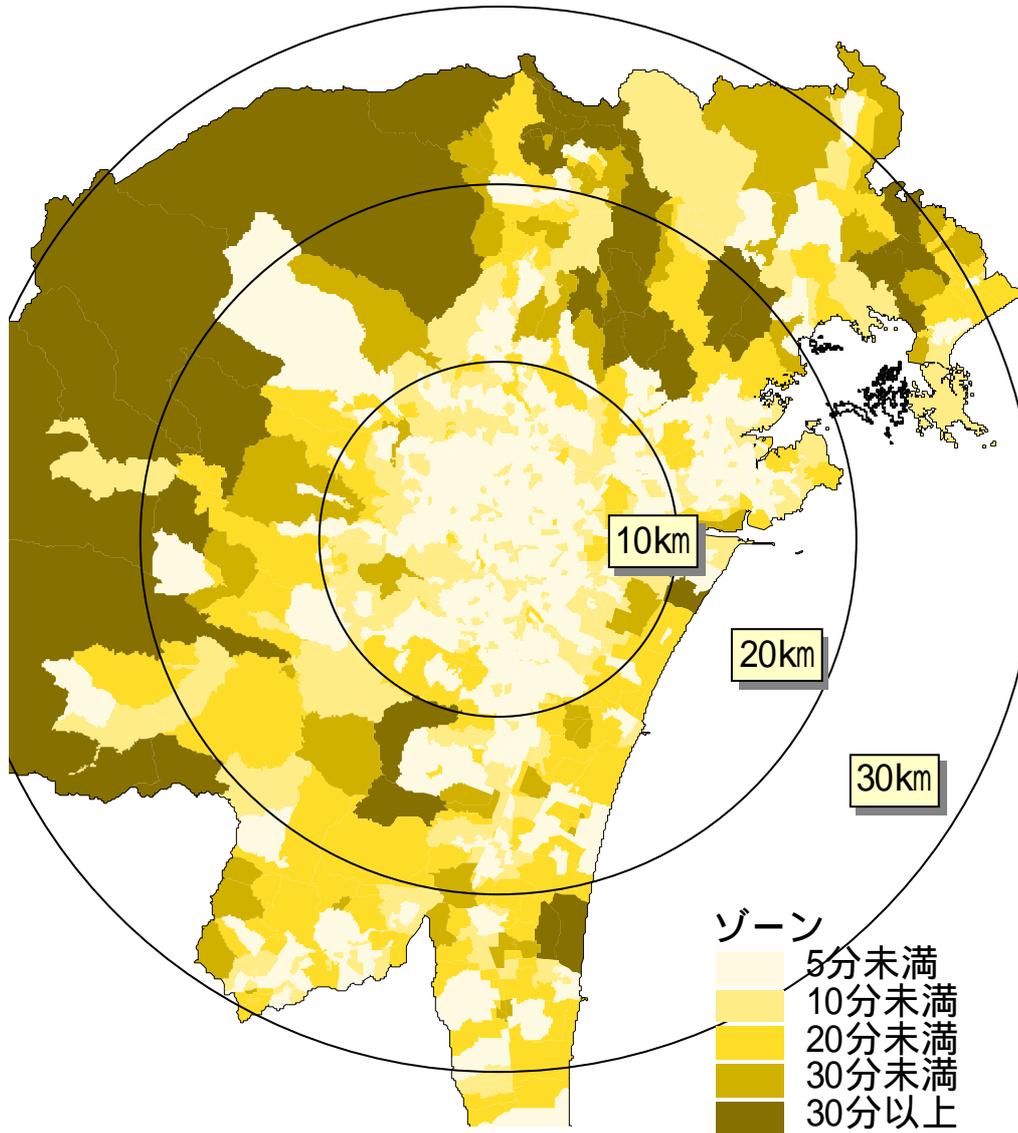


図5 - 12 徒歩による避難地までの所要時間

5 3 - 5 . 水辺までの距離

1/200,000 地勢図に表示されている河川（堀含む）への距離を算定した。

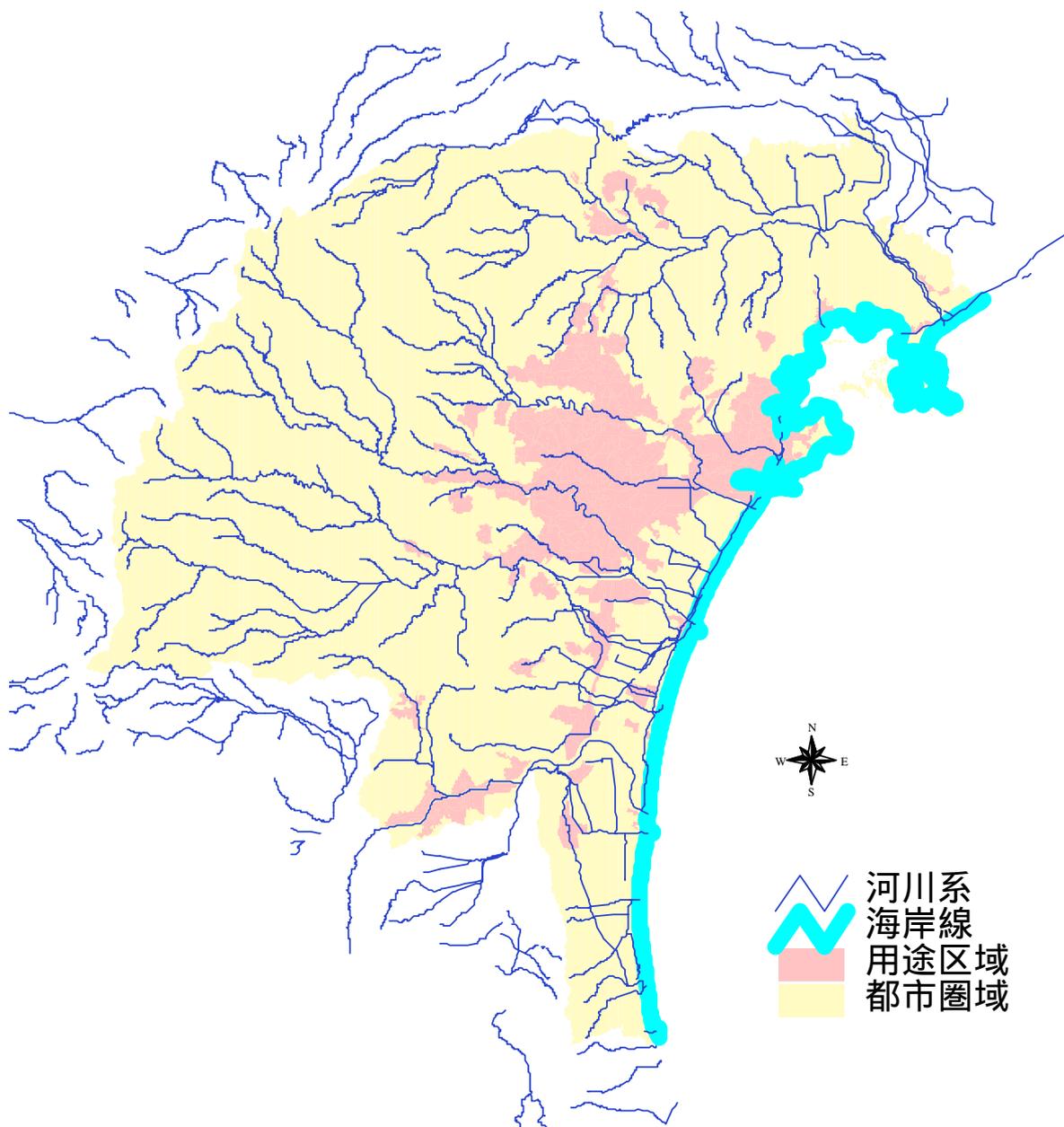


図 5 - 13 都市圏の水系（河川及び海岸線）

河川までの距離を、下図のように整理した。

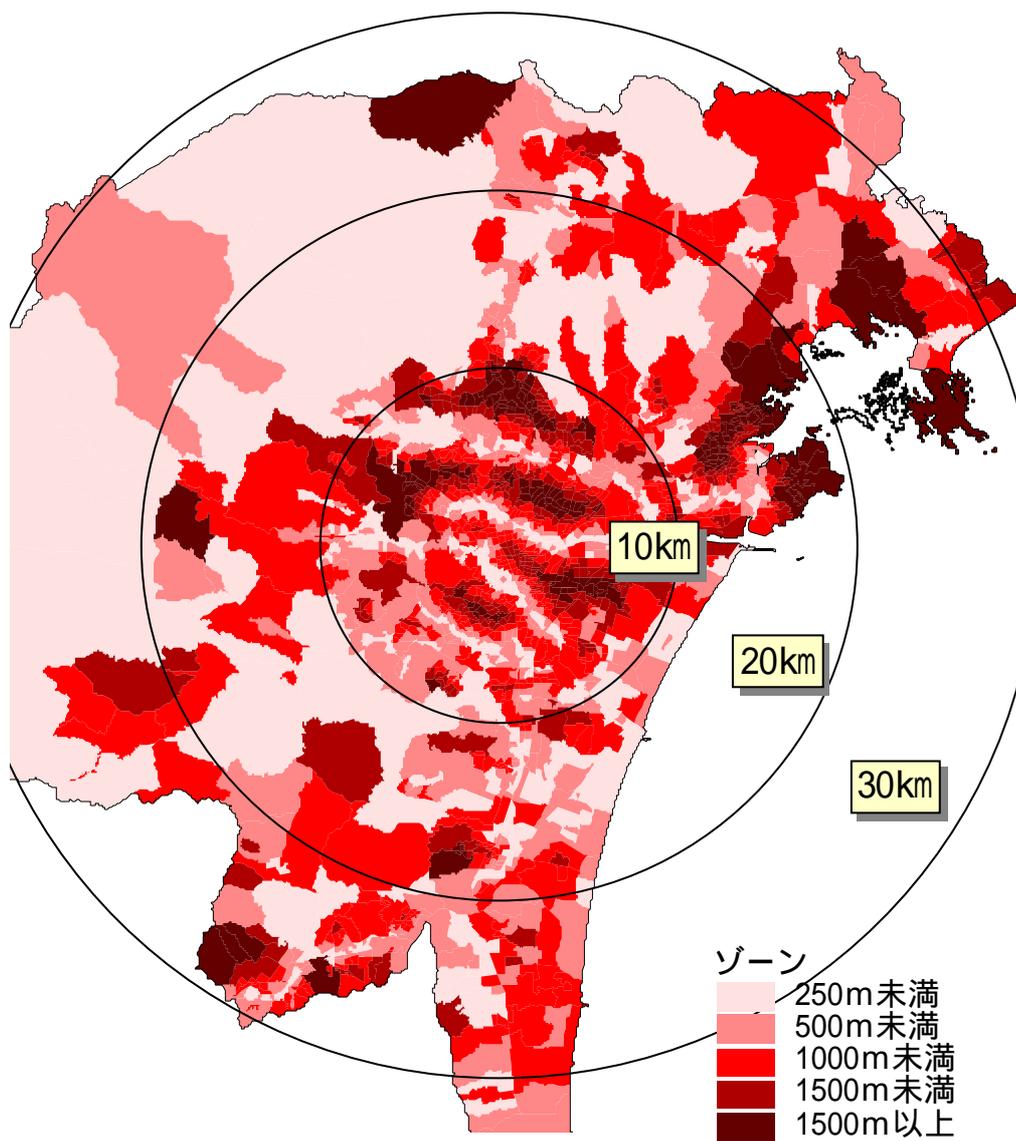


図5 - 14 河川までの距離

河川または海岸までの最寄り推計までの距離は、下図のように整理した。

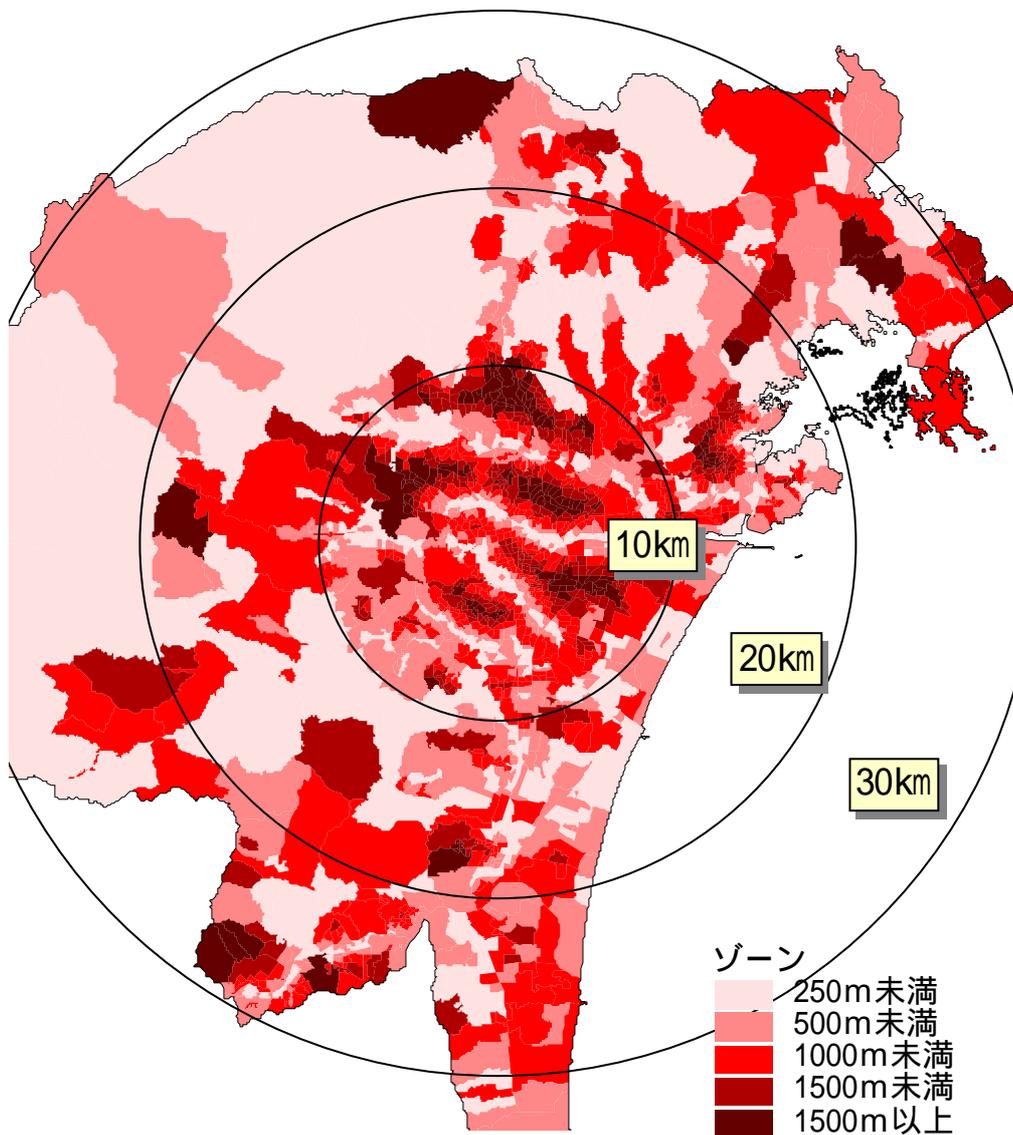


図5 - 15 最寄り水系（河川、海岸線）までの距離

5 - 3 - 6 . 交通データ

(1) 交通データ

バス停と運行本数について、下図のように整理した。

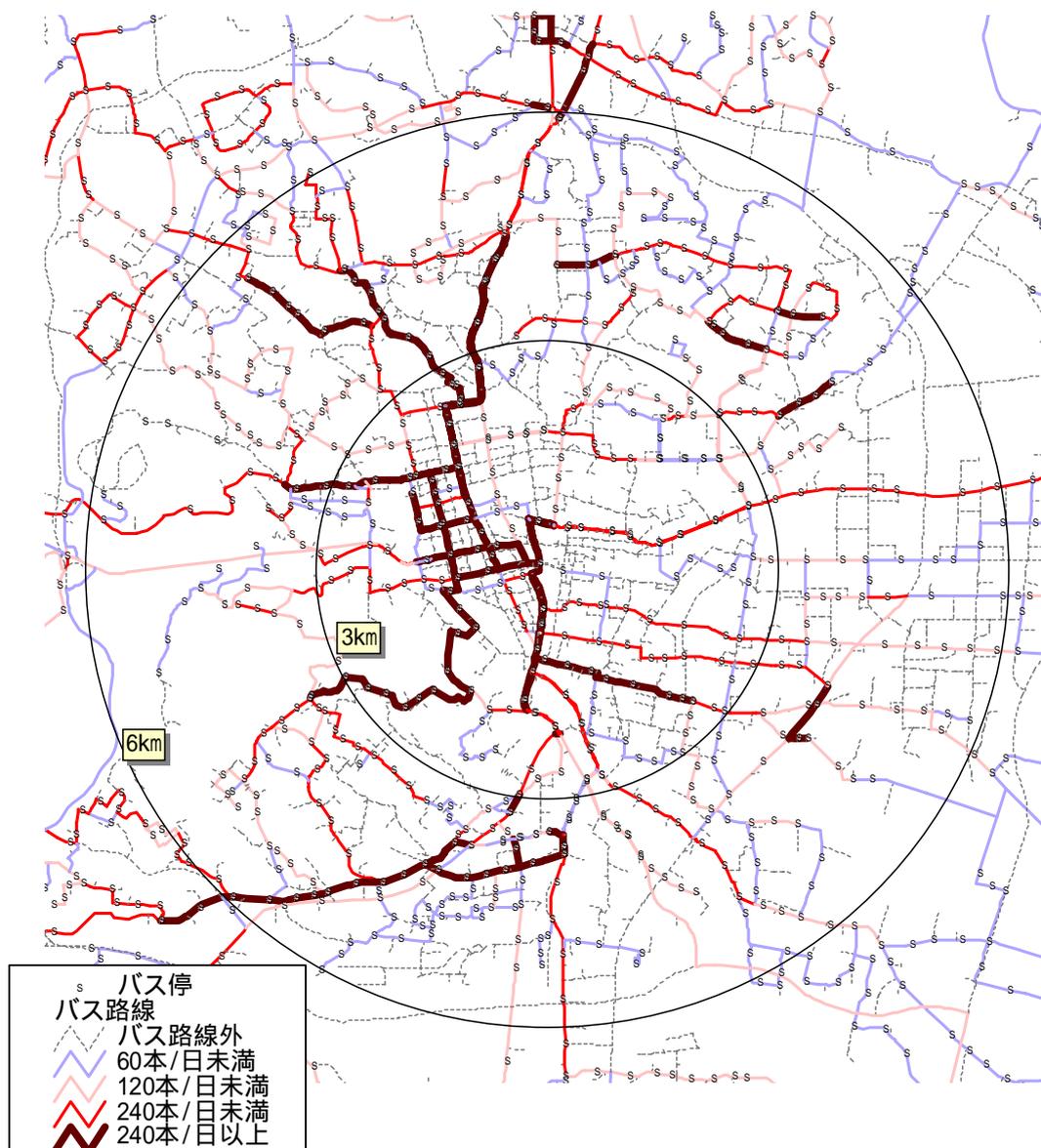


図 5 - 16 バス停と運行本数

(2) データの整理

道路密度

道路密度について、下図に示した。

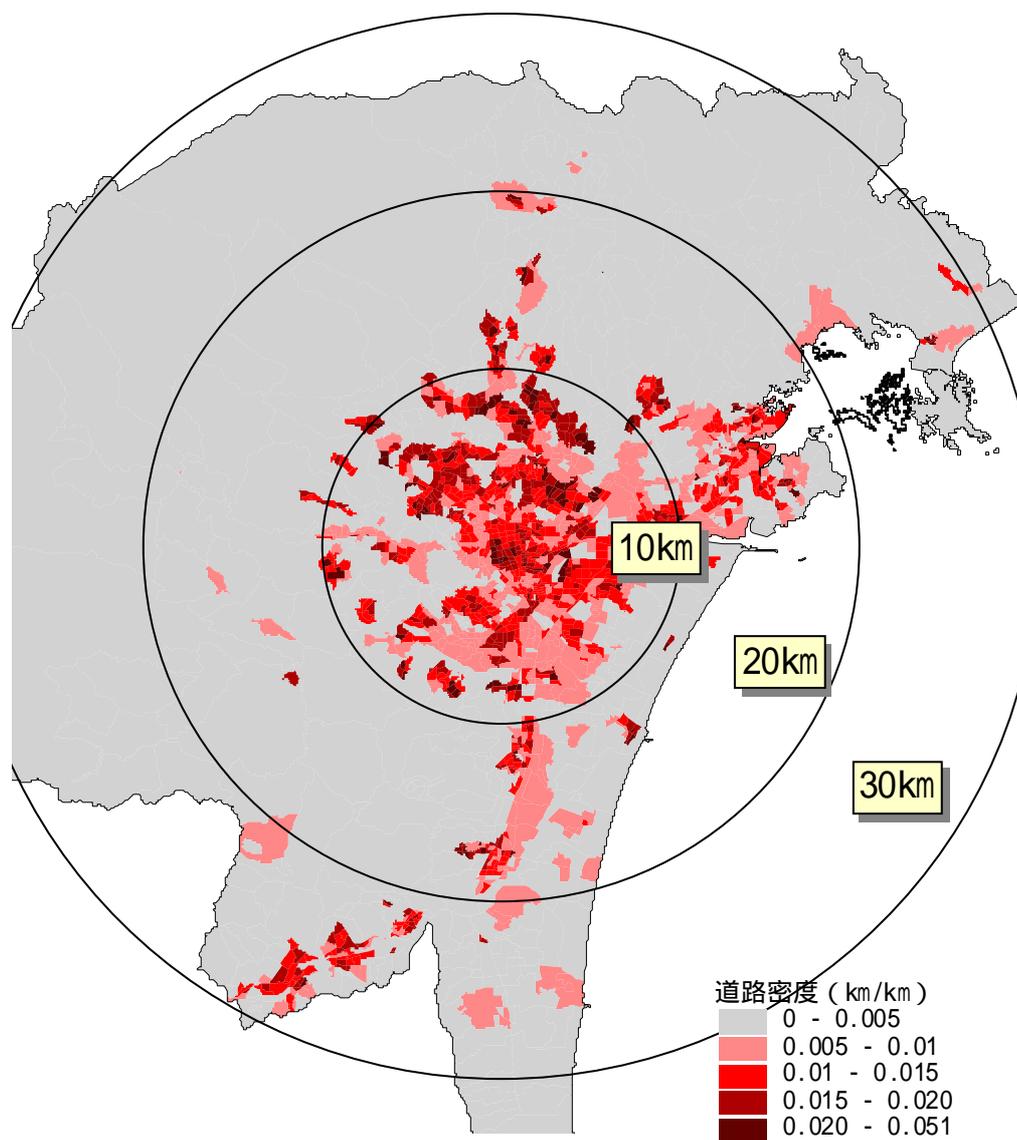


図5 - 17 道路密度

バス利便性

バスの利便性について、下図に示した。

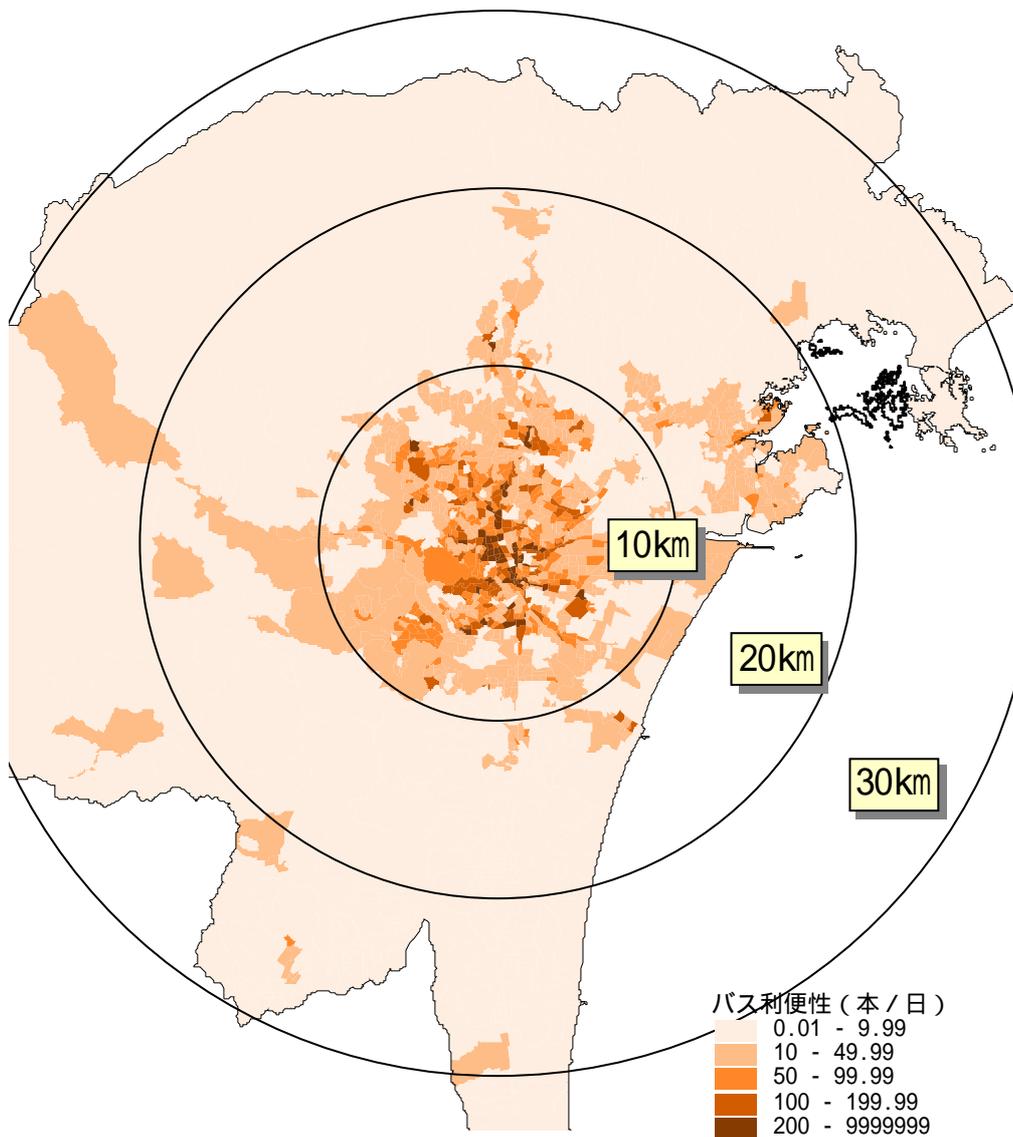


図 5 - 18 バス利便性

5 - 3 - 7 . その他データ

(1) 標高

標高について、下図に示した。

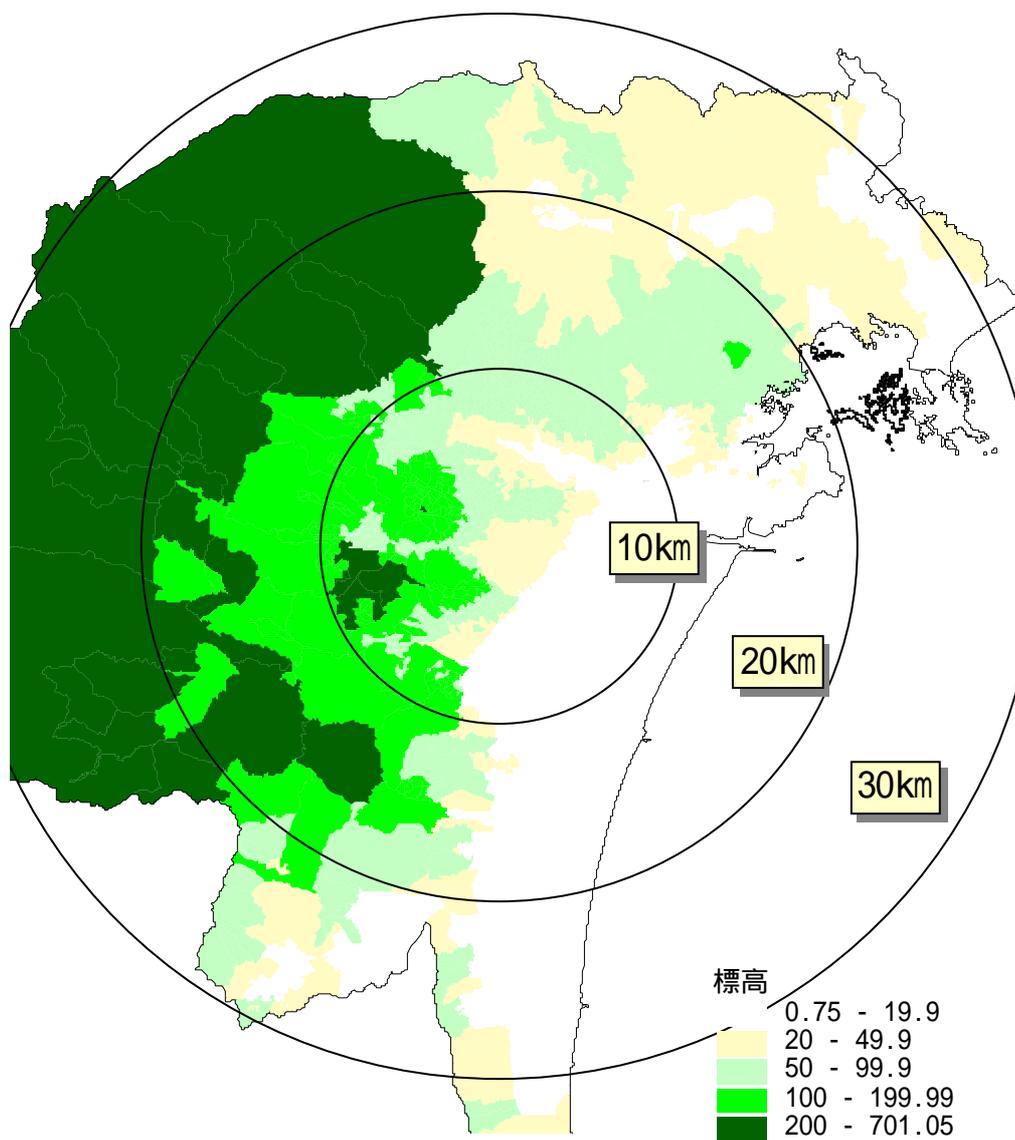


図 5 - 19 標高

(2) 人口密度

人口密度について、下図に示した。

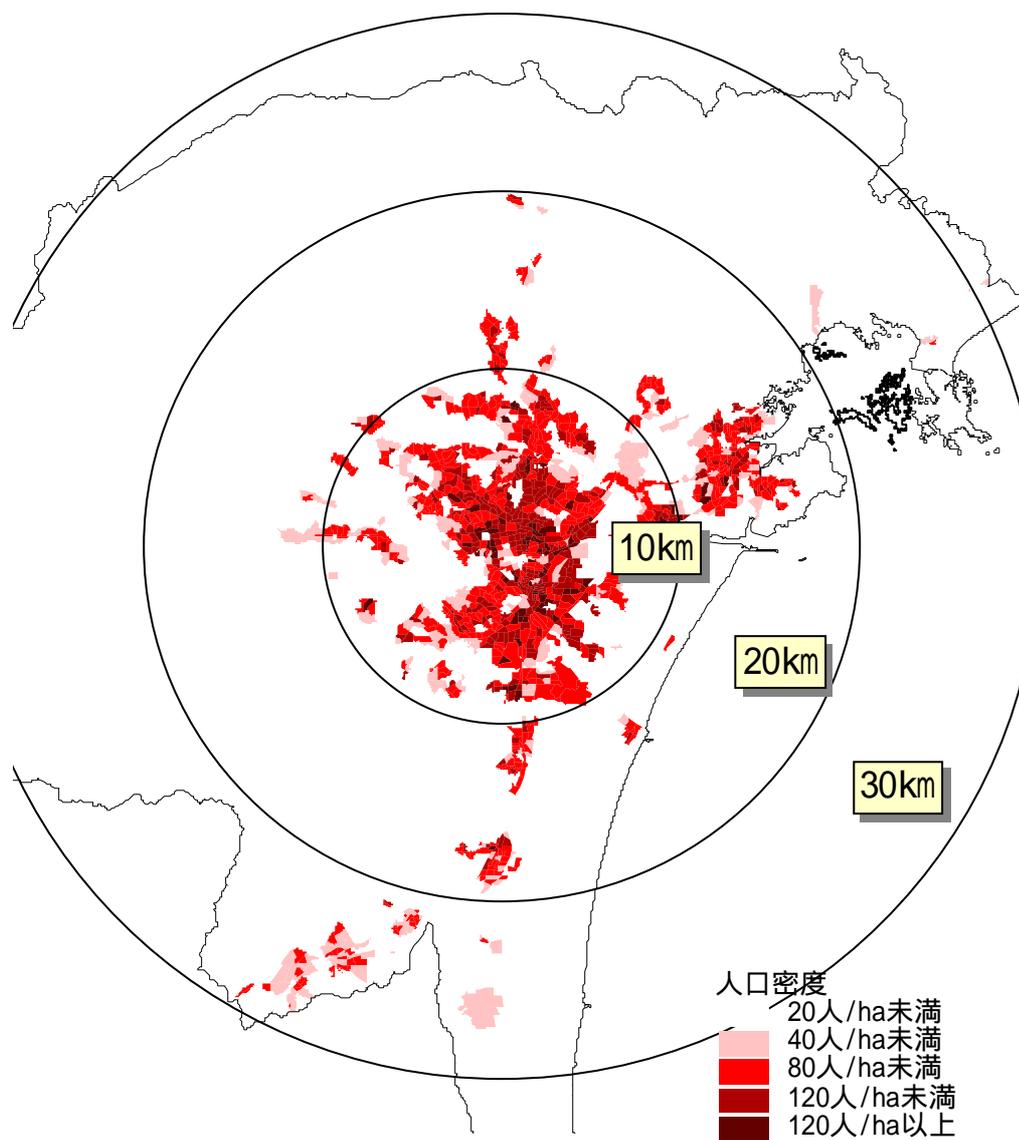


図5 - 20 人口密度

5 - 4 . モデル構築

(1) モデル構築のステップ

モデル構築は、予め主成分分析を行って、潜在変数となる因子の分析を行う。この因子（潜在変数）を手がかりに、共分散構造モデルを構築した。

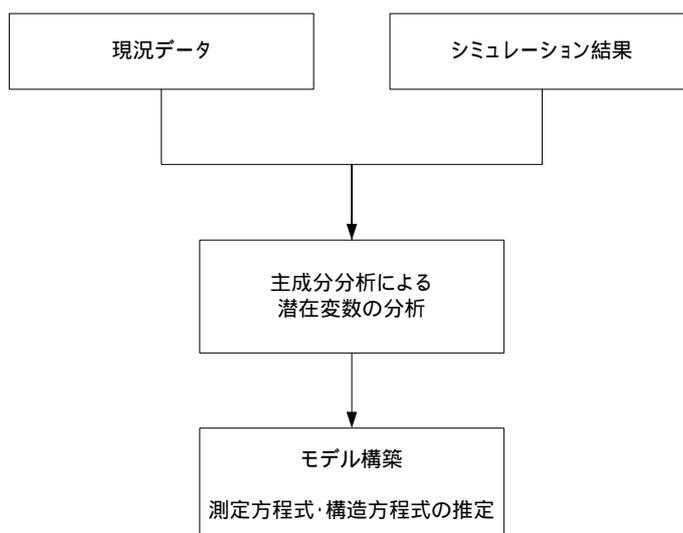


図 5 - 21 モデル推定のステップ

