

参考資料2－5

「森林の保水力の共同検証」に関する主な主張（概要）

平成16年12月17日

1 「川辺川ダムを考える住民討論集会」の論点抜粋 （森林の保水力部分）	1
2 「森林の保水力の共同検証」における主な主張の整理	
(1) 河川への流出過程等	2
(2) 地表流の発生状況	3
(3) 地表流観察試験	4
(4) 散水試験	5
(5) タンクモデル	6
(6) 浸透能調査	9
(7) 土壌サンプル測定	10
(8) 土壤への浸透及び蒸発散量図	11
(9) 流域の森林の状況	11
3 参考資料	
(1) ダム反対側資料	12
(2) 国土交通省資料	32

※「資料（P）」印の付いた主張等は、「3 参考資料」の該当ページをご参照下さい。

この資料は、森林の保水力の共同検証で総合コーディネーターを務める熊本県が、これまでの住民討論集会、専門家会議、双方の提出文書、OHC資料等から、取りまとめたものです。

1 「川辺川ダムを考える住民討論集会」の論点抜粋（森林の保水力）

ダム反対側	国土交通省 推進・容認側
森林の保水力	
①森林の斜面を水が流れる場合、(1)表層流、(2)中間流、(3)地下流の3つの流れがある。浸透能が高く、(2)、(3)まで雨水が浸透すれば、森林の保水能力は高く、ピーク流量が低減される。	①森林を伐採しても、森林土壌が残っていれば浸透力はほとんど変わらない。
②広葉樹林と手入れの悪い人工林では浸透能に約2.5倍ほどの差がある。 (広葉樹林と手入れの悪い人工林とで) 浸透能に差があるとしてもそれはあくまでも相対値で、測定された浸透能の値がそのまま実際の降雨時の、特に集中豪雨時の浸透能として評価することはできない。	②我が国の森林土壌は浸透能が非常に大きいので、広葉樹であっても針葉樹であっても、通常、雨水は全て浸透し地表流は発生しない。よって浸透能が増加したとしても、森林の洪水緩和機能は変わらない。
③浸透能が高ければ、400ミリ近い大雨が降った場合、仮に国交省が主張しているように森林の保水機能が頭打ちになるとしても、残りの200ミリの雨水について、徐々に河川に放出することとなり、例えばピーク流量を30~40%削減できるなど、一定の洪水調節機能を発揮すると考えられる。	③森林の保水能力は、雨量が200ミリぐらいで頭打ちになり、400ミリ以上になると非常に大きな雨量の時には、森林の保水能力だけでの洪水への対応は不可能。大規模な洪水時には、洪水がピークに達する前に流域が流出に関して飽和に近い状態となるため、ピーク流量の低減効果は大きくは期待できない。
④人工林を間伐など本来の手入れをすることで浸透能が改善され、保水力が増大する可能性が高い。 国交省のもつ大量のデータを情報公開し、現地の状況について検証すべき。	④最終浸透能のデータについては、これまでの研究で既に大体分かっている状況であり、森林に過度の洪水調節機能を期待するのは危険。間伐等を行い、森林の状態を良くしたり、天然林に戻しても、そんなに大きな変化は期待できないというのが森林水文学の考え方。

2 「森林の保水力の共同検証」における主な主張の整理

(1) 河川への流出過程等

項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
流出過程	<p>①森林の斜面を水が流れる場合、(1)表層流、(2)中間流、(3)地下流、の3つの流れがあり、土壤の浸透能が低ければ相対的に表層流が大きくなる。逆に、浸透能が高ければ表層流は小さくなる。 [資料1 (P13参照)]</p> <p>②表層流が大きくなれば、同じ雨の量でも短時間に河川に流出することになり、ピーク流量を押し上げる。</p> <p>③地表流は表層流のうち地表面を流れるものであり、表層流が大きくなれば地表流も多くなる。(地表流は表層流の象徴)</p>	<p>①日本の森林土壤は浸透能が高いので、降雨初期の段階では、雨水は全て鉛直方向にしみこむ。 [資料9 (P33参照)] [資料10 (P34参照)]</p> <p>②中小洪水の場合、しみこんだ雨水が透水性の低い層の上で飽和状態となり、斜面方向に流れ(飽和側方流)、河川に流出する。 [資料11 (P35参照)]</p> <p>③河川計画で対象とする大雨の場合、飽和側方流が斜面下方で地上に現れ地表流(飽和型)となり、降雨のほとんどが河川に流出する。この時点では森林の保水能力はほとんど無い状態。 [資料12 (P36参照)]</p>
地表流発生のメカニズム	<p>①斜面にしみこんだ雨水は、真下に浸透するだけではなくて、かなりの量が斜面に沿って下方に流れ(側方流)、斜面の下方へ行くほど水が蓄積されて、表層土壤の浸透能が低下し、地表流が生み出される。</p> <p>②斜面の土壤の状態や斜面内の水の動きは非常に複雑でヘテロ(不均質)なので、シミュレーション結果は現実とかけ離れたものとなる。</p>	<p>①普通、雨が降ると、斜面でも表層付近は鉛直降下浸透しかせず、表層内で側方流は発生しない。 [資料13 (P37~38参照)]</p> <p>②ホートン型地表流の発生は地表面の浸透能が問題で、斜面上部からの水分供給による影響を受けない。</p>

<用語注釈>

- ・浸透能：森林土壤が一定時間に浸透させることができる雨水の量。(単位はmm/時)
- ・飽和地表流：森林土壤中で飽和状態になった水分が地中を斜面下方向へ流れ、斜面下部で地表面に現れる水の流れ。
- ・ホートン型地表流：降雨の強度が土壤表層の浸透能を上回った場合、降雨の一部が土壤に浸透せずに地表面に現れる水の流れ。

