

第4章 湖沼の水理・水質解析技術

4.1 数値シミュレーションの活用

4.1.1 数値シミュレーションの意義

湖沼の流動・水質現象は、時間的にも空間的にも巨大な事象であり、現実的に計測できる事象は、ごくわずかなものであり、現地計測から得られる情報は常に断片的である。

こうした現地計測結果から、湖沼の流動・水質現象の全体を推測するという膨大な作業を支えるのが数値シミュレーションである。

数値シミュレーションは、「予測」や「評価」のためにすると考えている人が多いが、数値シミュレーションの最大の意義は、たとえば、湖沼の環境現象の因果関係を把握するための手段としてである。すなわち、ある因果関係を想定して数式を作成し、コンピュータに入力して演算を行い、その結果と現地計測で得られた断片的なデータを矛盾無く説明できたとすれば、当初考えた現象の理解が適切であったと判断できる。その結果として、現地計測では捉えきれない部分について数値シミュレーションで推測することが可能となる。また、数値シミュレーションの結果によっては、「この水域で、この項目を計測すれば、新たな発見があるはずだ」というように、次の現地計測のアイデアが生まれることもある。

一般的に、推論の過程は、「帰納的^{きのうてき}」と「演繹的^{えんぎてき}」に大別され、これを流動・水質現象の理解に対して当てはめると、前者は、計測データを並べてみて「流動や水質がこのように挙動するのであれば、多分このようなメカニズムがあるのでは」と推論することに対応する。後者は、「仮にこのようなメカニズムがあるのであれば、このように挙動するはずだ」と推論することに対応する。

こうした帰納的推論と演繹的推論を反復することにより、確度の高い推論結果が得られるため、現地計測と数値シミュレーションを相互補完的に活用することで、湖沼の流動・水質現象を効率的に解明できる可能性が高まる。

4.1.2 数値シミュレーション適用時の留意点

前節で述べたように、非常に大きな意義のあるシミュレーションモデルの活用ではあるが、使用を誤ると問題を起すこともある。シミュレーションモデルは、ある現象を説明するモデルに基づいて、気象や水文などの外的条件を入力することで、湖の流動や水質変化について計算するものであることから、その成否は使用したモデルの適合性と入力条件の正確さに依っている。このため、評価や予測を行おうとする現象と適用するシミュレーションモデルの特性が合致していることと、必要となる入力情報が整理されていることが必要である。さらに時空間的な特性として、留意する事項として、時間スケールに応じたモデルの選択、境界条件の扱い方が挙げられる。

(1)適切なモデル化

適切なモデル化を行うためには、検討対象とする現象を支配する要因についての理解が必要であり、いたずらに複雑なモデルさえ使用すればシミュレーションが成功するという考えは誤りである。特に水質シミュレーションでは、多くのパラメータ値を設定する必要があるが、現象の理解なしに単に観測値に合うように設定したとすると、その計算に関して例え良く再現したとしても、異なる条件下で計算した場合には、良好な計算結果を提供するとは限らず、このような場合むしろ不合理な計算結果を提供することで現象の解明の障害となることもありうるため、注意が必要である。現象の支配的な構造を理解した上で、適切にシミュレーションモデルを活用することで初めて、前節で述べたように湖沼における流動現象を効率的に解明できる。

(2)湖沼特性や時間スケールに応じたモデルの選択

湖沼の流動・水質特性は、地形条件等により個々の湖沼で異なり、表現すべき重要な現象も異なっている。一方、シミュレーションモデルにも様々な種類があり、それぞれ取り扱うことのできる現象が異なってくる。

後述するように、湖沼空間の要素分割の違いによって分類することができ、それぞれ取り扱う現象によって、適したモデルを選択することが望ましい。また、圧力や乱れの消長の取り扱いによってもモデルの精度が大きく異なる場合がある。洪水流やそれに伴う物質の拡散など、乱れが大きく、必ずしも静水圧を仮定できないような現象については、乱流モデルを組み込んだモデルや非静水圧による流れを考慮したモデルを用いることにより再現精度が向上する可能性がある。

また、シミュレーション計算はコンピュータを用いて行うことから、コンピュータの演算速度による制約を常に受ける。近年のコンピュータ技術の発達により、複雑な3次元計算をかなり長期間にわたり行うことが実用的に可能となってきたのはいるが、何十年もの間の再現計算を複雑なモデルで行おうとしても上で議論した入力情報の欠如などの問題や、計算時間が長く、条件を変化させるなどしたシミュレーション計算を数多く行うことができない等の問題が起こる可能性が高い。

このため、シミュレーションを湖沼の水理・水質管理に活用していくにあたり、対象とする現象や時間スケールに応じて、適切なモデルを選定する重要性について留意する必要がある。この点については、4.2で詳述する。