(2) モデルの推定結果

主成分分析による潜在変数の分析

まず、個人の意識構造を把握するため、居住満足度に対して主成分分析を行った結果、生活の質を表す以下の5つの潜在変数を確定した。

「安全性」「近接性」「移動性」「居住性」「快適性」

表5 - 4 主成分負荷量

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分	第5主成分
買物の便利さ	0.017	-0.751	-0.173	-0.021	-0.080
通勤通学の便利さ	0.062	-0.753	-0.120	-0.073	0.094
郵便局銀行近さ	0.058	-0.790	-0.094	-0.004	-0.096
医療福祉近さ	0.092	-0.789	-0.131	-0.017	-0.163
公共交通の便	0.075	-0.754	-0.141	-0.008	0.030
自動車使いやすさ	0.257	-0.194	-0.593	-0.249	-0.050
自転車乗りやすさ	0.090	-0.213	-0.859	-0.058	-0.054
歩きやすさ	0.164	-0.198	-0.844	-0.080	-0.152
街並みのよさ	0.264	-0.193	-0.490	-0.322	-0.321
住宅庭のゆとり	0.206	-0.015	-0.205	-0.784	-0.200
日当たり風通し	0.140	-0.051	-0.122	-0.848	-0.122
騒音振動が少ない	0.460	0.065	0.009	-0.235	-0.485
身近な自然環境	0.246	0.118	-0.085	-0.313	-0.725
スポーツ等	0.137	-0.283	-0.217	-0.019	-0.731
衛生状況	0.521	-0.203	-0.138	-0.115	-0.385
交通事故	0.688	0.034	-0.272	-0.052	-0.279
災害安全性	0.791	-0.085	-0.107	-0.139	-0.097
地区の防犯	0.764	-0.134	-0.156	-0.138	-0.046
固有値	5.740	2.766	1.251	1.050	0.836
累積寄与率(%)	31.886	47.255	54.205	60.038	64.680
解釈	安全性	近接性	移動性	居住性	快適性