(2) 地表流の発生状況

項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
地表流の発生状況	<p>①大通峠等の手入れの悪い人工林では頻繁に地表流が発生し、それによって斜面上部も含む斜面全体で、ほぼ全面的に表土が流亡し、樹木の根が表面に現れている。特にヒノキ林では、表土の流亡が激しく、10年から20年の表土が流亡しきっているところもある。</p> <p>②吉野川流域でも、表土が流亡し樹木の根が露出している箇所が、1平米に1箇所程度ある。</p> <p>③地表流は滝のように斜面全体に流れるのではなく、水みちに集中して現れ、筋になりはっきり視覚的に見える。それが、一つの斜面で1、2箇所くらいではなく、かなりの頻度見られる。</p>	<p>①河川計画で対象とするような大雨の場合、雨水は一旦は森林土壤にしみこむが、森林土壤が水を貯める機能はほぼ一杯になり、斜面下方で飽和地表流が発生する。</p> <p>②球磨川流域では、過去から森林土壤は存在し続け、通常、雨水は浸透するので、ホートン型地表流は発生しないか、発生しても局所的。</p> <p>③ヒノキ林でもスギ林でも、水みちがあって洪水時にホートン型地表流が流れているところは局所的にはあるが、広い面積で一様ではない。</p>

(3) 地表流観察試験 (自然降雨による地表流の観察)

項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
共同検証による論証 ※H16.7.1 県配布資料より	<p>①人工林は、自然林と比較して浸透能が低く、地表流が発生する。</p> <p>②今回の試験により、代表性のある斜面の全面において地表流が発生することを確認する。</p> <p>③この結果、流域全体において地表流が発生することを推定する。</p>	<p>①自然林でも人工林でも浸透能は高く、雨は通常しみこむ。</p> <p>②ホートン型地表流は発生しないか、発生しても局所的。</p> <p>③今回の試験により、反対側が最もホートン型地表流が発生するという幼齢林においてホートン型地表流が発生しないことを証明する。</p>
観察方法機器等	<p>○ビデオカメラによる自動撮影</p> <p>①ビデオであれば、同じ斜面の自然林と人工林、放置人工林で、地表流発生状況がどの程度違うかがビジュアルに分かり、県民も理解しやすい。</p> <p>②森林の地表面はデコボコな状態で、それに沿って取水用の板を設置することは困難なため、地表流量を正確に把握することはできない。</p>	<p>○集水装置（樋）による地表流量の測定</p> <p>①森林土壤の表面には下草や落ち葉の層があり、ビデオカメラで地表流を確認することは不明瞭かつ困難。</p> <p>②試験地を区切って、降雨量や地表流量を測定する。地表流の量的な把握が目的。このような方法は、森林水文学の研究でも取り入れられており、地表流発生をきちんと捉えることは可能。</p>
候補地		
森林土壤の確認	<p>①国提案候補地は、落ち葉が積もってA層、B層ができた一般的な褐色森林土壤ではない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国側提案候補地①（飯干地区）は、表土に大量の礫（れき）が露出し、礫の中に多少土がある状態。 ・国側提案候補地③（清楽地区）は、石と泥がダラダラ混ざった状態で、各層に深いところに炭が出てくる。ススキの草地（カヤ場）として維持されてきたところ。 <p>②A層、B層など、成層構造をしているのが褐色森林土壤。C層以下で礫が多くても、A層、B層が形成されればいい。</p> <p>③県の森林土壤調査では、森林は全部褐色森林土壤として分類している。別に調べたわけではなく、以前からそういう定義に基づいて分類しており、本当に褐色森林土壤かどうかは一つ一つ調べないと分からない。</p>	<p>①（国側提案候補地は）褐色森林土壤である。</p> <p>②国側提案候補地③（清楽地区）の土地の履歴は地権者に確認する。</p> <p>③表層土壤が成層していればいいか。（A層B層が形成されれば典型的な褐色森林土壤であることについては、9月2日協議で国交省も合意）</p>
新たな候補地	<p>①来年に向けて、もう1、2箇所、もう一度探したい。その際は幼齢林も併せて探すので、情報として国に提供する。</p>	<p>①今年度、新たな試験地での実施は困難。</p> <p>②来年度実施については、来年度に協議すればいい。</p>

(4) 散水試験 (人工降雨による地表流の観察)

項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
共同検証による論証 ※H16.7.1 県配布資料より	(地表流観察試験に同じ)	(地表流観察試験に同じ)
散水面積	<ul style="list-style-type: none"> ○斜面上下20~30m、幅15m ○斜面上下については、5mから順次拡大 	○数m四方
根拠となるメカニズム等	<p>①実際の降雨（斜面全体に降る）に近い状態で試験するため、広い面積が必要。</p> <p>②地表流は、斜面全体に雨が降った時に、斜面の上から来る水で浸透が抑えられ、浸透できず斜面に沿って流れてくる水。狭い範囲に散水しただけでは地表流を見ることはできない。</p> <p>③斜面上層から来る水を遮断すると、浸透する水の量は大幅に減るので、広い面積の散水が必要。 【資料2(P14参照) 【資料3(P15参照)]</p>	<p>①科学的に必要最小限の試験規模で実施。</p> <p>②簡易なシミュレーションの結果、3、4m範囲で散水すれば、その中央付近の含水率はある程度広い範囲で散水した場合と近似できるので、散水範囲は数m程度で十分。</p> <p>③既往の実験のほとんどがほぼ同規模。</p>
災害の可能性	<p>①国が言っている実験は斜面崩壊実験であり、我々が言っているのは川辺川流域でたびたびあるような規模の雨を降らそうという実験。</p> <p>②その斜面が今まで崩壊していないということは、過去この地域での最大規模の降雨に耐えられることを示唆。</p>	<p>①昭和46年に行われた国立防災科学技術センターの実験(25m×20m、日雨量252mm)では斜面崩壊が起こり、大災害(15名死亡)が発生しており、流域の安全に問題がある試験を行うことは不適当。 【資料14(P39参照)]</p> <p>②川辺川流域では、計画規模以下の降雨でも土砂災害発生の実績があり、大規模な散水試験は非常に危険。</p> <p>③斜面を滑らせたくないというのが一番の要点なので、そこを10m程度ではどうかという協議ならば可能。</p>
試験の方 法、機器	○散水スプリンクラー(3列5m間隔)	○人工降雨装置(数m四方)
散水量 ・時間	○8~60mm/hの範囲を数時間から数日	○最大50mm/h程度を数時間