(3) 入力情報

必要な入力情報については、入力情報の精度がシミュレーション計算の精度を規定するという点において非常に重要である。シミュレーションモデルがいくら優れたものであっても、入力条件が不正確なものであれば、計算結果も同様に不正確なものとなる。湖沼の流動や水質のシミュレーションにおいては、計算に必要な入力情報が必ずしも完全にそろっているとは限らず、完全にそろっているということはむしろ希である。特に流入河川の流量や水質に関する情報は、極めて重要な要素でありながら、限られた情報しか存在しないというのが現状である。このような現状の下で、より正確なシミュレーション計算をするための一つ的手段に感度分析がある。感度分析は計算に用いるパラメータを変化させることで、計算結果がどれほど変化するかについて調べる手段である。モデル計算式のパラメータの設定において感度分析を行えば、そのパラメータが計算結果に対してどのようにどれほど影響を及ぼすのかを知ることが出来るし、入力条件を変化させることでも同様に感度分析を行うことが出来るため、モデルパラメータや入力条件の重要度の判定や、これらの誤差が計算結果にどれほど影響するかについて知ることが可能となる。

(4) 境界条件の扱い方

前述の正確な入力情報が必要であるという指摘と関連するが、シミュレーションにおいては、境界条件の扱い方が重要なポイントである。例えば汽水湖を対象としたシミュレーションであれば、潮汐の情報を正確に境界条件として与えない限り、正確なシミュレーションはできない（網走湖、小川原湖、中海・宍道湖など）。また、風による流れが卓越する湖沼では、水面に働く風応力をできるだけ正確に境界条件として与える必要がある（小川原湖など）。

モデル化が適切であれば、境界条件が正確にわかる地点を計算境界に設定することにより、正確なシミュレーション計算が可能となる。シミュレーション計算を行うにあたっては、計算領域の設定すなわち境界条件の設定の仕方に気を配る必要がある。

4.2 数値シミュレーション選定の考え方

4.2.1 数値シミュレーションモデルの種類

湖沼の流動特性や水質特性を把握（再現）するために利用されるシミュレーションモデルには、ボックスモデル、1次元モデル、2次元モデル及び3次元モデルに大別することができる。

これらは湖沼の要素分割の方法が異なっており、それに応じて取り扱うことのできる現象が異なってくる。さらにコンピュータへの負荷とそれに伴う計算時間等も異なってくるため、いたずらに高次元のモデルを選定すればよいものでもない。湖沼ごとの課題をふまえ、目的に対して必要十分な精度で予測する機能を持つモデルの中から、コンピュータへの負荷・計算時間が軽くて済むモデルを選定することが望ましい。