共分散構造モデル

居住満足度を施設の近接性などの環境特性との因果関係を設定し、共分散構造モデルを推定した。モデル確定に至るまでは、モデル構成の再設定と推定を繰り返し行った。最終的に下表のパラメータ（構造方程式）が推定された。（なお、測定方程式は評価には用いないため記していない）

環境を表す指標として、代理変数の「台キ口」の組み込みを検討したが、最終的に有意（t 値）な変数にはならなかった。

表 5 - 5 生活の質モデル（構造方程式）のパラメータ

	安全性	近接性	移動性	居住性	快適性
河川までの距離 (km)	0.071	-	-	-	-
海岸までの距離 (km)	0.100	-	-	-	-
避難場所までの所要時間 (分)	-0.039	-	-	-	-
都心までの距離 (km) の対数	-	-0.068	-	-	-
小学校までの所要時間 (分)	-	-0.026	-	-	-
中学校までの所要時間 (分)	-	-0.044	-	-	-
病院までの所要時間 (分)	-	-0.086	-	-	-
大型店までの所要時間 (分)	-	-0.096	-	-	-
鉄道駅までの所要時間 (分)	-	-0.101	-	-	-
バスの利便性 (本/分)	-	0.033	-	-	-
道路網密度 (km/km ²)	-	-	0.072	-	-
農地面積シェア (%)	-	-	-	0.058	-
森林面積シェア (%)	-	-	-	0.071	-
標高 (m)	-	-	-	-	0.107
夜間人口密度 (人/ha)	-	-	-	-	-0.071
従業者数密度 (人/ha)	-	-	-	-	-0.093
住みやすさ (居住満足度)	0.251	0.563	0.108	0.145	0.264

5 - 5 . シミュレーションによる評価

(1) 評価方法

推定されたモデルパラメータにより、潜在変数の地域別評価を行い、さらに、夜間人口を加味して評価を行った。

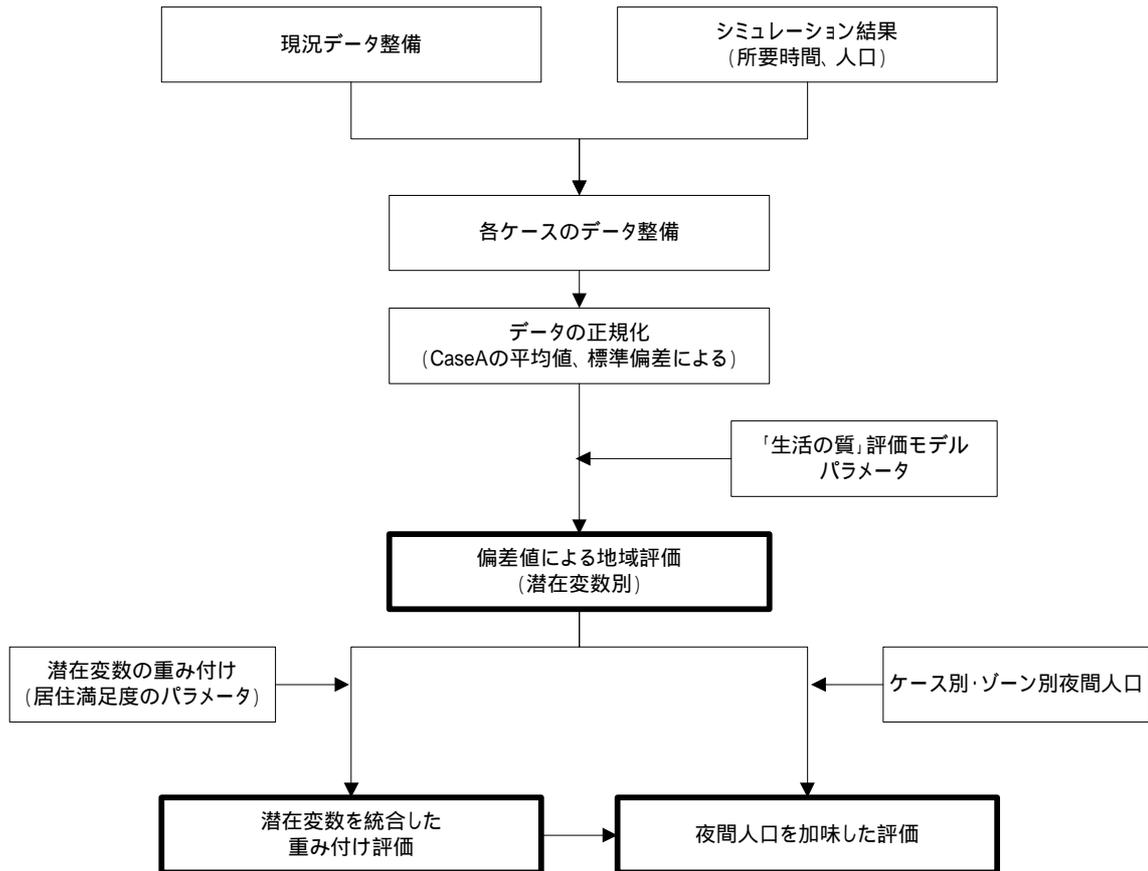


図 5 - 22 評価フロー

(2) シミュレーション結果

現況の評価結果

安全性は、海岸や河川から離れた地域で高い評価となっている。

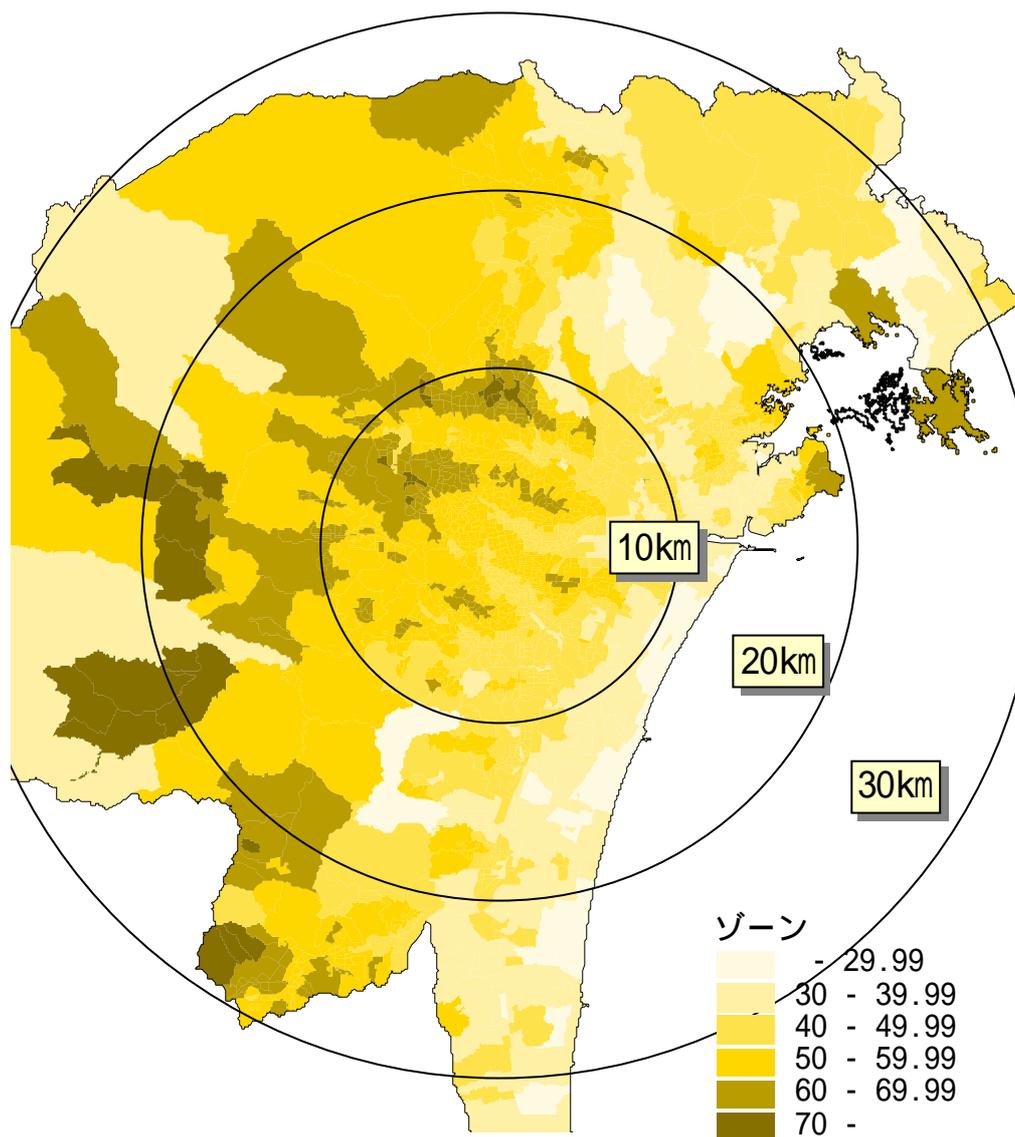


図5 - 23 シミュレーション結果 (現況・安全性)