(5) タンクモデル

項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
総論	<p>①球磨川流域の各年代で森林の状態が異なっていたことを調査した上で、各年代の洪水をタンクモデル解析し、そのモデルを使い代表洪水の降雨で流出計算したときのピーク流量を森林の保水力による洪水緩和の能力と考える。</p>	<p>①タンクモデルは、傾向の異なるいろんな複数のモデルを作ることが出来るため、タンクモデルの計算流量を基に森林の洪水緩和機能を評価することは出来ない。 [資料15 (P 40参照)]</p>
タンクモデルの作成手法	<p>①10個の洪水という訳ではなく、洪水時も平時も合う係数を選ばなければならぬ。そういう係数は簡単には決まらない。</p> <p>②洪水時と渴水時の両方に適用できるタンクモデルを開発した。</p> <p>③川辺川の場合、長期のデータが非常に少ないが、吉野川では、長期(365日)の洪水データを使ってタンクモデルを作成してみると、適合度は悪くない。</p> <p>④当然ばらつきはあるが、もっとダイナミックな流れを見るのがタンクモデル。川辺川でも詳細なデータが提供されれば、ばらつきの問題もクリアできる。</p>	<p>①タンクモデルの係数を定めるには、少なくとも10個の洪水データが必要。ダム反対側のように、一つの洪水だけで係数を決めても、科学的根拠になり得ない。 [資料16 (P 41参照)]</p> <p>②洪水時と渴水時で同じタンクモデルを使う訳ではなく、区別して考えなければならない。 [資料17 (P 42参照)]</p> <p>③ダム反対側のタンクモデルは、流域の森林状況を反映しているとのことで、同じ年の洪水は全て同じ傾向で出るはず。しかし、国交省でダム反対側の平成7年のタンクモデルを検証した結果、実際にはピーク流量の出方が大小まちまちで、そもそもタンクモデル自体が洪水を再現できていない。 [資料18 (P 43参照)]</p>
土壤浸透能とタンクモデルの関係	<p>①タンクモデルの係数は、流域平均浸透能から決まるのではなく、現実の河川流量に合わせて作るもの。流域平均浸透能とタンクモデルの係数値には相関があることをついためた。 [資料4 (P 18参照)]</p> <p>②流域平均浸透能が大きくなると、第1タンクから第2タンクに行く穴は大きくなり、第1タンクから河川に流れていく地表流、表層流の流れが小さくなる。 [資料4 (P 18参照)]</p> <p>④第1タンクの係数変化は、表層土壤の変化が影響しており、第2・第3タンクの係数は50年間程度は同じ係数で実際の流量をある程度評価できると分かった。 [資料4 (P 17参照)]</p> <p>⑤これらのこととは、川辺川柳瀬や吉野川でのタンクモデル解析結果と平均浸透能との関係から示唆されている。 [資料4 (P 19参照)]</p>	<p>①ダム反対側は、一貫して流域平均浸透能とタンクモデルの係数は1対1の関係があって、流域平均浸透能からタンクモデルを決めたと言われている。</p>

(5) タンクモデル(つづき)

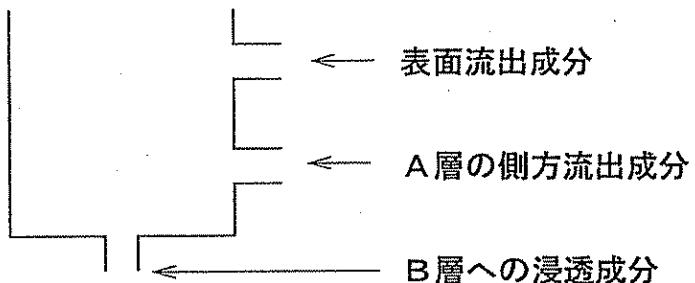
項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
土壤サンプル測定とタンクモデルの関係	<p>①土壤の三層構造や孔隙率、最大貯水量を測定すれば、土壤構造と浸透能との関係や第1タンクの流出孔の高さと土壤の貯水力との関係の有無も示される可能性がある。 [資料4(P19参照)]</p> <p>②タンクモデルの流出孔の高さやその他の係数との関係はこのような実験、調査(土壤サンプル測定)によって初めて解明される。 [資料4(P19参照)]</p>	<p>①ダム反対側は、浸透能からタンクモデルの係数が決まって、それでピーク流量が決まると言っている。 そうすると、透水係数やpF試験(土壤サンプル測定)を実施する意味はないのではないか。</p> <p>②タンクモデルの妥当性を議論しなければ土壤サンプル測定の目的が見えない。</p> <p>③土壤サンプル測定は、タンクモデルの係数に繋げていくためとのことだが、この係数設定の問題が全く議論されてない。我々は全く間違っていると思っている。</p>
その他	①単位図法や貯留閑数法より、タンクモデルの方が(流出解析の手法としては)はあるかに精度が高いと思っている。	

<用語注釈>

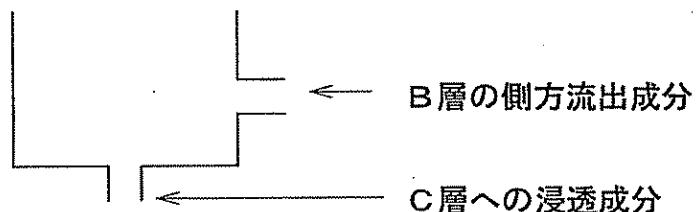
- ・タンクモデル：降雨量から河川への流出量を導き出す流出計算手法の一つ。
[県作成資料(8ページ)を参照]
- ・土壤三相構造：土壤が、固体(固相)、空気(気相)、水分(液相)の3つの相で構成されていること。
- ・孔隙率：土壤の細かい粒子の間に、空気や水が入る隙間(孔隙)がどれだけあるかを示したもの。
(単位は%)