表 4.2.1に、研究や実務で使用されているシミュレーションモデルの一般的な特徴を整理した。

表 4.2.1 数値シミュレーションモデルの種類

モデルの種類	特徴	適用できる湖沼の条件	計算対象	利点	欠点	現象、対策の適用実績
ボックスモデル	<ul style="list-style-type: none"> 水域を縦断方向に複数のボックスに分け、各ボックス内での流入出に伴う水質変化を計算 水理量は収支のみ 水質は各ボックスの平均値 	<ul style="list-style-type: none"> 1ボックス内での水質分布が一樣とみなせる。 流動の時間変化の影響をある程度無視できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 水質のボックス内平均値 水表面における熱交換 物質収支（流入出+沈降） ボックスが複数の場合、縦断方向の移流・拡散も考慮可能 底質からの負荷は考慮可能 	<ul style="list-style-type: none"> 計算時間が短い 長期的な水質予測が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 全層混合を仮定しているため、成層化する湖沼には適さない 1BOX内での水質分布を表現できない 流動変化の影響は考慮しにくい。 	<ul style="list-style-type: none"> 富栄養化（アオコ） 浚渫効果予測
鉛直1次元モデル	<ul style="list-style-type: none"> 水域を層に分割し、水理、水質量の鉛直分布を計算 水理・水質量は層平均値 	<ul style="list-style-type: none"> ボックスモデル適用可能湖沼に加え、 比較的小規模で湖沼内の流動・水質の水平分布が一樣とみなせる。 湖沼形状がシンプル 	<ul style="list-style-type: none"> ボックスモデルに加え 水理、水質量の鉛直分布 	<ul style="list-style-type: none"> 計算時間が短い。 長期的な水理・水質量予測が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 平面的な水質変化の把握が不可能。 局所的な現象が表現しにくい。 	<ul style="list-style-type: none"> 富栄養化（アオコ） 曝気循環施設の効果予測
平面2次元モデル	<ul style="list-style-type: none"> 水域を水平方向にメッシュ分割し、水理・水質量の分布を計算 水理・水質量はメッシュごとに求められるが、鉛直方向の分布は一樣とみなしている。 	<ul style="list-style-type: none"> ボックスモデル適用可能湖沼に加え、 鉛直方向の水質分布が一樣とみなせる湖沼(例えば、広く浅い淡水湖) 入り江があるような形状が比較的複雑な湖沼 貯水池内対策検討の必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> ボックスモデルに加え 水理、水質量の水平分布 	<ul style="list-style-type: none"> 3次元計算より計算が速い。 中期(1~数10年)的な水理・水質量予測が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 鉛直方向の水質変化が表現できないため、成層化する湖沼には適さない。 	<ul style="list-style-type: none"> 富栄養化（アオコ） 浚渫の効果予測 導水事業の影響評価
鉛直2次元モデル	<ul style="list-style-type: none"> 水域を縦断・鉛直方向にメッシュ分割し、水理・水質量の縦断・鉛直分布を計算 水理・水質量はメッシュごとに求められるが、横断方向の分布は一樣とみなしている。 	<ul style="list-style-type: none"> 鉛直1次元モデル適用湖沼に加え、 形状が河川のように細長く、横断方向の水質分布が一樣とみなせる湖沼(例えば、ダム湖など) 支川が枝分かれするような形状が比較的複雑な湖沼でもある程度適用可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 水理、水質量の縦断および鉛直分布 	<ul style="list-style-type: none"> 3次元計算より計算が速い。 中期(1~数10年)的な水理・水質量予測が可能。 成層を制御するような対策を検討できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 横断方向の水質変化が表現できない。 吹送流など水平方向に分布が生じる流動を表現できない。 	<ul style="list-style-type: none"> 富栄養化（アオコ） 塩水による密度流
3次元モデル	<ul style="list-style-type: none"> 水域を縦断・横断・鉛直方向にメッシュ分割し、水理・水質量の3次元分布を計算。 水理・水質量の3次元的な分布が求められる。 	<ul style="list-style-type: none"> 鉛直2次元モデル適用湖沼に加え、 水平方向、鉛直方向に水質分布が生じる湖沼(例えば、密度流の生じる湖沼、水深の大きな湖沼など) 平面形状が複雑なもの 	<ul style="list-style-type: none"> 上記に加え 水理、水質量の3次元分布。 	<ul style="list-style-type: none"> 現象の3次元的把握が可能。 局所的な水理・水質特徴が表現できる。 密度流や風による流れ等を考慮できる。 より複雑な湖内対策施設の配置計画検討が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 3次元メッシュ分割を行うため、膨大な計算時間を要する。 中~長期計算には不向き。 	<ul style="list-style-type: none"> 富栄養化（アオコ） 青潮 塩水による密度流 浚渫の効果予測 密度成層の制御

4.2 数値シミュレーション選定の考え方

4.2.2 代表的な湖沼における水質シミュレーションの活用

表 4.2.2は、代表的な湖沼での水質シミュレーションの活用事例を示したものであり、シミュレーションモデルにより、様々な現象が取り扱われている。表中では、現象を大まかに分類しているが、青潮は塩水を伴った現象でもあり、貧酸素水塊の挙動でもあるため、“塩分挙動に係わる現象”や“生態系モデル等で取り扱う水質変化を伴う現象”にも分類できる。

それぞれの活用事例の詳細は6章に整理しているので、参考にしていきたい。なお、表 4.2.1で挙げたシミュレーションモデルの中で、鉛直1次元モデルは、6章で取り扱う代表的な湖沼の中では活用事例がないが、田沢湖など深く形状が複雑でない湖沼や小規模なダム貯水池での解析などに活用されている。また、霞ヶ浦の解析で活用されている1次元不定流モデルは、河川で適用されることが多いモデルであり、湖沼での解析としては、特異な例である。

表 4.2.2は、代表的な湖沼での水質シミュレーションの湖沼管理への活用実績を示したものである。数値シミュレーションでの検討により、事業実施時の環境影響や、水質改善効果等の予測に用いられている事例が多い。また、気象・水文などの条件と水質障害の関係を考察し、具体的な水質改善目標を設定した事例などが見られる。