近接性は、各施設へのアクセスが容易な都心などの市街地部で評価が高くなっている。

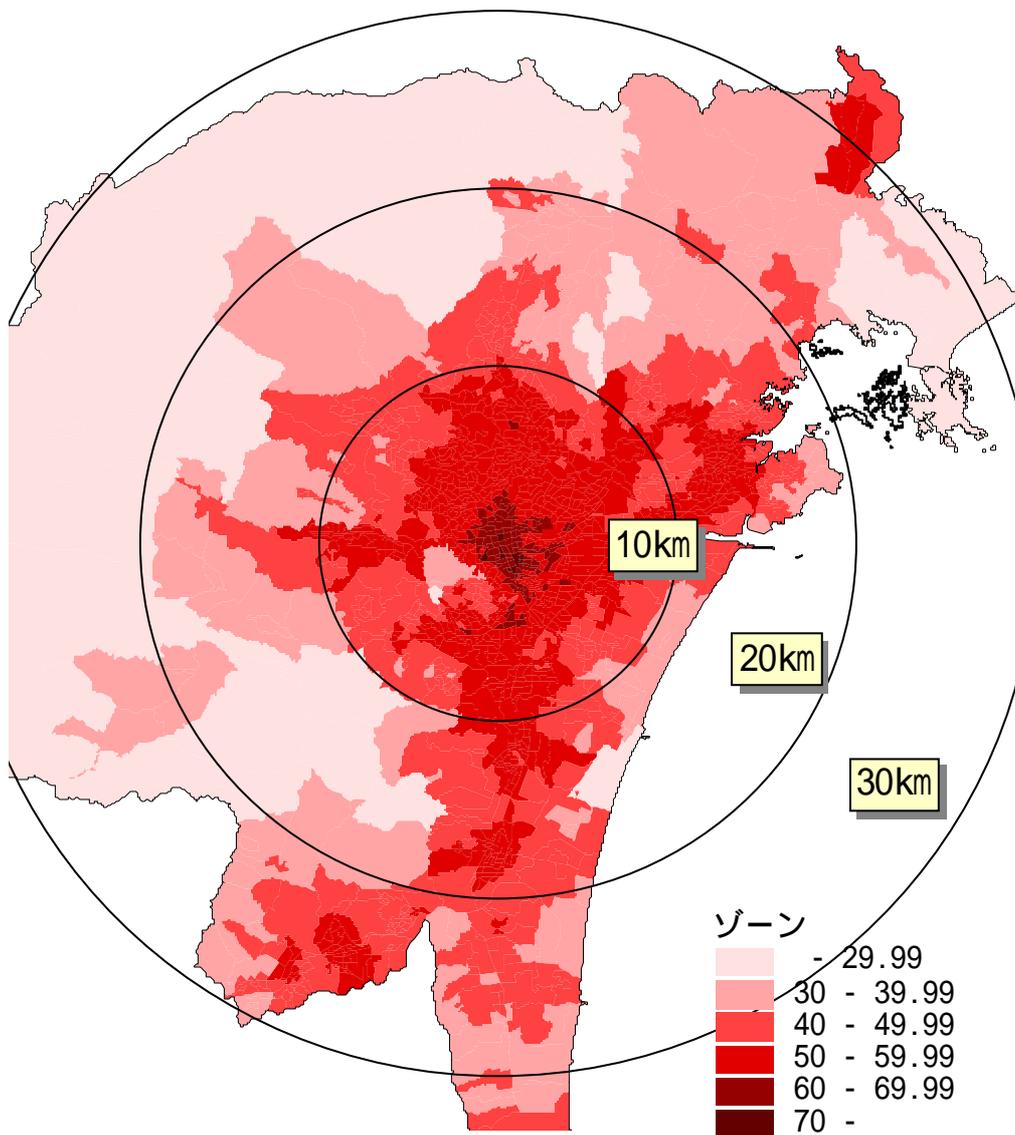


図5 - 24 シミュレーション結果（現況・近接性）

移動性は、近接性と同様に、交通施設が整備された都心などの市街地部で評価が高くなっている。

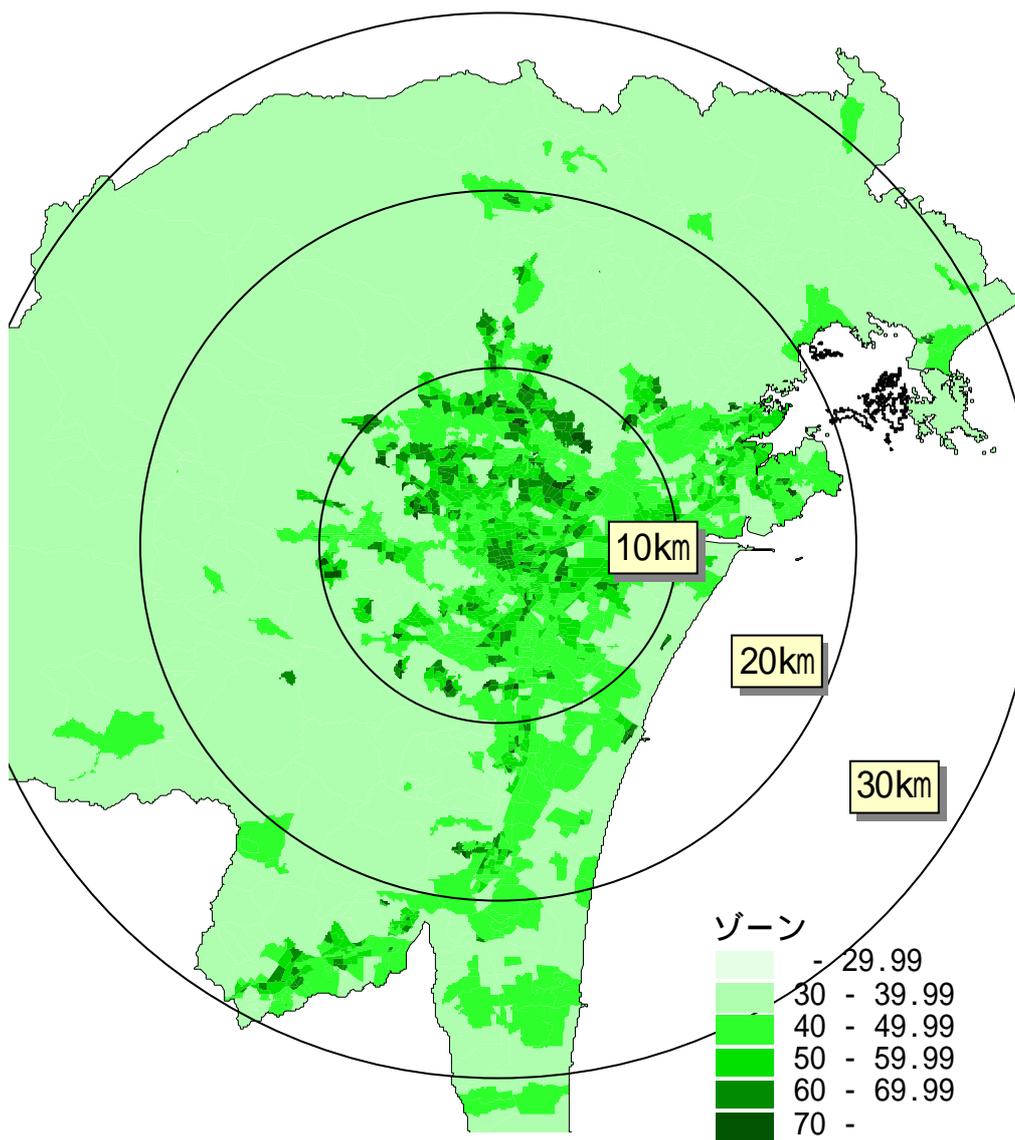


図5 - 25 シミュレーション結果（現況・移動性）

居住性は、市街地を取り囲む地域、すなわち郊外で評価が高くなっている。

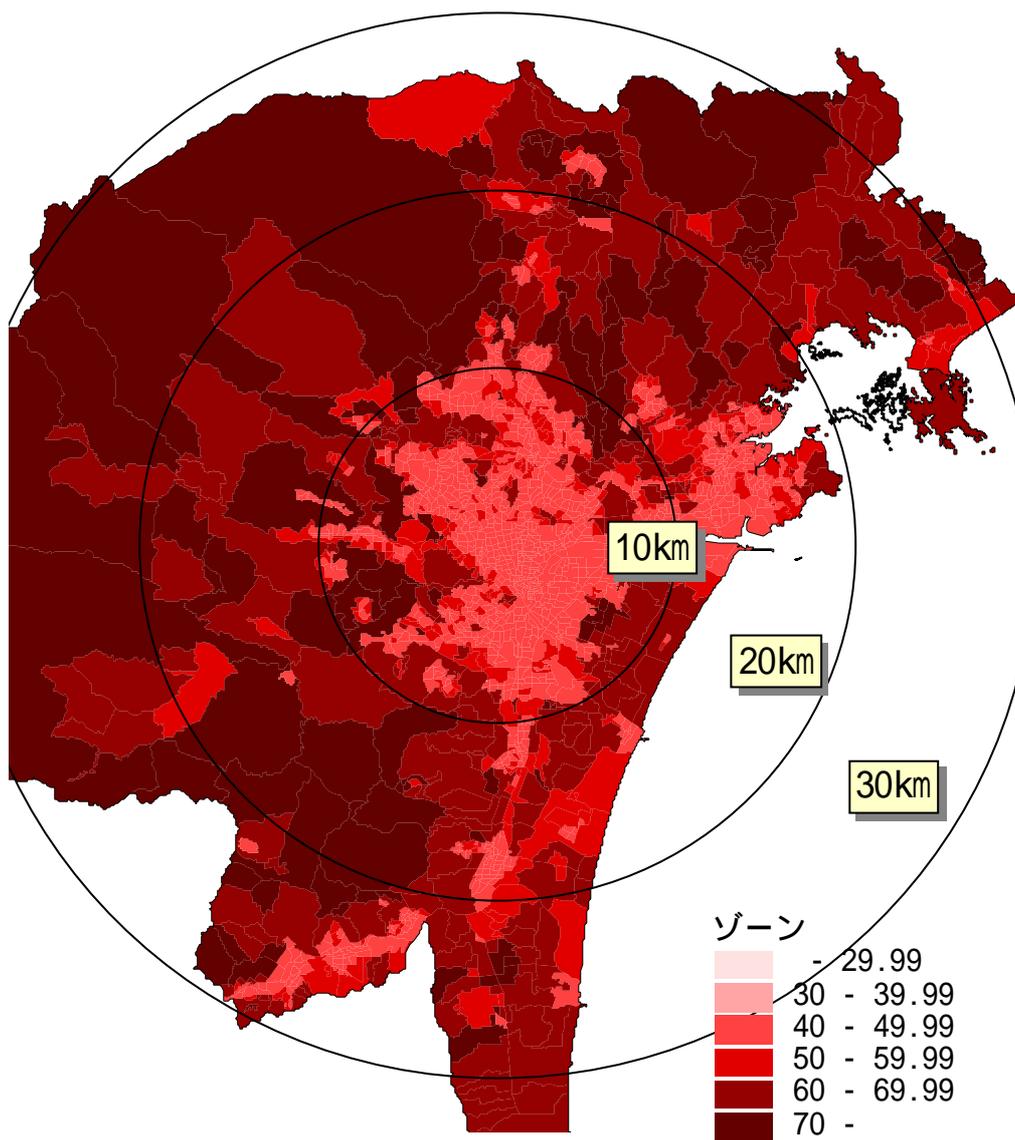


図5 - 26 シミュレーション結果（現況・居住性）

快適性も、居住性と同様に、郊外部で高く、特に自然的な土地利用が広がる山間部で評価が高くなっている。

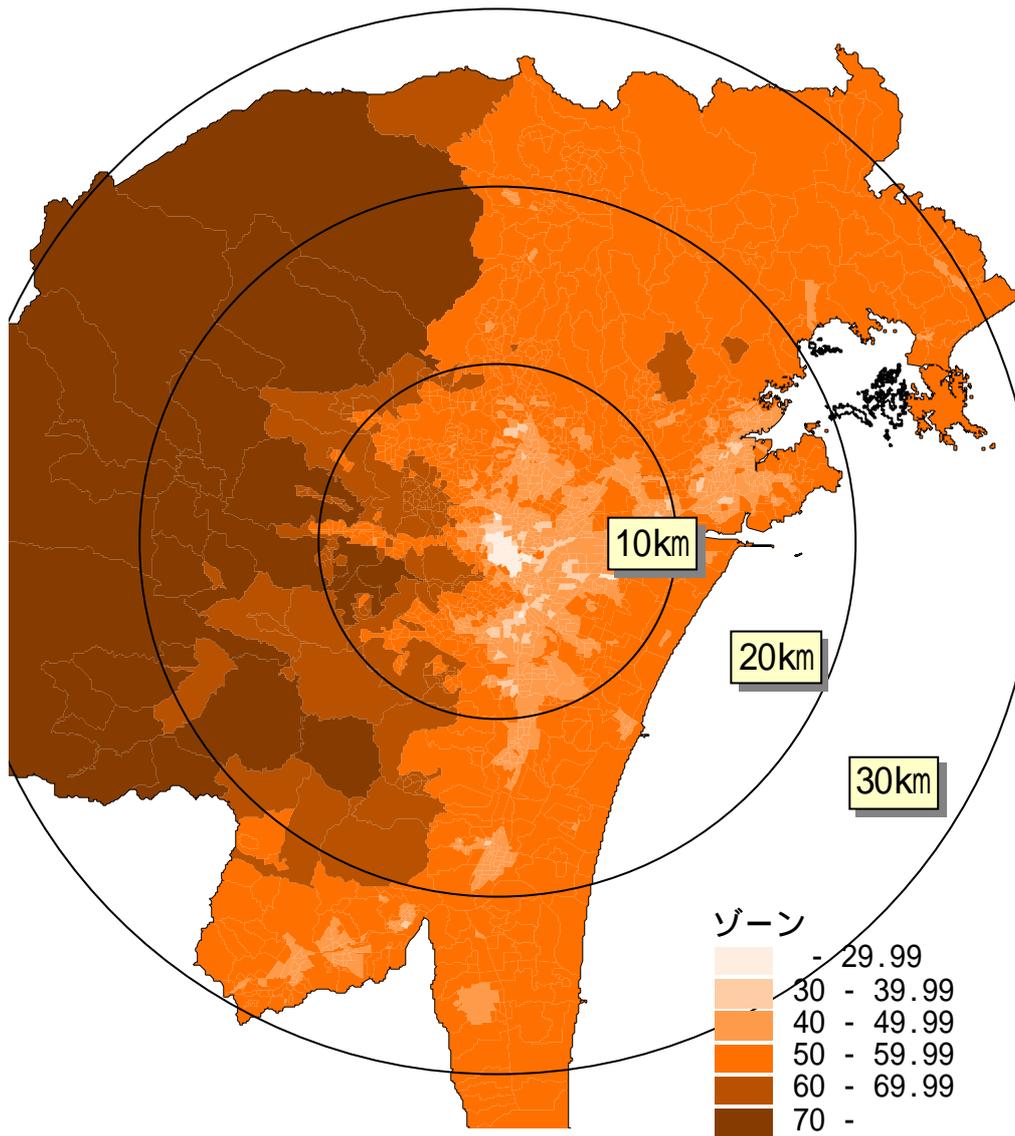


図5 - 27 シミュレーション結果（現況・快適性）

居住満足度の重み付け（パラメータ）で、5つの潜在変数を統合して評価すると、市街地部とともに自然地に隣接する地域で評価が高くなっている。

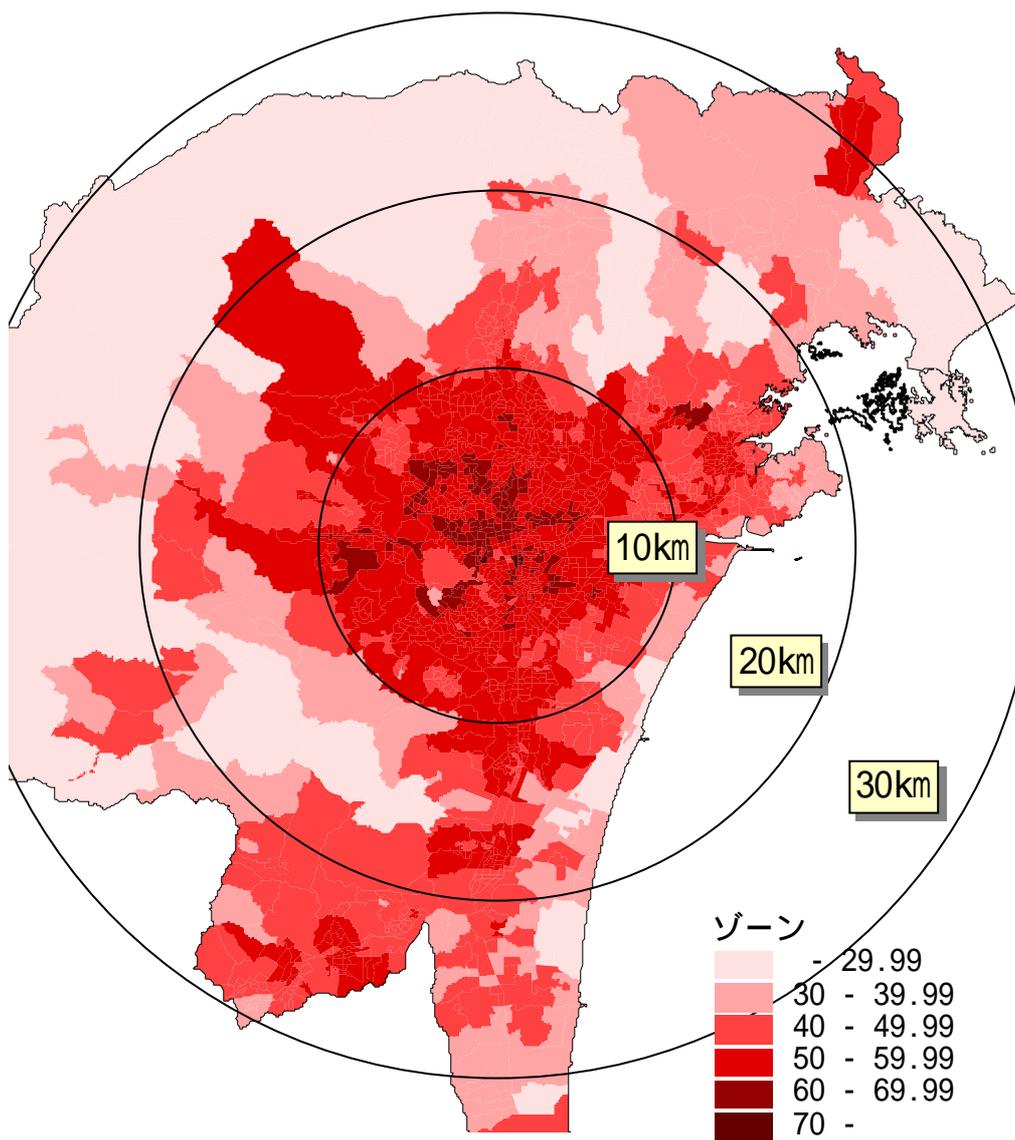


図5 - 28 シミュレーション結果（現況・重み付け評価）

将来の評価結果

Case A（趨勢型）の重み付け評価は、現況と同様に、市街地部とともに自然地に隣接する地域で評価が高くなっている。

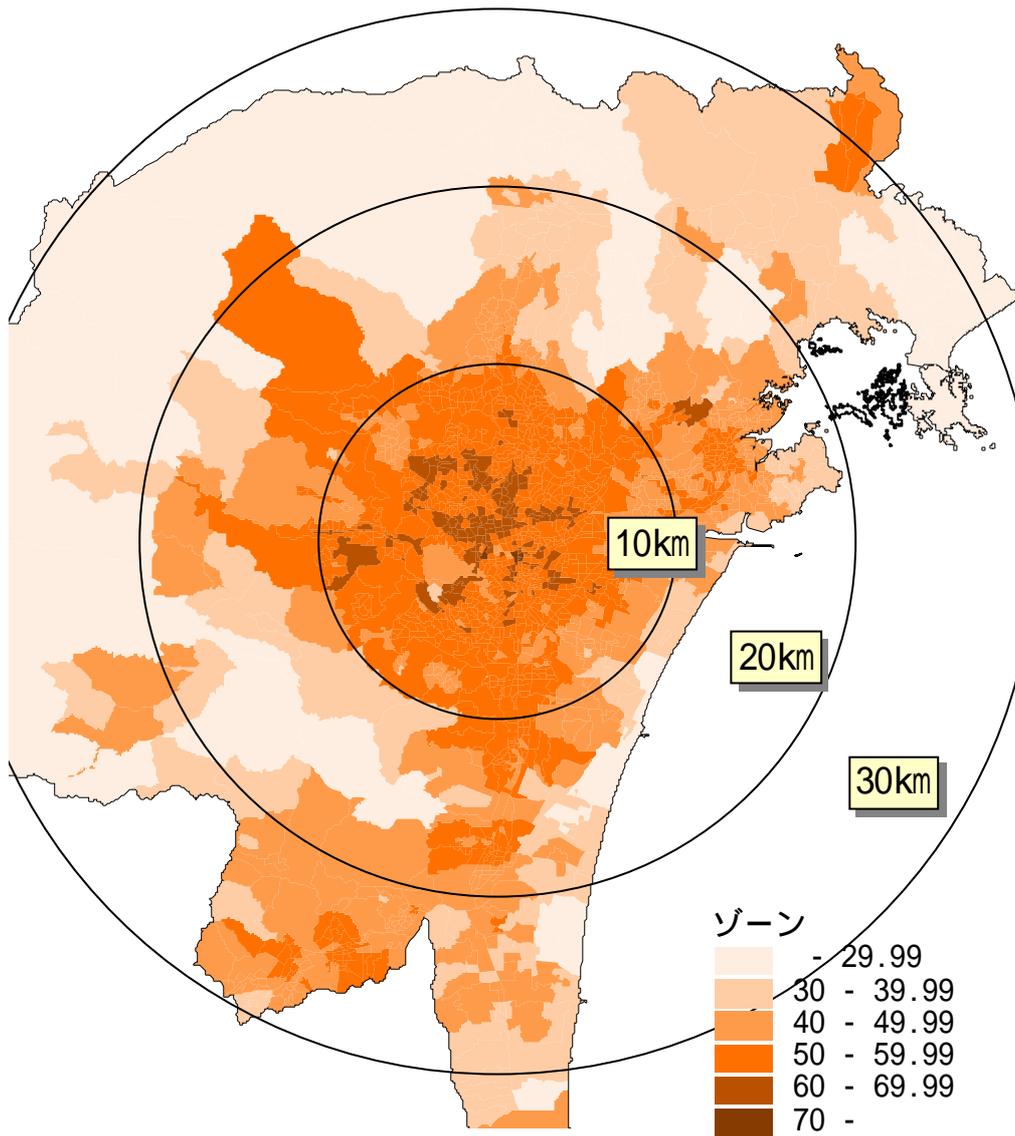


図5 - 29 シミュレーション結果（CaseA・重み付け評価）

Case B（都心居住型）の重み付け評価は、人口が集中する都心部で低くなっている。