タンクモデルの構造及び係数値と森林土壤との対応 (ダム反対側の主張)

第1タンク（落葉層とA層等の表層土壤）



第2タンク（B層等の中間層土壤）



第3タンク（地下滯水層土壤）



■各タンクの流出孔、浸透孔の大小、高さについて

- ・流出孔の大小：側方流速度の大小（流域平均値）を反映
- ・浸透孔の大小：鉛直方向の浸透速度（流域平均値）を反映
- ・流出孔の高さ：平均的な貯水容量を反映

※この資料は、国交省からの質問に対するダム反対側からの回答文書（6月10日付）の「(2)『土壤サンプル試験等と基本高水のピーク流量との関係について』への返答」（資料4(P16～)参照）より県において作成。

(6) 浸透能調査

項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
共同検証による論証 ※H16.7.1 県配布資料より	<p>①自然林と人工林とで浸透能に差がある。</p> <p>②浸透能の測定結果をタンクモデルに反映させる。</p> <p>③流域全体の流出モデルを作り、流出量を想定し、ピーク流量を3、4割削減できることを証明する。</p>	<p>①自然林と人工林で浸透能に大きな差はない、雨は通常全てしみこむ。</p> <p>②浸透能と洪水緩和機能は一致しない。</p> <p>③流域森林の保水力は250ミリ程度で頭打ちとなり、過去から変わらない。</p>
必要性	<p>①植生の変遷により浸透能がどの程度変化するのか調べるため、同一斜面（土壤の土質、構造、地形がほぼ同じ）に隣接した自然林、人工林等で浸透能調査を行う必要がある。</p>	(必要なしと主張)
これまでの主張	<p>①（「治水力浸透能の相対評価表」をもとに、植生や林齢の違いによる治水力を相対数値として示し）自然林は人工林と比べて浸透能が2.5倍高い。 ↓ [資料5 (P24~25参照)]</p> <p>②浸透能調査の結果や森林データから、流域の平均浸透能の変遷を推定する。 ↓ [資料6 (P26参照)] [資料7 (P27~29参照)]</p> <p>③流域平均浸透能とタンクモデルの係数に相関関係があることをつきとめた。これにより流域の流出量を算出し、ピーク流量を3割削減できることが証明できる。 ↓ [資料4 (P18参照)]</p> <p>④ポイントのデータ（浸透能）が流域全体の流量と相関関係があれば、浸透能データは流域全体を評価する基礎データになりうる。</p>	<p>①「治水力浸透能の相対評価表」の数値の根拠が分からず、どういうデータに基づいてこの表がつくられたのか説明されない限り、森林の保水力は空理空論に過ぎない。</p> <p>②ダム反対側は、浸透能が洪水のピーク流量の低減に与える影響を定量的に示しておらず、浸透能測定の必然性はない。</p> <p>③浸透能調査など個々のポイントのデータを積み重ねて、大流域のピーク流量への影響を評価する手法は、まだ森林水文学の中でも確立されていない。</p>
試験方法	<p>○冠水型円筒浸透能計で測定</p> <ul style="list-style-type: none"> 底なしの円筒（直径20~30cm、高さ40cm）をA層下部まで打ち込む。 これに貯水タンクから一定速度で注水し、規定水位から30mm~50mm浸透する時間を繰り返し測定。 測定値が安定した値をもって浸透能とする。 	(提案なし)

(7) 土壤サンプル測定

項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
共同検証による論証 ※H16.7.1 県配布資料より	<p>①自然林は土壤の貯水力が大きい。</p> <p>②土壤の貯水力が10%向上すれば、ダム1基分の保水力向上の可能性がある。</p> <p>③測定により、植生の違いによる土壤の貯水能力の違いを比較検証する。</p> <p>④測定結果をタンクモデルに反映させ、ピーク流量への影響を検証する。</p>	<p>①流域森林の保水力は250ミリ程度で頭打ちとなり、過去から変わらない。</p> <p>②サンプル調査では、流域レベルのピーク流量への影響を検証できない。</p> <p>③新たなメカニズムの主張であり、討論集会で議論すべき。</p>
必要性	<p>①自然林が、放置人工林等と比較して、保水力（貯水力）が大きいことを明らかにするため、同一斜面に隣接する放置人工林と自然林等でそれぞれ土壤サンプルを採取し、その孔隙率や最大容水量を調べる必要がある。</p>	(必要なしと主張)
これまでの主張	<p>①タンクモデルの係数の変化は流域の土壤の変化に対応しており、土壤構造の違いを確認するために、土壤を採取して透水係数を測る。</p> <p>②表層の土壤を層別に取り、その土壤構造、孔隙率や酸素濃度、pF値を見る試験を行う。</p> <p>③放置人工林と自然林とでは地表流の発生に違いがあるが、土壤サンプル測定により、この違いが表層土壤の構造とどう関係するのかを説明できる。</p> <p>④ポイントの調査（土壤サンプル）だけでなく、タンクモデルで流域全体の評価をしている。ポイントのデータについて植生の違いの影響だけをきっちり評価すれば、直接結びつかなくても流域全体の流出量と非常に強い相関関係があることが分かる。</p>	<p>①ダム反対側は、流域の平均浸透能とタンクモデルの係数からピーク流量の削減量を算出しており、新たに土壤サンプル調査をする必要はない。</p> <p>②透水係数の測定結果から流域全体の何が分かり、孔隙率の増加がピーク流量にどれだけ影響するのか説明が必要。</p> <p>③透水係数について、A層の土壤を乱さず採取することは非常に困難で、試験結果と現地で透水係数が異なる可能性あり。 森林水文学の長年の研究では、森林の状況により変化するのは主に大孔隙で、中小孔隙には大きな変化は見られない。 pF試験等ではホートン型地表流の発生を科学的に評価することは不可能。</p> <p>④流域レベルでのピーク流量低減を検証するには、広大な川辺川流域（約500km²）全体での地形条件、土壤特性、河道状況等の把握が必要であり、土壤特性を測定するだけでは科学的検証は不可能。</p>
試験方法	<p>○土壤採土器（直径5cm、高さ5cm）で土壤サンプルを採取し、公的機関に依頼して分析する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・調査地の土壤を切り取り土壤断面を作成。 ・土壤採土器で土壤の層ごとに数点ずつ採取。 	(提案なし)