表 4.2.2 シミュレーションモデルの活用事例

解析対象とする現象		網走湖	小川原湖	霞ヶ浦	琵琶湖	中海・宍道湖	6章掲載ページ
大分類	詳細						
塩分挙動に係わる現象	淡水流入、塩水流入に伴う湖内の流動現象	3次元					P6-50
	海水侵入時に生じる流動・湖内の塩分濃度変化		3次元				P6-94
	汽水湖における流動解析					3次元	P6-291
水面および内部界面の振動	静振の解析				平面2		P6-223
	内部界面の変動解析				3次元		P6-211
	静振の解析	3次元					P6-62
	青潮の解析	3次元					P6-64
生態系モデル等で取り扱う水質変化を伴う現象	貧酸素水塊の発生	3次元	鉛直2				P6-64(網走湖) P6-124(小川原湖)
	富栄養化(栄養塩、クロロフィルa濃度の変化、アオコ)	3次元	鉛直2	ブロック	3次元	3次元	P6-69(網走湖) P6-126(小川原湖) P6-187(霞ヶ浦) P6-231(琵琶湖) P6-303(中海・宍道湖)
吹送流	湖内で非一様な風によって生じる流れ		3次元				P6-112
	日成層の形成時に風によって生じる流れ			3次元			P6-175
	湖内流動解析				3次元		P6-217
人為的インパクトに関する解析	浚渫事業、導水事業の効果を試算			ブロック			P6-187
	潮止め水門操作時に生じる流れ				平面2		P6-156
その他	風波による底泥の巻き上げ			3次元			P6-180

ブロック・・・ブロックモデル

鉛直1・・・鉛直1次元モデル

鉛直2・・・鉛直2次元モデル

平面2・・・平面2次元モデル

3次元・・・3次元モデル

4.2 数値シミュレーション選定の考え方

また、今後の水質シミュレーションの活用方法として、表 4.2.3に示すようなものが挙げられている。これまでの、事業の環境影響評価や効果予測といった従来の活用法に加えて、流域住民とのコミュニケーションツールとしてのソフト的な活用も考えられている。また、流域水循環モデルとカップリングすることにより、流域全体として湖沼水質を管理していこうとする動向も見られる。

表 4.2.3 シミュレーションモデルの将来的活用方針

湖沼管理への活用方針		対象湖沼
湖内水理・水質現象把握の支援ツール		小川原湖
		中海・宍道湖
		霞ヶ浦
事業の環境影響評価、水質保全対策の効果予測	水質改善目標達成のための対策検討	網走湖
	塩淡境界の制御方法や効果検討	
	各種事業の環境影響評価	小川原湖
	流域特性の変化による湖内水質（富栄養化）への影響・対策検討	
	事業効果の試算	
	流域対策の効果の定量的評価。流域全体での水質評価	琵琶湖
	河川改修事業や各種水質浄化事業の評価	中海・宍道湖
	流域汚濁負荷削減対策による効果検討	
湖沼管理 流域管理	短期的水質予測結果を活用した順応的管理	霞ヶ浦
	面源系負荷対策も含めた適正な流域管理	琵琶湖
住民説明のためのコミュニケーションツール（現象のビジュアル化）		小川原湖

4.2.3 数値シミュレーションの選定方法

ここでは、代表的な湖沼におけるシミュレーションモデルの活用事例について、数値シミュレーションモデルの選定方法を整理した。

モデル選定する場合、それまでに用いていたモデル（既存モデル）を改良して使う場合と、新たに開発・導入する場合（新規モデル）が考えられる。また、新規のモデル開発をする場合には、初期検討になる場合と既往検討を踏まえた場合とで、視点が異なると考えられる。本節ではそれぞれの場合について論じた。

(1) 新規モデルの開発

ここで新規モデルの開発とは、流動を取り扱う次元を変えている場合、同じ次元でも物理方程式の離散化方法等の取り扱いが異なる場合である。既存モデルからこのような展開を図る場合には、開発に高度な技術力や費用を要することが想定される。