 これは、「快適性」を説明する夜間人口密度及び従業者数密度のパラメータがマイナスと
 なっていることから、人口密度が高くなる地域で重み付け評価が低下することによる。

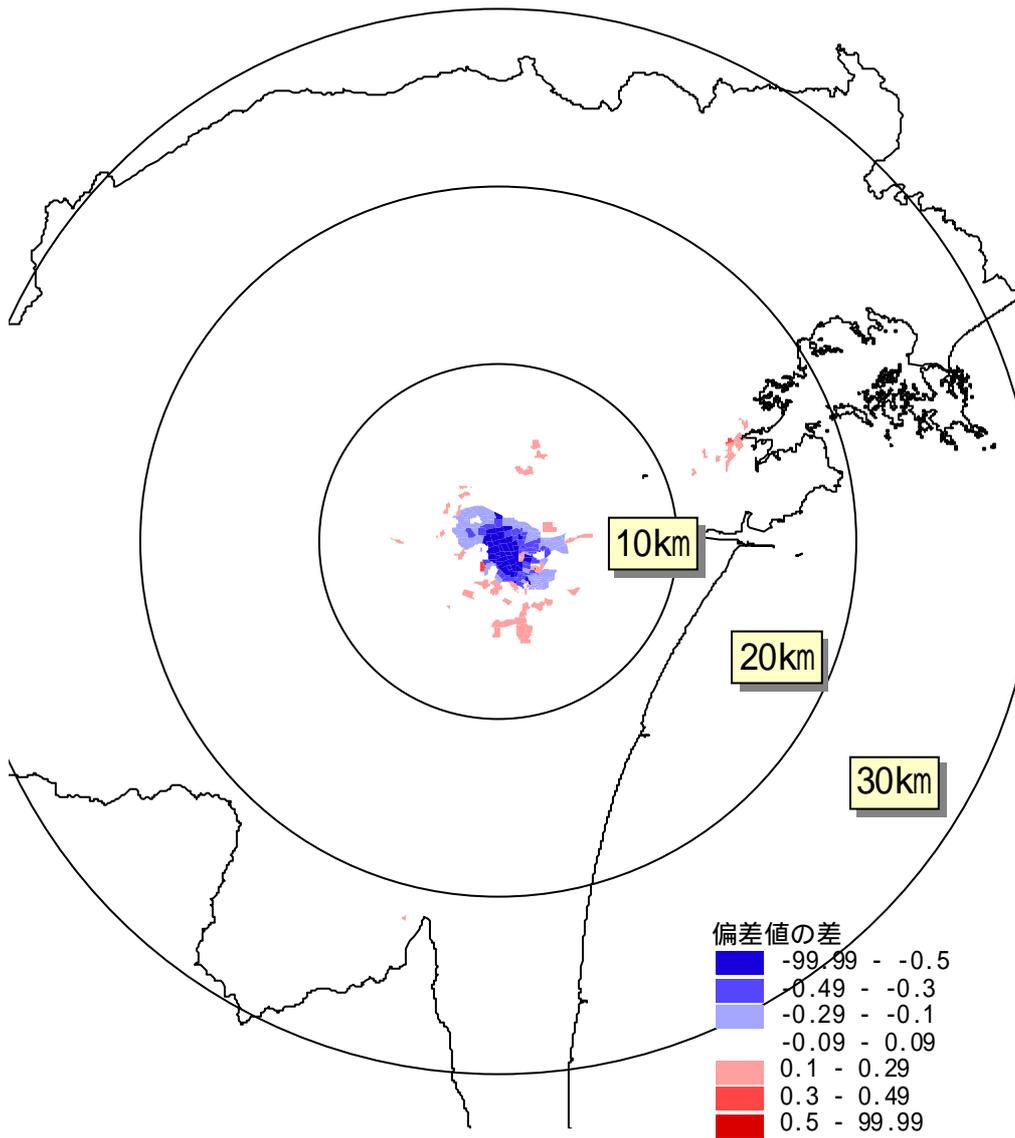


図5 - 30 シミュレーション結果（CaseB - CaseA・重み付け評価）

CaseC（副都心型）の重み付け評価においても、人口が集中する副都心で低くなっている。

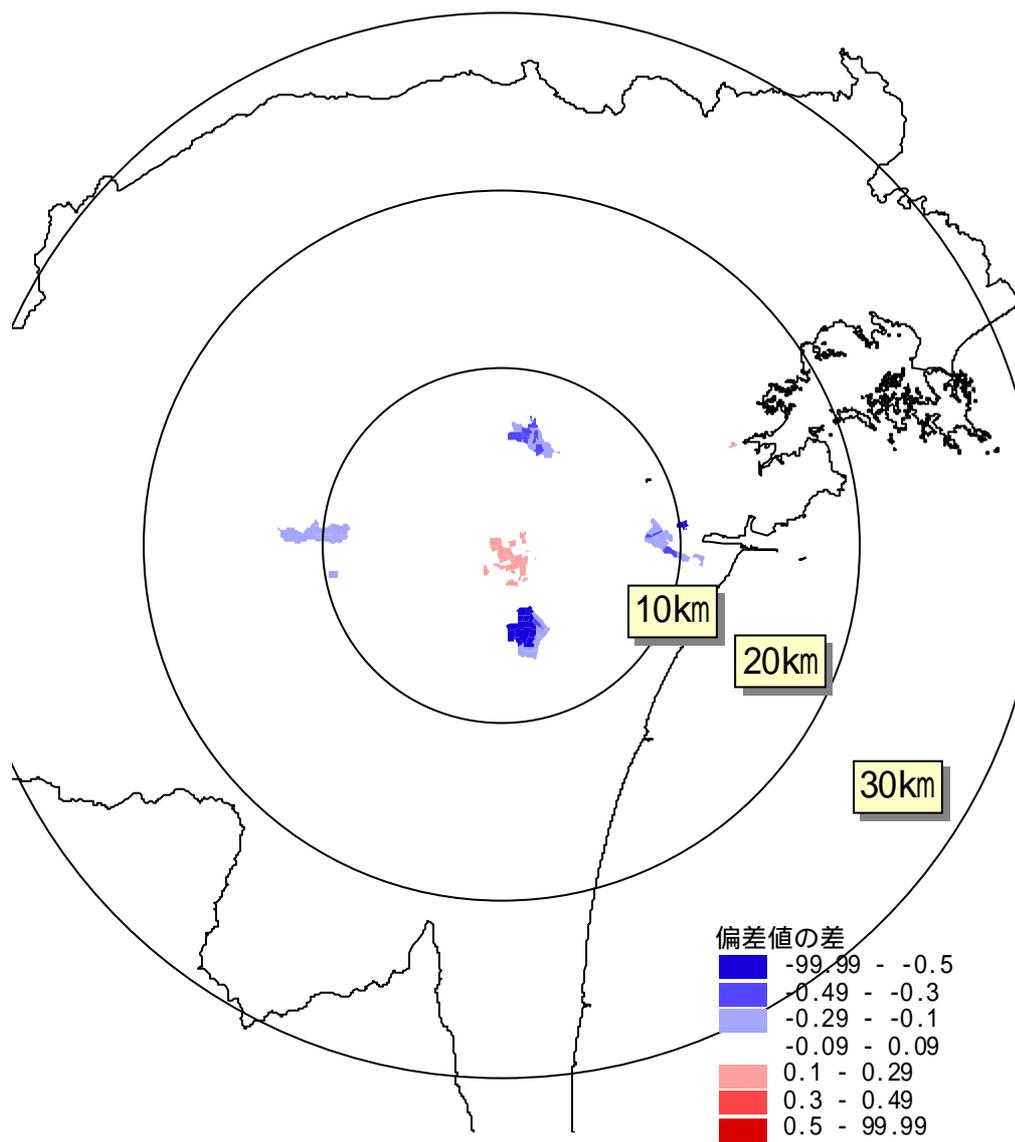


図5 - 31 シミュレーション結果（CaseC - CaseA・重み付け評価）

夜間人口を加味した評価

ゾーン別夜間人口で加重平均し、潜在変数を各ケースについて評価した。

下図は、Case Aに対する各ケースの差分を表している。

これをみると、Case B（都心居住型）では、都心部に人口が集中することにより施設などへの近接性の評価が高いが、快適性の評価が、相対的に低くなる。

Case C（副都心型）も、Case Bほどではないが、副都心に人口が集中することから近接性は高くなる。

重み付け評価は、Case B、Case Cともに、Case Aよりも高くなる。

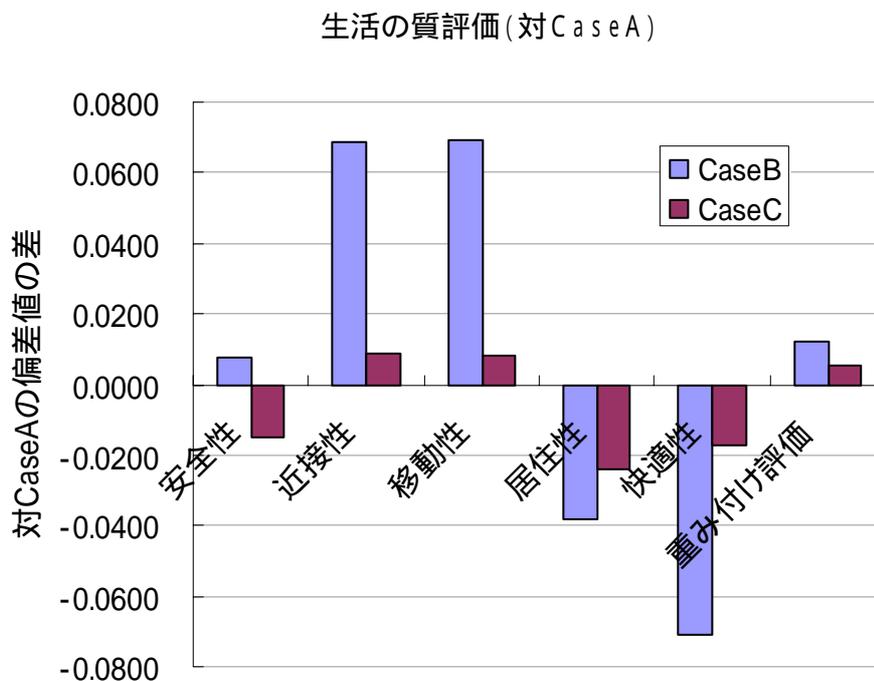


図 5 -32 生活の質評価（対 CaseA）

5 - 6 . 今後の課題

(1) 生活の質と環境指標について

居住環境の満足度に対する環境面の影響、特に、大気質に対する評価は、近接性評価に相対する居住性や快適性に該当すると思われるが、環境面の指標をモデルに取り組めるよう繰り返しモデル構成を変更して推定作業を行ったが、有意な結果を得ることはできなかった。