<用語注釈>

- ・最大容水量：土壤が水を保持できる最大の容量。(単位は%)
- ・透水係数：土壤や岩石の水の透しやすさを数値で表したもの。(単位はcm/秒)
- ・孔隙率：土壤の細かい粒子の間に、空気や水が入る隙間(孔隙)がどれだけあるかを示したもの。(単位は%)
- ・pF試験(pF値)：土壤が水分を保持する力(圧力)。土壤の粒子が細かいほど水分は移動しにくく、水分を保持する力は大きい。

(8) 土壤への浸透及び蒸発散量図

項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
土壤への 浸透及び 蒸発散量 図	<p>①国が主張する土壤貯水能力の200ミリという値は相対値であり、絶対値は土壤を採取して最大容水量や透水係数等を計測しないと分からぬ。データはまだ無い。</p> <p>②国の手法では流域の最大貯水能力をリアルタイムに表わしておらず、最大貯水能力が、年代によって変わっているかどうか国が作成した「土壤への浸透及び蒸発散量図」からは評価できないことを実証する。</p> <p>③1時間単位で降雨量と流出量を差し引きして評価するという方法をとる。秋ごろには、国の手法があまり意味がないという解析結果を出す。</p>	<p>①(「土壤への浸透及び蒸発散量図」を基に)土壤への浸透や蒸発散等による森林の保水力は、雨量が200ミリから250ミリで頭打ちとなり限界がある。 <small>[資料19 (P44参照)] [資料20 (P45参照)]</small></p> <p>②森林の保水力は、年代ごとによる変化は見られない。 <small>[資料19 (P44参照)] [資料20 (P45参照)]</small></p> <p>③共通のデータを使ったダム反対側の解析結果が出てから、お互いの解釈について議論するということである。</p>

(9) 流域の森林の状況

項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
流域森林 の状況	<p>①球磨川流域において、昭和30年代から50年頃までに伐採された森林の累計面積は、全体の8割に相当する。 <small>[資料8 (P30~31参照)]</small></p> <p>②1950年代後半から1970年代の一斉拡大造林で、自然林の70%近くが伐採され、人工林に転換された。</p> <p>③昭和45年当時の流域は、20年生以下の幼齢林が6割以上を占めていたが、現在は樹木が成長して、21年生以上の壮齢林が9割を占めている。</p>	<p>①昭和39年の流域の航空写真を見る限り、この時点での流域の伐採面積は約20%に止まり、森林はきちんと存在している。本当のはげ山は見あたらず、流域の状況は今と大きくは変わらない。 <small>[資料21 (P46参照)]</small></p>

3(1) 参考資料（ダム反対側）

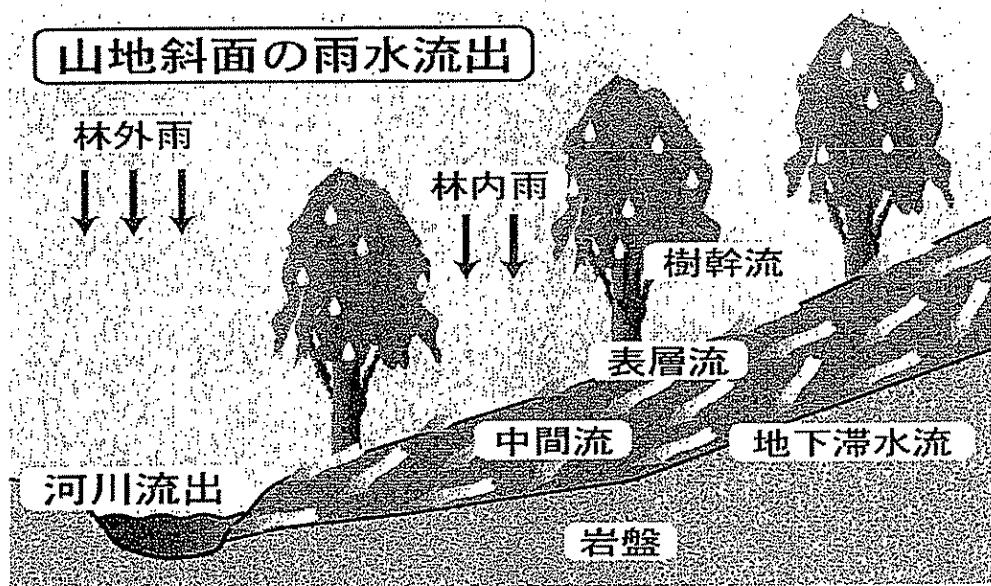
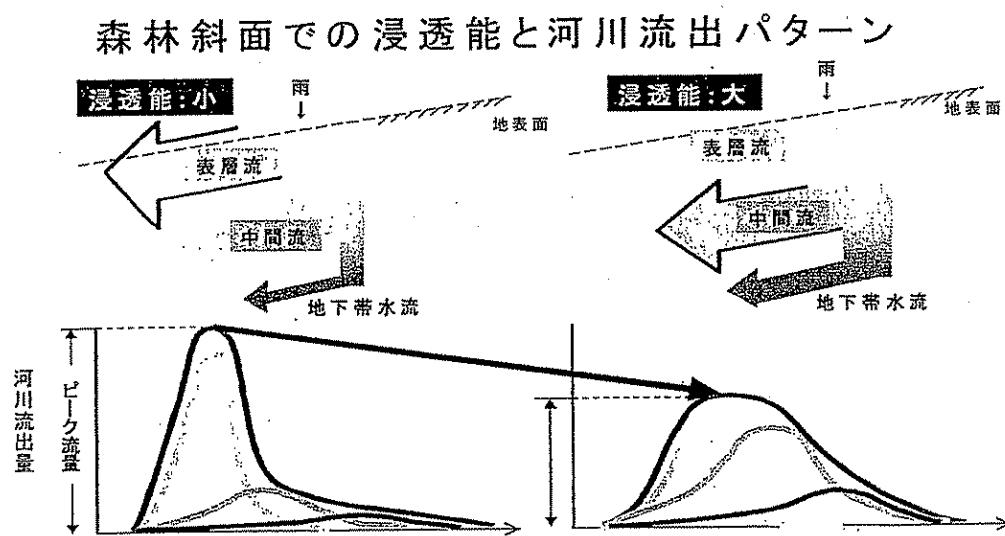