新規モデルの開発を行っている事例を見ると、そのきっかけとしては、初期検討と既存モデルの課題や新たな要望に応じてのものと2つに分けられる。

初期検討では、計算目的や湖沼の特性を踏まえて選定されている。

低次元のモデルが選定されるケースでは、“湖沼全体の平均的な水質”や“事業の効果や影響の大きかな傾向”を知りたいなど、計算目的が明確な場合が多い。

また、湖沼で生じている現象を踏まえた上で、簡略化をしても目的とした現象の再現は可能であると想定した上で選定している。

なお、表 4.2.4に、代表的な湖沼で用いられているモデルについて、計算目的や流動のとらえ方を、次元の異なるモデルタイプごとに整理したので参考にされたい。

4.2 数値シミュレーション選定の考え方

表 4.2.4(1) モデル選定にあたっての考え方

ブロックモデル			
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・計算負荷が小さい。 ・短時間の変化、局所的な分布等の再現には適していない。 ・長期間の概略的な水質変化や分布について短時間で成果を得る場合に適している。 		
適用実績のある湖沼	霞ヶ浦 (S52 ~ S53)、霞ヶ浦 (H3 ~ H12)、琵琶湖 (H4 ~ H9)		
選定にあたっての考え方	湖沼の特性	<ul style="list-style-type: none"> ・湖沼の形状が広く浅いため、鉛直混合が大きく、鉛直方向の水質分布はほぼ一様とみなせる。 ・風により水平循環流が生じ、水平方向の水質分布に及ぼす流動の影響は小さいとみなせる。 	霞ヶ浦
	計算の対象	<ul style="list-style-type: none"> ・長期的な水質変化を期間平均値レベルで評価したい。 	霞ヶ浦
鉛直一次元モデル			
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・水域を層に分割し、水理、水質量の鉛直分布を計算 ・水理、水質量は層平均値 		
適用実績のある湖沼	比較的小規模なダム貯水池、田沢湖など		
二次元モデル (平面)			
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・水平方向の水質分布を考慮できる。 ・計算負荷は3次元モデルに比べて小さい。 ・鉛直方向の水質分布は一様とする。 		
適用実績のある湖沼	霞ヶ浦 (潮止め堰水門開閉時の流れ解析)		
二次元モデル (鉛直)			
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・鉛直方向の水質分布を考慮できる。 ・計算負荷は3次元モデルに比べて小さい。 ・水平方向の水質分布は、流れが卓越する方向にしか考慮できない。 		
適用実績のある湖沼	小川原湖 (H6 ~)、小川原湖 (H9 ~)		
選定にあたっての考え方	湖沼の特性	<ul style="list-style-type: none"> ・横断方向の濃度変化は一部の水域を除き、さほど大きくない。 	小川原湖
	計算の対象	<ul style="list-style-type: none"> ・計算時間や出力データ量を軽減したい。 	小川原湖

表 4.2.4(2) モデル選定にあたっての考え方

三次元モデル			
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的にどのような湖沼にも適用可能 ・計算負荷がかかる（計算時間大、計算費用大） 		
適用実績のある湖沼	網走湖（H1～H4）、網走湖（H13～）、小川原湖（H11～H13） 中海・宍道湖（H10～H13）、中海・宍道湖（H14～）、琵琶湖（H11～13）		
選定にあたっての考え方	湖沼の特性	・水質分布が三次元的である。	小川原湖
		・密度流等の複雑な流動現象が生じている。	網走湖 中海・宍道湖
	計算の対象	・局所的な水質現象の再現を行いたい。 （アオコの発生、浚渫・覆砂の効果等）	網走湖 琵琶湖 中海・宍道湖
		・気象条件や水文条件により短期間に生じる急な変化を取り扱いたい。 （風、洪水、高潮等）	中海・宍道湖
		・密度流によって生じる水質変化を取り扱いたい。 （流出河川からの塩分フラックス）	網走湖 中海・宍道湖

既存モデルの課題や新たな要望に応じて、モデルを新規開発した事例では、低次元のモデルによる計算の分解能が、実際の現象を再現するのに不十分である場合に、高次元のモデルに移行するケースが見られる。また、同じ次元のモデルでも、湖沼の要素分割の仕方によって流動の再現性をより高めるために、適用する座標を直行座標から一般座標に変えている例もある。