これは、環境（大気質）の問題が顕在化しているところが局所的で、都市圏レベルのマクロ的な視点からでは見出しにくくなっていることが考えられる。

このため、マクロ的な研究とともに、環境面で問題が顕在化している地域について、生活の質に関わる重点的な分析、例えば、居住満足度に影響を及ぼす環境質はどの程度のレベルからなのかを分析していくことも必要と思われる。

(2) 個人属性データについて

生活の質モデルによる地域評価は、施設近接性などの環境特性データの他に、個人属性からも評価される。本研究の生活の質モデルでは、世帯員属性などの家族構成や、持ち家であるか、何年住み続けているなどの住居環境がモデルに取り入れられている。

生活の質をとらえていくためには、どのような人がどういった住居で居住するのか、人に着目したモデル開発も今後必要である。

(3) 将来データについて

副都心型では土地利用誘導に伴って施設整備および土地利用変更（農地転用、森林伐採など）が想定される。現時点の将来評価では、交通施設整備による移動のしやすさは表現できても、これらは考慮されていない。

施設立地、土地利用を併せて総合的な評価を行っていくことが望ましい。

第6章.

地域づくり施策の総合評価

第6章 地域づくり施策の総合評価

6 - 1 . 評価方法

(1) 各評価モデルから算出される評価指標

本研究の要素モデルにおいて算出される評価指標は、以下に示すとおりである。

水環境評価モデル

水環境評価モデルからは、水量、水質、水処理に係るエネルギー消費、CO₂が算出される。

表 6 - 1 水環境評価モデルの評価指標

評価指標	地区	都市圏	(備考)
流量	(メッシュ、ゾーン)		
水質	(メッシュ、ゾーン)		
エネルギー・CO ₂	(メッシュ、ゾーン)		

環境負荷評価モデル

環境負荷評価モデルからは、CO₂排出量、NO_x排出量、NO₂濃度、自動車による騒音が算出される。本研究で示すシミュレーション結果は以前の研究の成果である。

環境負荷評価モデルについては、「国土交通政策研究第 31 号 都市環境施策の社会的・経済的影響の定量評価に関する研究(2003.3、国土交通省国土交通政策研究所)」を参照

表 6 - 2 環境負荷評価モデルの評価指標

評価指標	地区	都市圏	(備考)
CO ₂ 排出量	(メッシュ、ゾーン)		
NO _x 排出量	(メッシュ、ゾーン)		
NO ₂ 濃度	(メッシュ、ゾーン)		曝露人口、環境目標超過メッシュ数
騒音	(メッシュ、リソク)		平日(昼間)、平日(夜間)、休日(昼間)、休日(夜間)

: 絶対評価(基準あり)

: 相対評価

: 参考

生活の質評価モデル

生活の質評価モデルからは、下表の5つの指標が算出される。

表 6 - 3 生活の質評価モデルの評価指標

評価指標	地区	都市圏	(備考)
安全性	(ゾーン)		
近接性	(ゾーン)		
移動性	(ゾーン)		
居住性	(ゾーン)		
快適性	(ゾーン)		

経済評価モデル

経済評価モデルからは、内生的に推計される人口分布が算出され、評価指標として、産業別生産額、地価、厚生水準（CV, EV）が算出される。

表 6 - 4 経済評価モデルの評価指標

評価指標	地区	都市圏	(備考)
人口(夜間人口、従業員人口)モ-メント	(ゾ-ン)		
生産額	(ゾ-ン)		
地代水準	(ゾ-ン)		
厚生水準	(ゾ-ン)		

交通評価モデル

交通評価モデルからは下表の指標が算出される。

表 6 - 5 交通評価モデルの入力データ・評価指標

評価指標	地区	都市圏	(備考)
交通手段別トリップ数	(ゾ-ン)		
交通手段別トリップ長、分布	(ゾ-ン)		
目的別トリップ長、分布	(ゾ-ン)		
自動車走行台キロ	(ゾ-ン)		
道路混雑度	(リンク、ゾ-ン)		

(2) 評価ケース

本研究において設定した評価ケースは以下のとおりである。

表 6 - 6 評価ケース

	都市構造	趨勢型	都心居住型	副都心型
水資源				
【施策なし】		ケース A	ケース B	ケース C
【水資源施策】 下水道の整備 緑の配置(保水性の向上)		ケース A - 1 ケース A-1-1 ケース A-1-2		
【都市親水施策】 良好な河畔・海岸の整備 都市河川の整備 自然再生・多自然型河川づくり		ケース A - 2		

6 - 2 . 地域づくり施策の総合評価

地域づくり施策の総合評価は、以下の手順で行う。評価結果は一覧表とレーダーチャートで示すこととした。

- 1) 各評価モデル(水環境、環境負荷、生活の質、経済、交通)での評価
- 2) 全ての評価視点での総合評価

(1) 評価視点別の評価

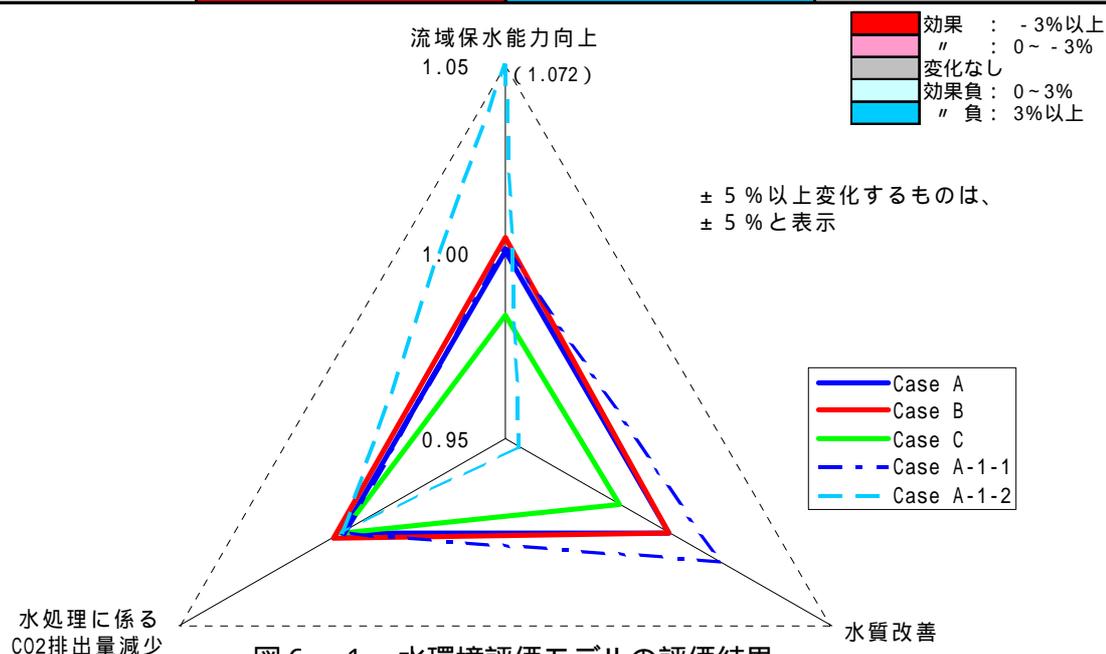
水環境評価モデル

趨勢型都市構造に比べ、都心居住型は流域保水能力、水質改善度ともほとんど変化はないが、副都心型はやや悪化する。

下水道整備は水質を改善し、緑の配置は保水能力を向上させる。

表 6 - 7 水環境評価モデルの評価結果

ケース	流域保水能力	水質改善度	水処理に係るCO ₂ 排出量
	流域全メッシュの合計流量 (m ³ /s)	流域全メッシュの濃度平均 (mg/l)	昼間人口あたりCO ₂ 排出量 (g/人)
ケースA 趨勢型	7,170.8	1.31	56.24
ケースB 都心居住型	7,144.8	1.31	56.10
差	-26.00	0.00	-0.14
比	-0.4%	0.0%	-0.2%
ケースC 副都心型	7,292.3	1.33	56.23
差	121.50	0.02	-0.01
比	1.7%	1.5%	0.0%
ケースA-1-1 下水道整備	7,170.8	1.29	56.24
差	0.00	-0.02	0.00
比	0.0%	-1.5%	0.0%
ケースA-1-2 緑の配置	6,653.4	1.37	56.24
差	-517.40	0.06	0.00
比	-7.2%	4.6%	0.0%



環境負荷評価モデル

以前の研究における環境負荷評価モデルの評価結果を示す。

- ・ 趨勢型都市構造に対し、都心居住型は CO₂ 排出量の減少、騒音の大きい道路区間の減少に効果があるが、NO₂ 曝露人口が増加する。
- ・ 一方、副都心型都市圏構造は、CO₂ 排出量、騒音の大きい道路区間はやや増加するが、NO₂ 曝露人口は大幅に減少する。

表 6 - 8 環境負荷評価モデルの評価結果

ケース	CO ₂ 排出量 t/年	NO _x 排出量 t/年	NO ₂ 環境目標超過メッシュ数(個)				騒音 基準超過道路延長割合(%)				
			曝露人口 (人)	都市圏	青葉区	宮城野区	若林区	平日 (昼間)	平日 (夜間)	休日 (昼間)	休日 (夜間)
ケースA 趨勢型	6,095	3,125	156,283	27	24	1	2	37.7%	41.3%	23.6%	26.2%
ケースB 都心居住型	6,063	3,115	188,555	31	28	1	2	37.5%	41.3%	23.2%	26.0%
差	-32.0	-10.0	32,272.0	4	4	0	0	-0.2%	0.0%	-0.4%	-0.2%
比	-0.5%	-0.3%	20.6%	14.8%	16.7%	0.0%	0.0%	-0.5%	0.0%	-1.7%	-0.8%
ケースC 副都心型	6,257	3,166	25,661	7	6	1	0	38.7%	42.5%	24.5%	26.8%
差	162.0	41.0	-130,622.0	-20	-18	0	-2	1.0%	1.2%	0.9%	0.6%
比	2.7%	1.3%	-83.6%	-74.1%	-75.0%	0.0%	-100.0%	2.7%	2.9%	3.8%	2.3%
(参考)現況	5,871	7,561	314,162	187	81	51	55	57.8%	59.0%	41.4%	40.2%

	効果 : -3%以上
	" : 0 ~ -3%
	変化なし
	効果負 : 0 ~ 3%
	" 負 : 3%以上

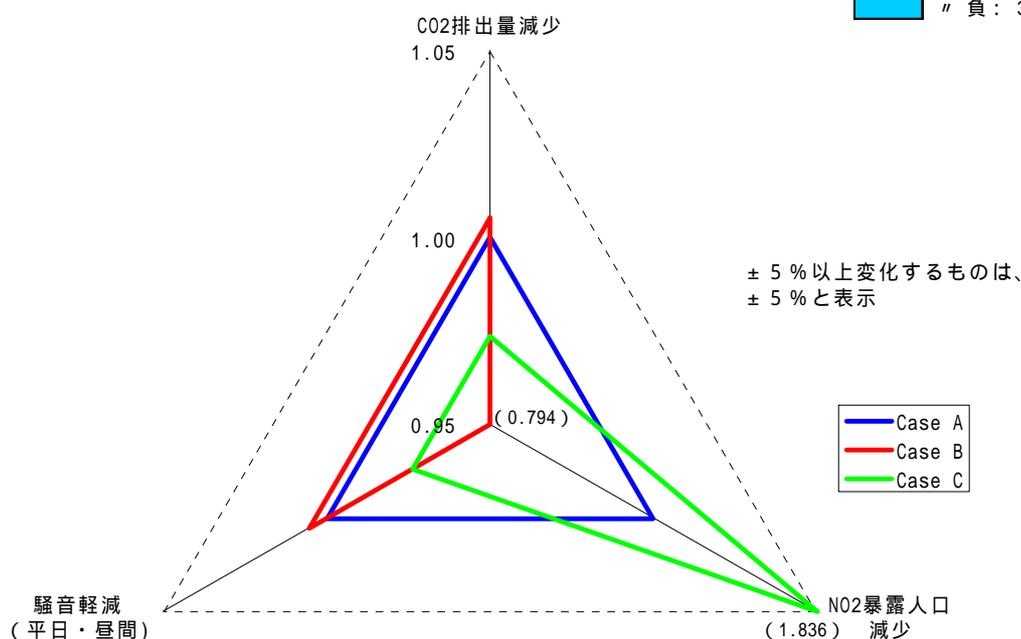


図 6 - 2 環境負荷評価モデルの評価結果

環境負荷評価モデルについては、「国土交通政策研究第 31 号 都市環境施策の社会的・経済的影響の定量評価に関する研究 (2003.3、国土交通省国土交通政策研究所)」を参照

生活の質評価モデル

趨勢型都市構造に対し、都心居住型は、都心部に人口が集中することにより近接性、移動性を向上させるが、居住性、快適性は低下する。

副都心型都市構造は、都心居住型ほどではないが、副都心に人口が集中することから近接性、移動性は高くなる。

表 6 - 9 生活の質評価モデルの評価結果

ケース	安全性	近接性	移動性	居住性	快適性	総合
ケースA 趨勢型	50.15	51.42	50.16	48.80	48.58	51.16
ケースB 都心居住型	50.16	51.49	50.23	48.76	48.51	51.17
差	0.01	0.07	0.07	-0.04	-0.07	0.01
ケースC 副都心型	50.13	51.43	50.17	48.78	48.57	51.16
差	-0.02	0.01	0.01	-0.02	-0.01	0.00