図1. 森林斜面に降った雨は、地表や表層土壌を斜面方向に流れたり（表層流）、中層土壌中を流下したり（中間流）、岩盤の不透水層にぶつかり地下水滯水流となって河川に流出してくるなど、3つのタイプの流れがあります。ここで、表層流が最も早く斜面を流下し、→中間流→地下滯水流の順に時間をかけて河川に出てきます。



■ 浸透能が大きいと、ピーク流量が下がります

図2. 土壤表面の雨水を浸透させる力（浸透能）が低下すると、洪水時には表層流が増え、河川に一時に雨水が流出してくるので、ピーク流量（河川の氾濫の原因）がそれだけ跳ね上がります。

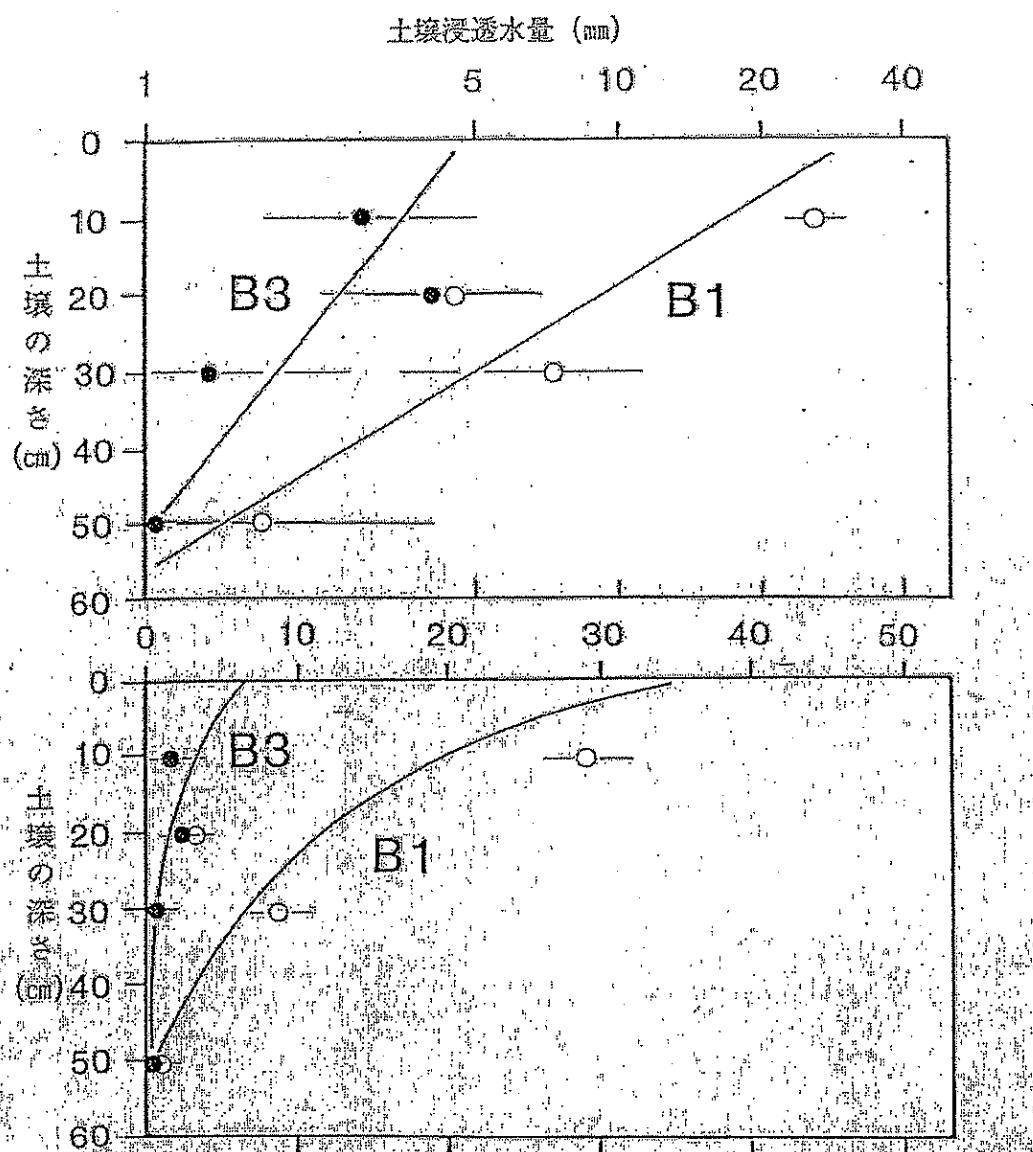


図4 斜面上方から流入する土壤浸透水を遮断した、焼失区斜面上部断面（B3）における浸透水量
（●：B3 ○：B1（遮断をしていない断面）。横線は平均値の95%信頼区間。

(谷本ら 1989)