逆に、高次元のモデルが負荷（計算時間、出力データ量）が大きいことから、計算目的に応じて低次元に変更した事例もある。

4.2 数値シミュレーション選定の考え方

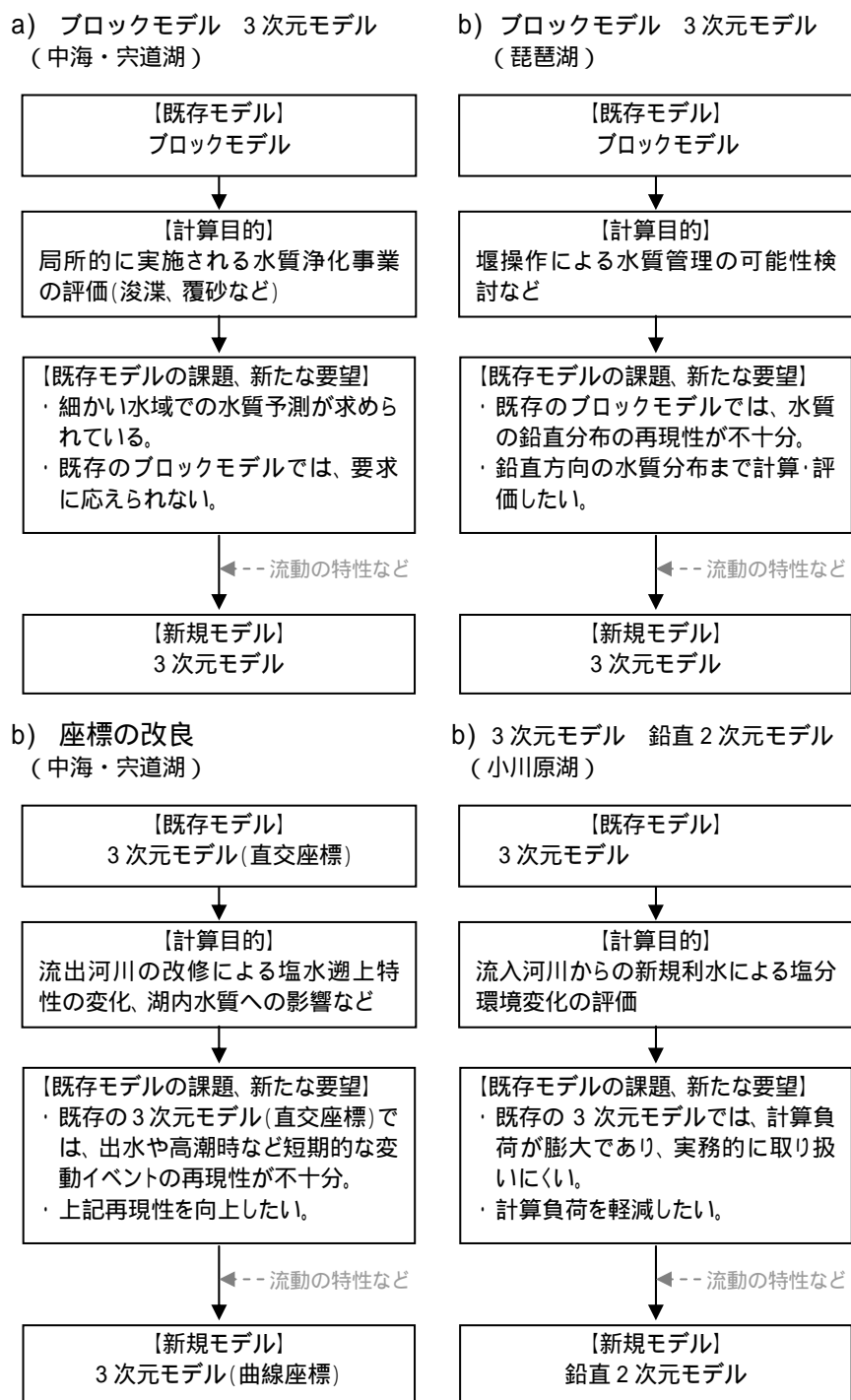


図 4.2.1 既存モデルの課題・新たな要望に応じたモデル新規開発の経緯（例）

(2) 既存モデルの改良

既存モデルの改良では、同じベースのモデルをを使いつつ、湖沼の要素分割方法を変更したり、解析したい現象（例えば、富栄養化など）に応じて、水質モデルを追加する。このような展開を図る場合、方程式の離散化など、モデルの核となる部分は既存モデルと同様であるため、要する技術力や費用は、新規モデルの開発に比べれば少ない。

(3)シミュレーションモデル選定の視点

代表的な湖沼でのモデルの事例に基づき、シミュレーションモデルを選定するにあたっての視点を整理した。

1) 計算目的の明確化

計算目的を明確にしておく、モデルの選定がしやすい。

空間スケールについて、湖内平均水質など大雑把なスケールでわかればよい場合には低次元のモデルの適用が可能であるし、特定水域の水質など局所的なスケールでの現象を知りたい場合には、高次元のモデルを選定する必要性が出てくる。

時間スケールについては、1年以上の長期的な変動を知りたい場合には、高次元のモデルを使うと計算が一向に終わらず、答えが得られない恐れがあるため、低次元のモデルを選定する必要性が出てくる。逆に出水や高潮など短期的な現象を知りたいのであれば、高次元のモデルでも精度の高い計算を目指してもよい。また、アオコの発生や貧酸素水塊の発生のように、原因となる有機物や栄養塩自体は出水等のイベントで湖内に入ってくるが、発達するまでに数週間以上を要するような現象については、ある程度、計算時間の早いモデルを選定する必要性が出てくる。

以上のような、対象としたい時間・空間スケールを踏まえたうえで、どの程度の精度で答えを求めたいか等によって、必要十分なモデルを選定すればよい。

この際、湖沼の水質レベルを勘案することも考えられる。湖沼の水質レベルによって適したモデルを一概に決めることはできないが、水質レベルが良好で、特に水質障害が起きておらず、早急な対応を迫られていない湖沼であれば、あまりに計算精度を追求したシミュレーションを行う必要性は低いということは考え得る。つまり、これについても管理者が計算目的をどのように考えるかによってモデルが決まるということである。ただし、どの程度の簡略化までが可能かについては、次に述べる流動特性の洞察とも関連させて考える必要があろう。