■	効果 : 0.05以上
■	" : 0~0.05
■	変化なし
■	効果負 : 0~ -0.05
■	" 負 : -0.05以上

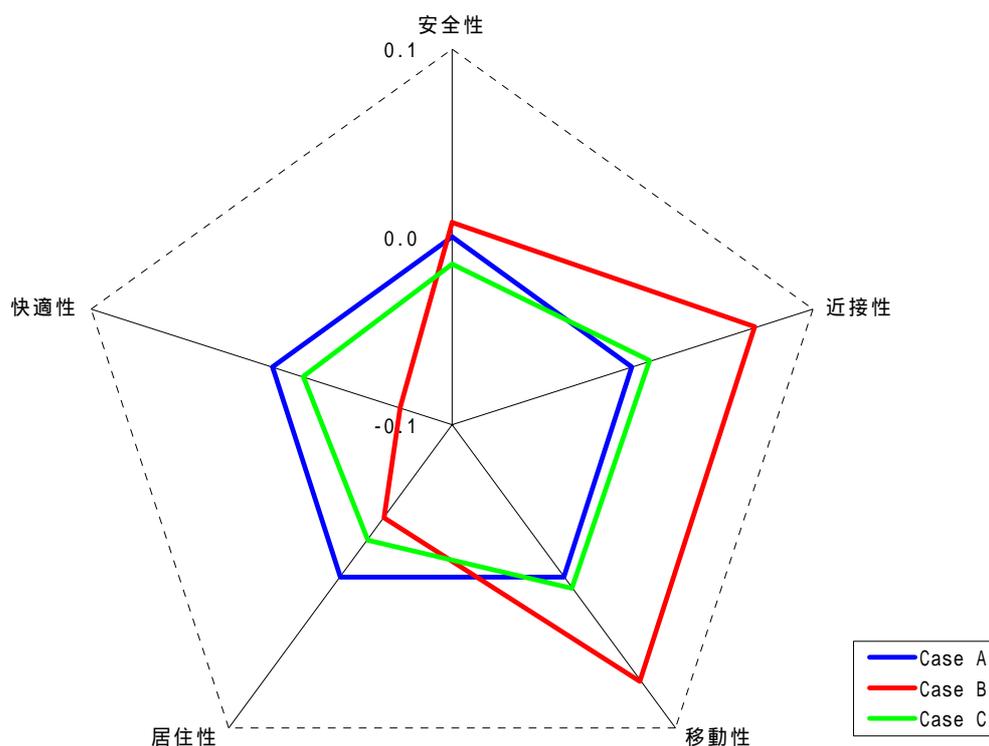


図 6 - 3 生活の質評価モデルの評価結果

経済評価モデル

副都心型都市構造に対し、都心居住型は、夜間人口モーメント、従業人口モーメントともに小さくなり、人口が集中する。

総生産は、都心居住型、副都心型ともに増加するが、都心居住型の方が増加は大きくなる。また、地代水準は、都心居住型では増加するが、副都心型ではやや減少する。

表 6 - 10 経済評価モデルの評価結果

ケース	夜間人口 (万人)			夜間人口モーメント (億人km)	従業人口 (万人)			従業人口モーメント (億人km)
	都市圏	うち都心	うち副都心		都市圏	うち都心	うち副都心	
ケースA 趨勢型	156.9	15.9	8.4	156.2	81.7	26.4	4.6	40.1
ケースB 都心居住型	156.9	16.9	8.4	155.5	81.7	28.7	4.5	38.0
差	0.0	1.0	-0.1	-0.7	0.0	2.2	-0.1	-2.1
比	0.0%	6.3%	-0.9%	-0.4%	0.0%	8.5%	-2.2%	-5.2%
ケースC 副都心型	156.9	15.6	9.7	156.0	81.7	26.4	5.0	39.9
差	0.0	-0.3	1.3	-0.2	0.0	-0.1	0.4	-0.2
比	0.0%	-1.6%	15.0%	-0.1%	0.0%	-0.3%	9.2%	-0.5%

ケース	総生産 (兆円)				地代水準 (兆円)	C V	E V
	第1次	第2次	第3次	産業計			
ケースA 趨勢型	0.125	1.422	4.425	5.972	5.08	-	-
ケースB 都心居住型	0.134	1.491	4.479	6.103	5.20	5.6	5.4
差	0.009	0.069	0.054	0.131	0.12	-	-
比	7.1%	4.8%	1.2%	2.2%	2.4%	-	-
ケースC 副都心型	0.128	1.445	4.478	6.051	5.06	2.1	2.0
差	0.004	0.023	0.053	0.079	-0.02	-	-
比	2.8%	1.6%	1.2%	1.3%	-0.4%	-	-

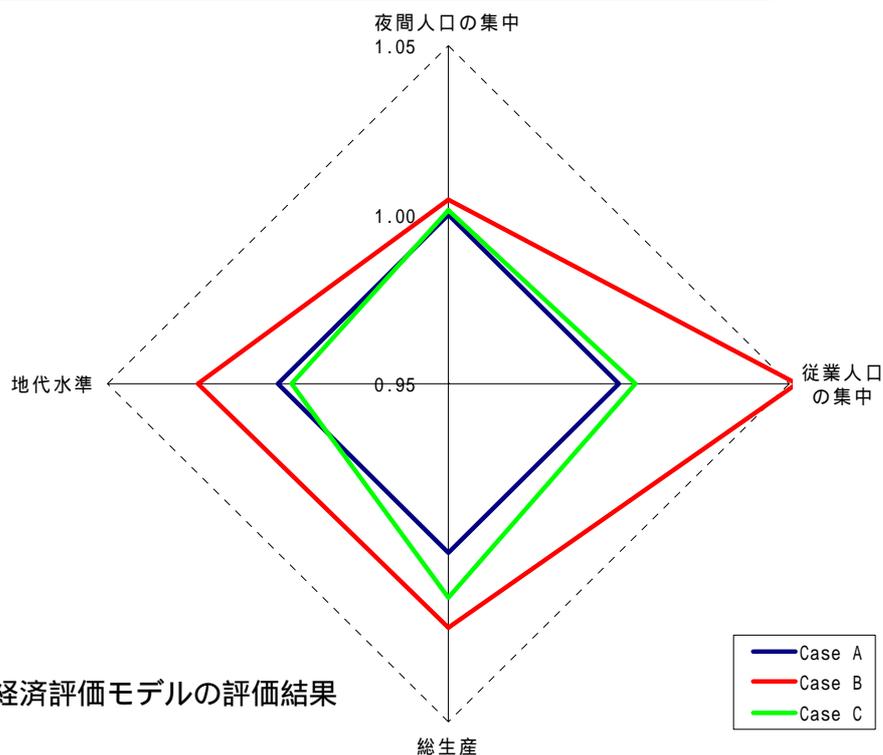
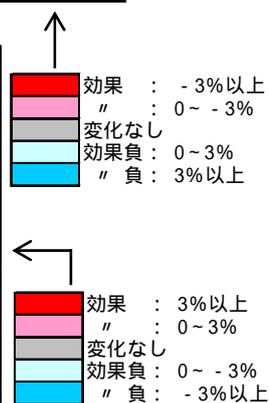


図 6 - 4 経済評価モデルの評価結果

交通評価モデル

都心居住型都市構造は趨勢型に比べ、自動車トリップ数、自動車平均トリップ長が減少し、自動車走行台キロが減少する。一方、副都心型は自動車トリップ数、平均トリップ長とも変化がなく、自動車走行台キロは変化がない。

都心居住型では、都心部の道路混雑度がやや高まる。

表 6 - 11 交通評価モデルの評価結果

ケース	交通手段別トリップ数 (千トリップ/日)			自動車 走行台キロ (万台km)	都心部の 道路混雑度
	自動車	鉄道	徒歩二輪		
ケース A 趨勢型	2,041	348	1,242	3,451	1.056
ケース B 都心居住型	2,009	361	1,256	3,391	1.059
差	-32	13	14	-60	0.003
比	-1.6%	3.7%	1.1%	-1.7%	0.3%
ケース C 副都心型	2,039	350	1,241	3,447	1.057
差	-2.00	2.00	-1.00	-4	0.001
比	-0.1%	0.6%	-0.1%	-0.1%	0.1%

	目的別平均トリップ長 (km)				自動車平均 トリップ長 (km)
	全目的	通勤	業務	私用	
ケース A 趨勢型	5.47	7.89	6.01	4.06	5.97
ケース B 都心居住型	5.46	7.88	5.88	4.03	5.95
差	-0.01	-0.01	-0.13	-0.03	-0.02
比	-0.2%	-0.1%	-2.2%	-0.7%	-0.3%
ケース C 副都心型	5.47	7.89	6.01	4.06	5.97
差	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
比	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

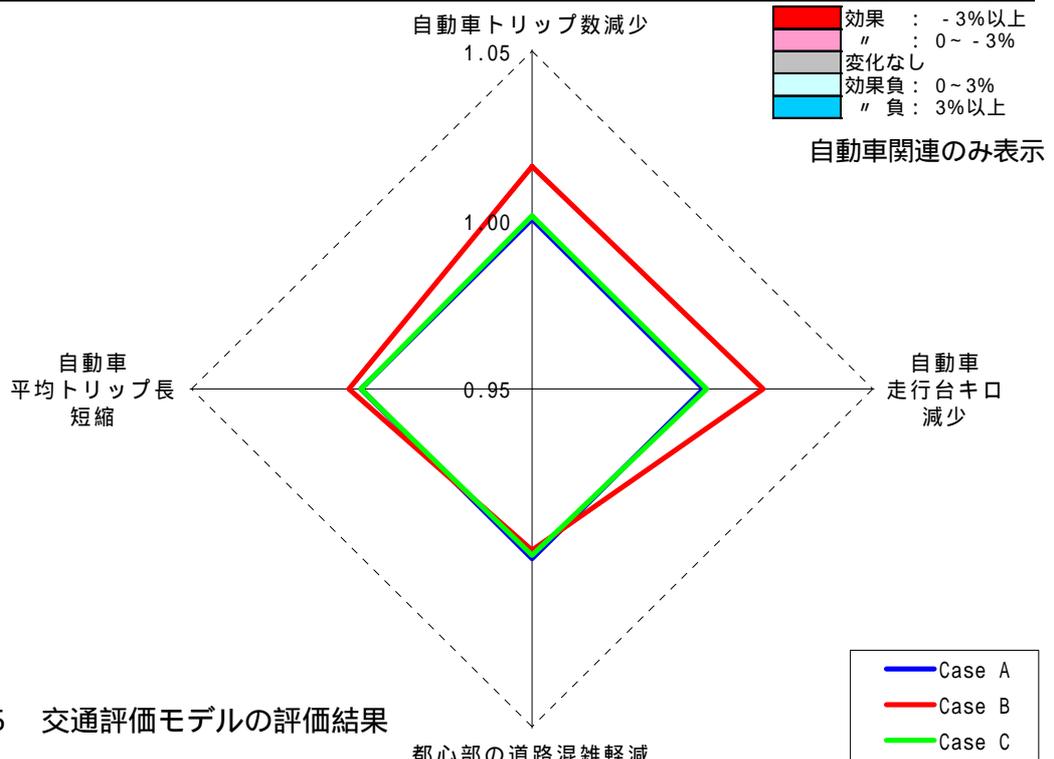


図 6 - 5 交通評価モデルの評価結果

(2) 総合評価結果

各評価モデルから主要な評価指標を整理し、総合評価結果を示す。

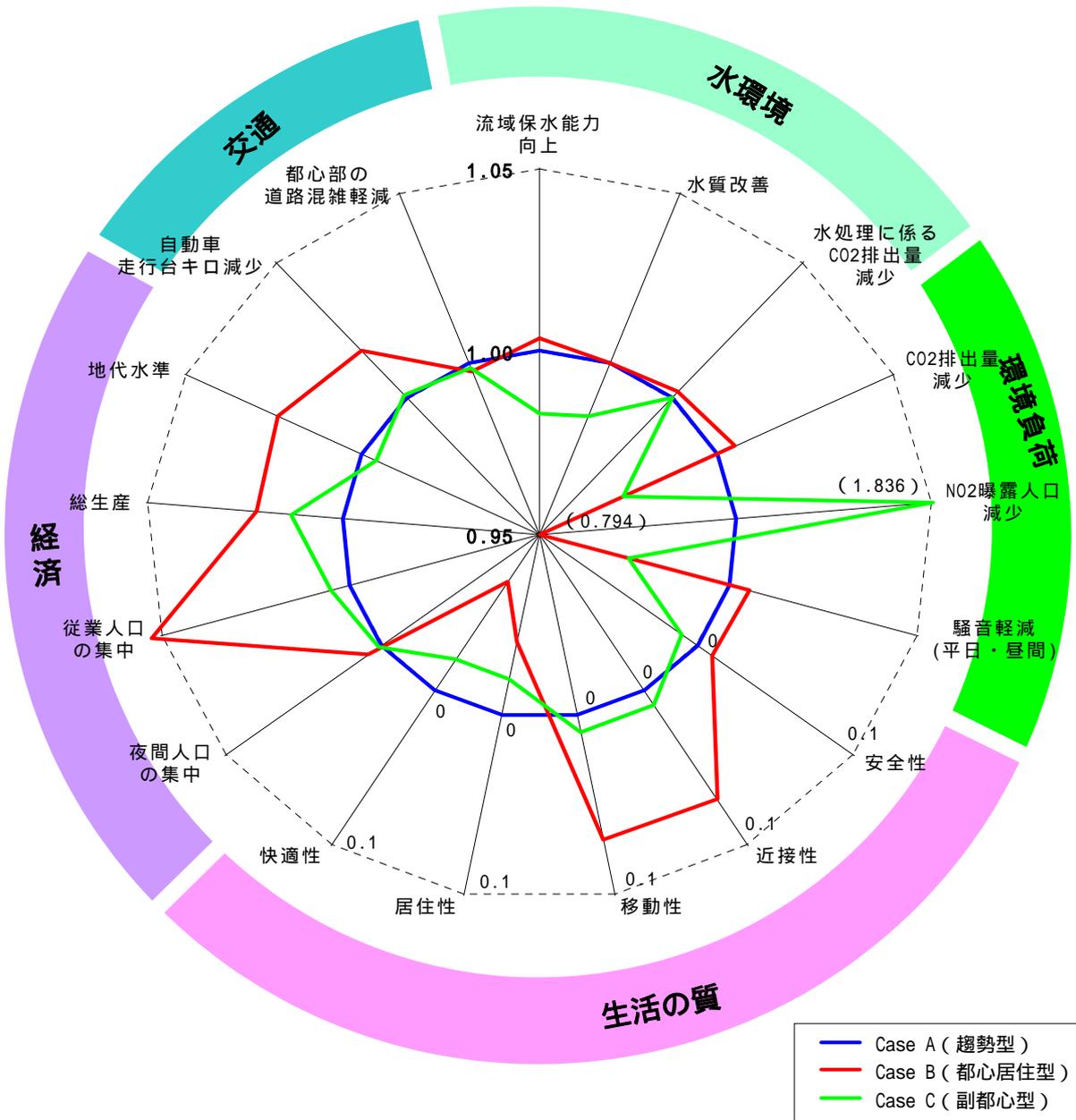
- ・都心居住型都市構造は、都心に集中することにより NO₂ 曝露人口は増加するが、自動車の走行台キロが減少し、CO₂ 排出量の減少、騒音の大きい道路区間の減少など環境面での効果がある。また、市民生活の近接性、移動性が向上する。経済面では、副都心型都市構造と比べ都心に集中することにより、都市圏の総生産、地代水準が上昇する。
- ・副都心型都市構造は副都心に分散するため、NO₂ 曝露人口は減少するが、都心居住型に比べ近接性、移動性の向上効果は小さい。総生産は、都心居住型ほどではないが趨勢型に比べ増加し、地代水準は低下する。
- ・水環境については、下水道整備により水質が改善され、緑の配置により保水能力を向上させることとなる。