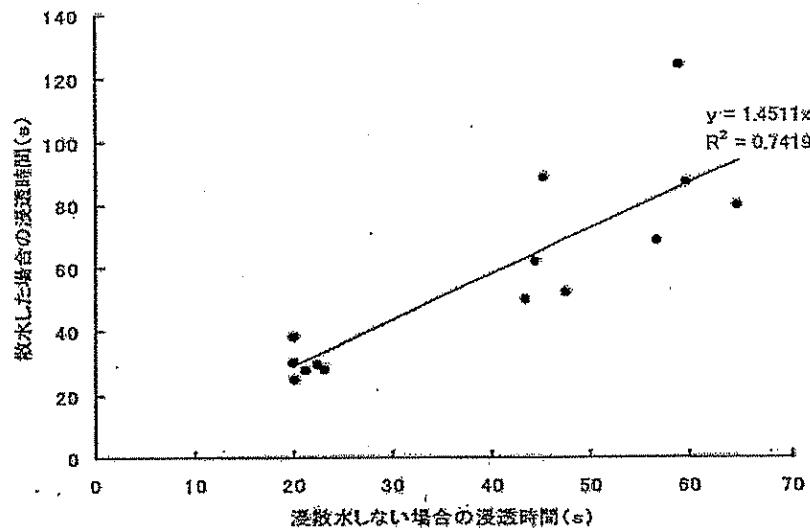


図3-1 冠水型円筒浸透計で浸透能測定時に、円筒の周囲に散水した場合としない場合の浸透時間の関係(自然林)(遠藤ら 2001)

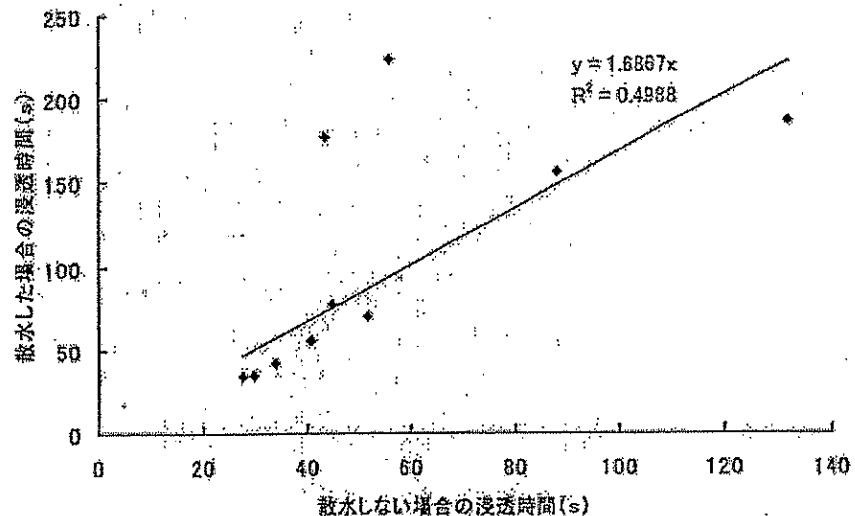


図3-2 冠水型円筒浸透計で浸透能測定時に、円筒の周囲に散水した場合としない場合の浸透時間の関係(人工林)(遠藤ら 2001)

(2) 「土壤サンプル試験等と基本高水のピーク流量との関係について」への返答

上記のご質問に関連して、提出された質問事項の各項目におおよそ従って以下に返答いたします。

1) タンクモデルの構造及び係数値と森林土壤との対応

タンクモデルについて、塚本(1998)は、「直列タンクの流出ハイドログラフは上部のタンクほど降雨に対して敏感に反応し、下部のタンクほど反応は鈍く、緩やかに上昇・下降する成分を表すことがわかる。各段のタンクが具体的に表面流出、中間流出あるいは地下水流出の各成分に対応しているわけではないが、上部のタンクほど表面流出に近い成分を、下部のタンクほど地下水流出に近い成分になる。」と述べている。以上のように、タンクモデル（今回は3つの直列型のタンク）はそれぞれのタンクが斜面上の森林土壤のどの部分に明確に対応している、とは言えないが、おおよそ、第1タンクは落葉層とA層などの表層土壤、第2タンクはB層などの中間層土壤、第3タンクは地下滯水層土壤に相当すると考えられる。

さらに、5月10日付けの『「森林の保水力の共同検証」に関する第2回専門家会議の合意事項に基づく提案』において引用しているように、小川(1983)や塚本(1998)は森林斜面における雨水の動態について以下のように記述している。

「降雨は樹冠遮断（枝葉によるカット）を受けたのち、地表面に到達し、地表面の浸透強度に従ってA層に浸透する。降雨余剰（浸透強度を上回る降雨強度）が生じたときは、ホートン型地表流が発生する。A層では、鉛直方向の浸透を行い、A層の飽和貯留成分（土壤空間に保持可能な貯留雨水量）となったのち、B層の鉛直浸透強度でA層からB層へ浸透し、残りはA層側方流出成分となる。B層へ浸透した成分は、A層と同様にB層の飽和貯留成分となり、残りがC層の浸透強度でC層へ浸透し、余剰成分がB層側方流出成分となる。また、C層においても、同様のことが考えられ、地下水面上に到達したC層浸透成分が基底流出、つまり、地下水流出成分となる。」

ここで、表面流及びA層の側方流出成分が第1タンクの流出孔成分、B層の側方流出成分が第2タンク流出孔成分、A層からB層への浸透成分が第1タンクから第2タンクへの浸透孔成分、B層からC層への浸透成分がB層の浸透孔成分、さらにC層浸透成分が第3タンクの流出孔成分におおよそ対応すると考

えることも可能であろう。

一方、実際にタンクモデルを実測河川流量に適応させた実例から、タンクモデルの構造や係数値と流域森林土壤における雨水の動態との関係を以下に述べる。

川辺川の柳瀬における実測河川流出を再現するタンクモデルにおいて、1954年～1995年の約40年間、第1タンクの流出孔、浸透孔の係数値は変動したが、第2、第3タンクモデルのこれらの係数値はほとんど変動していないことが示唆されている（図2-1：中根・嶋津 2003）。この40年間の流域は土地利用形態に変化はほとんどみられないが、大半を占める森林の植生が大きく変遷した。すなわち、自然林が1950年代後半から1970年代の一斉拡大造林でその70%近くが人工林に転換され、その後現在までこれらの人工林が成長してきている（中根・嶋津 2003）。これらの植生の変遷によって変動を受けるのは、有光（1987）や加藤（2002）が指摘するように森林土壤でも表層の土壤（落葉層やA層）で、その下層の土壤への影響はほとんど考慮する必要はないとされる。以上の知見とタンクモデルの係数の変動は結果的にはよく対応していることから、第1タンクは表層土壤に、第2タンクと第3タンクはその下層の中間層と地下帯、水層土壤に対応していると考えることが可能である。川辺川と同様の流域の森林の変遷を経験した吉野川の11の流域でも、それらの過去40年間のタンクモデルは、第1タンクの係数値のみが変化し、第2と第3タンクの係数値に変動がみられないことが報告されている（中根・中根 2004）。このことも、上記したことを裏付けている。