2) 流動特性の洞察

計算目的を明確にするとともに重要なのが流動特性の洞察である。

湖沼の形状や流動特性により、モデルをある程度簡略化しても、得たい答えの精度に及ぼす影響が小さいという洞察ができれば、モデルの簡略化が可能となる。

例えば、広く浅い湖沼では、風波による混合の影響が大きく、鉛直方向の水質分布はほぼ一様とみなせる場合など、3次元モデルでなく、平面2次元モデルでも十分に現象を表せる可能性がある。また、ダム貯水池など、湖沼の形状が河川に近いような場合、横断方向の分布は一様と考えて、鉛直2次元モデルを適用できる場合も多い。

また、計算でターゲットとする現象の特性に注目することも有効である。例えば、青潮を取り扱うことを考えた場合、貧酸素水塊の発生には鉛直方向の成層を表現しなければいけないため、鉛直方向への要素分割が必要（鉛直1次元以上）となる。さらに、内部静振等の影響で貧酸素水塊の水平方向の動きを表現するために、水平方向の動きまで再現可能なモデル（鉛直2次元、3次元）が必要となる。

以上のような現象の表現力について、3次元モデルは、“選定によるリスク”が少ないモデル

と言える。低次元のモデルを選定しようとするほど、現象の理解が要求される。

3) 経済性・効率性

経済性や検討の効率性の面から見て、モデルの簡略化の必要性が生じる場合がある。

なお、経済性や効率性のみを考えて低次元のモデルを選択することには意味がない。この場合、1)と2)の過程を経て、低次元のモデルの適用が可能かどうかを吟味する。

経済性や効率性の観点から、解析対象の現象の再現能力が足りないと想定されるモデルを選定することとなった場合には、計算・予測結果の評価において、モデルの限界による誤差が含まれていることを踏まえておかなければならない。

【アカウントビリティとのバランス】

説明責任が伴う検討においては、どの程度のレベルの答えが求められるかを考えると、シミュレーションで表現したい空間スケールを考える際の参考となり得る。

- ・ 傾向程度でよいのか
- ・ 数値の明確化が必要か、またその有効数字はどの程度か

【検討する事業（費用）規模とのバランス】

経済性を考えてモデルの精度を犠牲にした場合、予測誤差により事業に過剰投資をする可能性もある。この場合、モデルの精度を向上することで、最適な事業規模と事業費を予測することにより、過剰投資を避けられる可能性もある。

通常、調査・解析費用より事業費用の規模は大きいいため、調査・解析へ投資することで、事業の総額を削減できる可能性がある。

4.2.4 数値シミュレーションの課題など

各湖沼において、モデル選定の経緯は様々であるが、選定されたモデルによるシミュレーション結果に対する評価は概ね以下のように整理される。

- ・実務上の目的を達するには十分な精度が得られたと評価されている。

検討に使用されるモデルの種類、それによって得られる結果の精度は個々に異なっている。しかし、数値シミュレーションで得たい答えがある程度明確になっているため、当初の目的から判断した場合、十分な精度が得られていると評価されている場合が多い。シミュレーションモデルの選定にあたっての、計算目的の明確化の重要性が示されている。

- ・モデルの次元に関わらず、現象を完璧に再現することは難しい。

実務上の目的から判断して十分な精度があると判断された結果においても、諸処に現象の再現が不十分である点が見られ、課題として挙げられているケースが多い。

この点は選定したモデルの種類に関わらず同様である。これは、完璧なモデルが存在しないことを示唆している。

従って、数値シミュレーションを湖沼管理に活用する場合には、結果の評価にあたり、モデルに対する明確な基本スタンス（計算目的や必要精度レベルなど）を湖沼管理者が持つておくことが要求されていると考えられる。

モデル構築に関するワンポイント・アドバイス

流動現象を再現できるシミュレーションモデルがある程度構築できたとしても、湖沼の流れと水質や生物との関係を考える場合は、時間スケール、緩衝能、突然変化などの問題があることに留意しておく必要がある。

流れのシミュレーションで現地観測結果を再現できたとしても、それは瞬間瞬間の再現結果であり、水質や生物は流れの変化の累積や変化の残差の累積によって変化するという知見に立てば、実態解明も不十分な状況では現行の水質・生態系モデルにはまだまだ課題が多い。

しかしながら、水質保全や生態系保全は緊急を要する課題でもあり、それぞれの湖沼の状況に応じた試行錯誤的な水質・生態系モデルの構築も必要である。

第9回世界湖沼会議（2002，大津市）の湖沼技術研究会の自主企画ワークショップにおいてデビット・ハミルトン氏が紹介した、西オーストラリアの約1万の湿地保全に適用されている「概念モデル」や「確率論モデル」も有効なツールの一つである。