表 6 - 12 総合評価結果

	水循環評価モデル			環境負荷評価モデル			生活の質評価モデル				
	流域保水能力 （m ³ /s）	均質メッシュの濃度 （mg/l）	水質改善度 （%）	水処理に係るCO ₂ 排出量（t/年）	NO ₂ 曝露人口 （人）	騒音 （平日・昼間） 基準超過割合 （%）	安全性	近接性	移動性	居住性	快適性
ケースA 趨勢型	7,170.8	1.31	56.24	6,095.0	156,283	37.70%	50.15	51.42	50.16	48.80	48.58
ケースB 都心居住型	7,144.8	1.31	56.10	6,063.0	188,555	37.50%	50.16	51.49	50.23	48.76	48.51
差	-26.0	0.00	-0.14	-32.0	32,272	-0.2%	0.01	0.07	0.07	-0.04	-0.07
比	-0.4%	0.00%	-0.2%	-0.5%	20.6%	-0.5%	-	-	-	-	-
ケースC 副都心型	7,292.3	1.33	56.23	6,257.0	25,661	38.7%	50.13	51.43	50.17	48.78	48.57
差	121.5	0.02	-0.01	162.0	-130,622	1.0%	-0.02	0.01	0.01	-0.02	-0.01
比	1.7%	1.5%	0.0%	2.7%	-83.6%	2.7%	-	-	-	-	-

	経済評価モデル				交通評価モデル	
	夜間人口モジュール （億人km）	従業人口モジュール （億人km）	総生産額（兆円）	地代水準（兆円）	自動車走行台キロ （万台km）	道路混雑度 （都市部の）
ケースA 趨勢型	156.2	40.1	5.972	5.08	3,451	1.056
ケースB 都心居住型	155.5	38.0	6.103	5.20	3,391	1.059
差	-0.7	-2.1	0.131	0.12	-60	0.003
比	-0.4%	-5.2%	2.2%	2.4%	-1.7%	0.3%
ケースC 副都心型	156.0	39.9	6.051	5.06	3,447	1.057
差	-0.2	-0.2	0.079	-0.02	-4	0.001
比	-0.1%	-0.5%	1.3%	-0.4%	-0.1%	0.1%

効果 大
 " 小
 変化なし
 効果負 小
 " 負 大



1 : ± 5 %以上変化するものは、± 5 %と表示

2 : 生活の質の評価指標のみ、趨勢型との差で表示

図 6 - 6 総合評価結果

第7章.

研究成果と課題

第7章．研究成果と課題

(1) 本研究の成果

本研究において開発した「地域づくり施策評価モデル」は、以前の研究までのモデルに、新たに水環境モデルを加え、人口配置については、経済モデルに内生化するモデル構造とした。

以上により活動モデルは、水環境モデル、経済モデル、交通モデルの3つからなり、相互に関連を持ちながら都市活動を表現するものとなった。また、評価モデルについては、活動モデルの予測値を受け、水環境、環境負荷、生活の質、経済、交通の5つの視点から評価を行うより総合的なモデルを開発することができた。

本研究の「地域づくり施策評価モデル」を参考とすることにより、今後、全国各地の施策立案者が、施策実施による影響を水環境、環境負荷、生活の質、経済、交通の5つの視点から事前に評価することが可能となるため、地域における各種施策の企画検討の段階において、その効果の検証・比較が可能となると考えている。これにより各地方自治体の施策立案支援ツールとしての活用が期待される。

(2) 本研究の課題

水環境モデルについて

水環境モデルは水循環モデルと物質循環モデルから構成されているが、今後は、物質循環モデルを改良し水質予測の精度をより向上することが課題である。

また、水量の指標については、ピーク時流量による評価に留まっている。基底流量は、ピーク時流量が抑制されることにより増加するため、ピーク時流量を用いた指標も妥当ではあるが、地下水モデルの検討と基底流量による評価は今後の課題である。

交通モデルについて

本研究においては、以前の研究の成果に対し、より詳細なゾーン区分での予測・評価を行うことができた。今後は、海外の先進モデルを参考にし、アクティビティベースのモデルの開発、地域の特性や施策による総交通量が変化するモデルの検討を進めることが考えられる。

経済モデルについて

本研究においてモデルでの表現を行っていない水質の変化が生産活動に及ぼす影響など、環境変数を加えたモデル構築について研究を進めることが課題である。

また、本経済モデルは、居住地選択・通勤先選択のみを考慮したモデルであり、私事や買物先選択を考慮したモデルとはなっていない。今後は、居住地選択・通勤地選択・私事交通を考慮したより一般的なモデルについて研究していく必要がある。

生活の質評価モデルについて

本研究では、居住環境の満足度に対する環境面の影響を表現していないが、今後はよりミクロなレベルでのモデル構築を検討し、大気質や騒音等が生活の質に与える影響を評価できるモデルを構築することが課題である。

参考文献

参考文献

第1章 「地域づくり施策評価モデル」の開発方針

- ・瀬本浩史・片岡孝博・吉田朗・森田哲夫・小島浩(2003)「都市環境施策の社会的・経済的影響の定量評価に関する研究」、土木学会土木計画学研究(春大会)講演集 No.27
- ・小島浩・吉田朗・森田哲夫(2004)「環境負荷を小さくするための都市構造及び交通施策に関する研究 - 仙台都市圏を対象として - 」、(社)日本都市計画学会 都市計画論文集 No.39-3
- ・樋野誠一・吉田朗・森田哲夫・瀬本浩史(2004)、「都市環境施策の経済的影響の定量評価に関する研究 ~ 仙台都市圏を事例として ~ 」、地域学研究 第34巻 第3号
- ・国土交通省国土交通政策研究所(2002)「環境負荷の少ない都市・国土構造に関する研究」
- ・国土交通省国土交通政策研究所(2003)「都市環境施策の社会的・経済的影響の定量評価に関する研究」

第2章 水環境モデルの開発

- ・稲森悠平・水落元之・岩見徳雄・板山朋聡・酒井伸一(2002)「環境低負荷型・資源循環型の水環境改善システムに関する調査研究」、国立環境研究所特別研究報告 SR-45-2002
- ・奥川光治・宗宮功・津野洋(1994)「メッシュ法に基づく河川水質予測コンピュータシステムの開発」、土木学会論文集 No497、 -28
- ・馬場剛(1994)「土地利用を考慮した水循環モデルの提案」、慶應義塾大学卒業論文
- ・辻倉裕喜・安陪和雄・大八木豊・田中伸治(2003)「湖沼流域管理のための総合的な水循環・物質流動モデルの構築」、水工学論文集、第47巻
- ・安田佳哉・藤田光一・大沼克弘・田中伸治・鈴木宏幸・辻倉裕喜(2003)「流域を単位とした水循環・物質循環モデルの開発」、土木技術資料 45-4
- ・羽田野琢磨・高木康行・中嶋規行・中村茂・Srikantha HERATH(2003)「グリッド型水循環系解析モデルの玉川流域への適用」、水工学論文集 第47巻
- ・丹保憲・丸山俊明仁(2003)「水文大循環と地域水代謝」、技報堂
- ・鈴木俊朗・寺川陽・松浦達郎(1996)「実時間洪水予測のための分布型流出モデルの開発」、土木技術資料 38-10
- ・中山恵介・伊藤哲・藤田睦博・斎藤大作(2001)「融雪を考慮した山地流出モデルに関する研究」、土木学会論文集 -691 Vol.57
- ・市川温・村上将道・立川康人・椎葉充晴(2001)「流域地形の新たな数値表現形式に基づく流域流出系シミュレーションシステムの開発」、土木学会論文集 -691 Vol.57
- ・阿部清明・菊池英明・古川浩平・塩月善晴(2000)「ニューラルネットワークによる流出解析手法(日流量)に関する研究」、土木学会論文集 -656 Vol.52
- ・安陪和雄・大八木豊・辻倉裕喜・安田佳哉(2002)「分布型流出モデルの広域的適用」、水工学論文集 Vol.46

- ・天口英雄・安藤義久(2002)、「SMPT モデルを用いた分布型水循環モデルの改良について」、水工学論文集 Vol.46
- ・藤村和正・安藤義久(2002)、「表層浸透能の変化を考慮した多摩丘陵都市流域における水循環解析」、水工学論文集 Vol.46
- ・陸旻皎・小池俊雄・石平博(2002)、「分布型水文モデルに基づく水利用シミュレーションモデル開発の試み」、水工学論文集 Vol.46
- ・木内豪・賈仰文・戸嶋光映・吉谷純一・倪广恒(2002)、「農地と都市が混在する流域における WEP MODEL を用いた水循環解析」、水工学論文集 Vol.46
- ・林誠二・村上正吾・渡辺正孝(2000)、「Stanford Watershed Model の流出特性に関する検討」、水工学論文集 Vol.44
- ・敖天其・吉谷純一・深見和彦・松浦直・竹内邦良・石平博(2003)、「分布型流出モデル BTOPMC の大流域へ適用する場合の地形解析に関する研究」、水工学論文集 Vol.47
- ・(社)環境情報科学センター監修(1999)、「環境アセスメントの技術」、中央法規出版
- ・栗林宗人(1972)、「公害防止計画における水質汚濁計算について(2)」、水処理技術 Vol.13 No.7
- ・河野修一(1976)、「排水に関する汚染負荷量原単位調査結果について」、工業用水 第217号
- ・和田安彦、田内和三(1984)、「用途地域別路面堆積負荷の定量と特性」、用水と排水 Vol.26 No.7
- ・國松孝男、村岡浩爾編著(1989)、「河川汚濁のモデル解析」、技報堂出版
- ・仙台市(1988)、「仙台市水辺のマスタープラン」
- ・仙台市(2001)、「仙台市下水道基本計画」
- ・仙台市(1999)、「仙台市水環境プラン」

< 参照 URL >

<http://www1.river.go.jp/>
<http://www3.river.go.jp/index.htm>
<http://www.hirosegawa-net.com/index.html>
<http://www.pref.miyagi.jp/snd-dam/>
<http://www.suidou.city.sendai.jp/>
<http://www.env.go.jp/water/jiban/98/04-3.htm>

第3章 交通モデルの改良

- ・北村隆一・森川高行・佐々木邦明・山本 俊行(2002)、「交通行動の分析とモデリング」、技報堂出版
- ・近藤活直、「交通行動分析」、晃洋書房
- ・原田昇・森川高行・(2003)、「特集：交通需要予測」、土木学会誌 Vol.88
- ・兵藤哲朗(2002)、「交通需要予測の課題と展望」、交通工学 Vol.37

- ・兵藤哲朗・室町泰徳（2001）「個人選択行動モデルの最近の開発動向に関するレビュー」、土木計画学研究論文集 Vol.3
- ・原田昇（1997）「交通需要予測の今日的課題」、交通工学、
- ・森川高行（1997）「需要予測手法の最新動向と展望」、交通工学 Vol.32
- ・北村隆一（1996）「交通需要予測の課題」、土木学会論文集 No.530
- ・原田昇・森川高行・屋井鉄雄（1993）「交通行動分析の展開と課題」、土木学会論文集 No.470
- ・谷村秀彦・梶秀樹・池田三郎・腰塚武志（1986）「都市計画数理」、朝倉書店
- ・天野光三（1982）「計量都市計画」、丸善
- ・尹鍾進・青山吉隆・中川大・松中亮治（2000）「立地変動を考慮した実用的な土地利用・交通モデルの構築」、土木計画学研究論文集 No17
- ・小池淳司・上田孝行・小森俊文（1997）「ミクロ行動理論に基づく交通 - 立地モデルの開発」、土木計画学研究論文集 No14
- ・上田孝行・堤盛人（1997）「我が国における近年の土地利用モデルに関する統合フレームについて」、土木学会論文集 No.625
- ・宮城俊彦・奥田豊・加藤人土・（1995）「数理最適化手法を基礎とした土地利用・交通統合モデルに関する研究」、土木学会論文集 No.518
- ・上田孝行（1995）「交通・立地分析モデルによる都市交通プロジェクトの影響分析」、日本交通政策研究会
- ・平谷浩三・中村日出夫・上田孝行・堤盛人（1993）「土地と建物の多市場同時均衡に基づく土地利用交通モデル」、土木計画学研究講演集 No16
- ・青山吉隆（1984）「土地利用モデルの発展過程」、土木計画学シンポジウム
- ・中村英夫・林良嗣・宮本和明（1983）「広域都市圏土地利用交通分析システム」、土木学会論文報告集 No.335
- ・中村英夫・林良嗣・宮本和明（1981）「都市近郊地域の土地利用モデル」、土木学会論文報告集 No.309
- ・ Michael WEGENER（2003）、OVERVIEW OF LAND-USE TRANSPORT MODELS、CUPUM '03 Sendai

第4章 経済モデルの開発

- ・谷口孚幸編著・伊藤武美著（1977）、「地球環境都市デザイン」、理工図書、[1]
- ・柏木孝夫（科学技術振興事業団 戦略的基礎研究推進事業「自立型都市をめざした都市代謝システムの開発」プロジェクト 研究代表）（2001）『研究成果報告シンポジウム「都市シミュレータによる環境低負荷型都市の設計支援」予稿集』、[2]
- ・谷口孚幸・高山勉・中村秀一・田中勝弘（1991）「複合型都市開発事業に於ける計画支援システム SOPHIA」、計画行政第 27号、[3]
- ・Wegener, M. ,“ Overview of Land-Use Transportation Models ”, The 8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management、[4]
- ・小島浩・森田哲夫（2004）「サンフランシスコ湾岸地域における交通需要予測方法」、IBS 研究活動報告 2003、[5]

- ・青山吉隆（1984）「土地利用モデルの歴史と概念」、土木学会 論文集 347 / -1、[6]
- ・尹鍾進・青山吉隆・中川大・松中亮治（2000）「立地変動を考慮した実用的な土地利用・交通モデルの構築」、土木学会土木計画学 論文集 No.17、[7]
- ・杉壽芳編著（1997）「社会資本整備の便益評価 一般均衡理論によるアプローチ」、勁草書房、[8]
- ・小池淳司・石川良文・上田孝行・河野貢（2003）「都市圏レベルの応用一般均衡モデルの開発と応用」、土木計画学研究 論文集 Vol.20.No.1、[9]
- ・武藤慎一・上田孝行・高木朗義・富田貴弘（2000）「応用都市経済モデルによる立地変化を考慮した便益評価に関する研究」、土木計画学研究 論文集 No17、[10]
- ・山内弘隆・上田孝行・河合毅治（1999）「一般均衡モデルによる高速道路の費用便益分析」、高速道路と自動車 第42巻 第5号、[11]
- ・高木朗義・武藤慎一・上村高大（2001）「SCGE モデルによる河川の水質改善政策評価に基づいた最適汚濁負荷削減量の算定」、河川技術論文集 Vol.7、[12]
- ・高木朗義・武藤慎一・上田孝行・稲垣貴政（2002）「閉鎖性水域における水質改善政策の便益帰着分析と汚濁負荷削減量配分」、土木学会論文集 No.702 / -55、[13]

第5章 生活の質モデルの開発

- ・「環境指標の展開」、日本計画行政学会編
- ・森本章倫、「住宅地における環境の評価指標に関する研究」
- ・吉田朗、「近隣環境における「生活の質」の計測に関する研究」
- ・谷口孚幸編著・伊藤武美著（1997）「地球環境都市デザイン」、理工図書
- ・林良嗣・土井健司・杉山郁夫、「生活質の定量化に基づく社会資本整備の評価に関する研究」、土木学会論文集 No.751 -62

第7章 研究成果と課題

- ・国土交通省国土交通政策研究所（2002）「環境負荷の少ない都市・国土構造に関する研究」
- ・国土交通省国土交通政策研究所（2003）「都市環境施策の社会的・経済的影響の定量評価に関する研究」