シミュレーションモデルによらない水質予測

数値シミュレーションモデルの発達に伴い、近年では湖沼水質の予測精度も向上してきている。しかし、湖沼のあらゆる水質解析に対し、こうしたシミュレーションモデルを用いた予測を行うには多大な労力を要する。また、水質レベルが低く、水質障害が起きていない湖沼では、数値シミュレーションを用いた精緻な定量的検討の必要性が乏しい場合もある。

ポーレンワイダーは、湖沼の総リン(T-P)濃度と富栄養化現象の発生に、強い関連性があることに注目し、1年単位のリンの物質収支計算から、湖沼の富栄養化可能性の簡易予測を行うモデルを提案している。

国内においても、ダム建設に伴う環境影響評価などにおいては、数値シミュレーションを用いた解析が一般的となっているが、富栄養化しにくいと想定されるダム貯水池では、ポーレンワイダーモデルで簡易予測を行い、その結果により、数値シミュレーションによる検討の必要性を判断しており、検討の効率化が図られている。

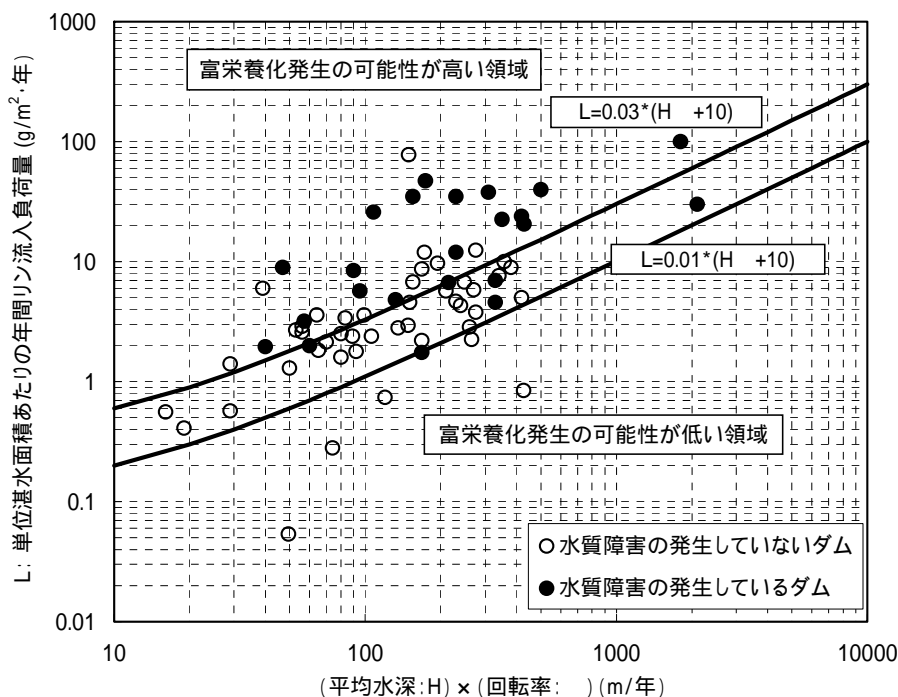


図 4.2.2 ポーレンワイダーモデルを用いた富栄養化可能性の判定図

また、湖沼での水収支をモニタリングデータ等に基づいて経験的に定式化し、長期的な水質変動等の予測に用いられている。こうした水収支モデルもまた、数値シミュレーションによらない解析手法の1つと言える。

6章においてもこうした水収支モデルの活用事例が紹介されているので、参照されたい。

表 4.2.5 水収支モデルの活用事例

現象	湖沼	掲載ページ
淡水・塩水流入量の経年変動 湖内塩淡水境界の長期的な変動	網走湖	P6-50
湖内塩分量の経年変動	小川原湖	P6-94

第4章の参考文献

- 1)石川忠晴：環境水理計測の組み立て方と留意点，水工学に関する夏期研修会講義集，vol.34-A，pp.4.1-4.16，1998.
- 2)鈴木伴征，鶴田泰士，石川忠晴：河川・湖沼等におけるDO空間分布の高速計測，水環境学会誌，vol.21，pp.455 - 459，1998．
- 3)柳哲雄：海洋観測入門，恒星社厚生閣，2002.
- 4)（財）河川環境管理財団，（財）ダム水源地環境整備センター：河川・ダム湖用水質測定機器ガイドブック，技報堂出版，2000.
- 5)関西電力株式会社，株式会社ニュージェック：H-ADCPによる断面流量観測システム（広報資料），2002.
- 6)Fujii, T. :Relationship of Internal Waves with Tide and Wind Drift Effects and Propagation of Internal Kelvin Waves in Brackish Lake Nakaumi, Jpn. J. Limnol., Vol.58, No.3, pp.241-260, 1997.
- 7)葛西賢三，松澤震介，久保添恭之：網走湖における塩淡境界層水深について，河川環境管理財団，河川環境総合研究所報告，第7号，pp.1-11，2001年7月.