各タンクの流出孔の大小はその流域の各土壤層の側方流速度（流域平均値）の大小を、浸透孔の大小は各土壤層の鉛直方向の浸透速度（流域平均値）の大小を反映していると考えられる。また、流出孔の高さはその流域の各土壤層の平均的な貯水容量を反映していると考えられる。

タンクモデルの3つのタンクのうち、前述したように、植生の違い、森林管理の違いの影響を受けるのは第1タンクの係数値と考えられる。しかし、タンクモデルはその流域全体の雨水の土壤での動態や河川流出を表現するものであるのに対して、流域の森林はその樹種、林齢、管理は均一ではなく、そこに存在する個々の森林の土壤保水力を反映するとは限らない。それ故に、同一流域において全体が自然林であった場合、また放置人工林であった場合で、それを表現するタンクモデルの第1タンクの係数がどのように変わるのがという想定は、現実的でないため、仮に想定しても、また予測してもその立証は困難であろう。しかし、森林の樹種や林齢、管理によってその土壤の保水機能がどのように変化するのかが解れば、その森林樹種、林齢ごとの面積比率、また人工林の場合、放置や適正に管理している人工林の面積比率から、流域の平均的な保水機能を

算出することは可能といえる。森林の保水機能の重要な指標となりうる浸透能が森林の樹種や林齡、管理によって変化するというデータに基づいて(図2-2)、その流域の平均的な浸透能の推移を、仮に全流域が成熟した森林で覆われていた場合を1として相対値で表現する(図2-3)。この平均的浸透能の相対値の時間的推移とその時々のタンクモデルの第1タンクの係数値との間には明確な関係がみられることを川辺川について初めに示した図2-1である。同様な結果は、吉野川の11の集水域についても裏付けされた(中根・中根 2004)。すなわち、かつての一斉拡大造林時代は、浸透能の良い自然林が大々的に伐採され、浸透能が急速に低下した伐採跡地や幼齢林、若齢林の面積比率が高くなり、流域全体の平均浸透能は顕著に低下している。その後、人工林の成長で森林の浸透能は改善され、流域の平均浸透能も回復したが、依然としてかつての自然林が大半を占めていた時代の半分以下にとどまっている。これら、流域の平均浸透が大きければ、第1タンクの浸透孔係数値は増大し、逆に流出孔係数値は低下している(中根・嶋津 2003; 中根・中根 2004)。ただし、第1タンクの流出孔の高さ、また流出孔間の高低差については流域の森林の変遷との関係は川辺川流域においては明確ではない。

以上の結果から、浸透能を指標として、第1タンクの流出孔と浸透孔の係数値を図3の示す流域平均浸透能との関係から合理的に推定することが可能である。成熟自然林の比率が増えれば増えるほど、第1タンクの流出孔係数は小さくなり、浸透孔係数は増大し、結果的には同一洪水でもピーク流量は低減する。逆にこれらを伐採した後の幼齢、若齢人工林が増加すれば、流出孔係数は増大し、浸透孔係数は小さくなり、ピーク流量は増加することは川辺川柳瀬でのタンクモデルによる解析で明らかである(図2-4)。これらの森林が生長するにつれて、流出孔係数は減少し、浸透孔係数は増大し、結果的にはピーク流量は徐々に低減していく(図2-4)。しかし、人工林面積の比率の大きい川辺川流域の場合、これら人工林を適正に間伐しない場合は、流域の平均浸透能は頭打ちとなり、よってこれら係数値も停滞し、その後のピーク流量の低下は望めない。しかし、適正に間伐することによって、人工林の林床に広葉樹が繁茂し、やがて針広複層林、混交林となり、それにともなって土壤浸透も改善されることがから、流域の放置または不十分な間伐林の大半を適正間伐することによって流域の平均浸透能は改善され、結果的には第1タンクの流出孔係数や浸透孔係数が自然林に近づき、ピーク流量の低下が期待できることは、1954年のタンクモデルの解析結果が示唆している(図2-4)。また、適正間伐による流域平均浸透能の向上による同様な予測を吉野川岩津基準点(基本高水予測点)において行った例を表2-1に示す。

2) 土壤サンプル調査結果とタンクモデルの諸係数との関係

1)において、流域の平均浸透能とタンクモデルの第1タンクの浸透孔と流出孔係数との関係についてはすでに指摘した。この関係は、林地での実際に測定された浸透能値を樹種、林齢、管理などを考慮して流域全体の平均浸透能を推定し、その値と第1タンクの係数との関係をみたものである。この冠水型円筒浸透計で現地測定して得た浸透能は、表層から深層にいたる鉛直浸透速度のみならず土壤深さ10cm以下の側方浸透速度も混みで含んでいると考えられる。植生や管理によって影響を受ける表層土壤(0~15cm)の層別の透水係数(鉛直、斜面方向)を同一斜面の隣接する人工林と自然林で測定し、同一場所で測定された浸透能と比較検討することによって、浸透能の差異と透水係数の差異、そして第1タンクの係数値の変化との関連がより具体的に土壤構造に立ち入って明らかにできる。さらに、土壤の三層構造や孔隙率、最大貯水量を測定することによって、これらと浸透能との関係、さらに第1タンクの流出孔の高さと土壤の貯水力との関係の有無も示される可能性がある。従来の研究(金行・中根2003)では、成熟した自然林と放置人工林では表層土壤の孔隙率や最大容水量に有意な差異がみられているが、それがタンクモデルの流出孔の高さや他の係数との関係の解明はこのような実験・調査によって初めてなされる。

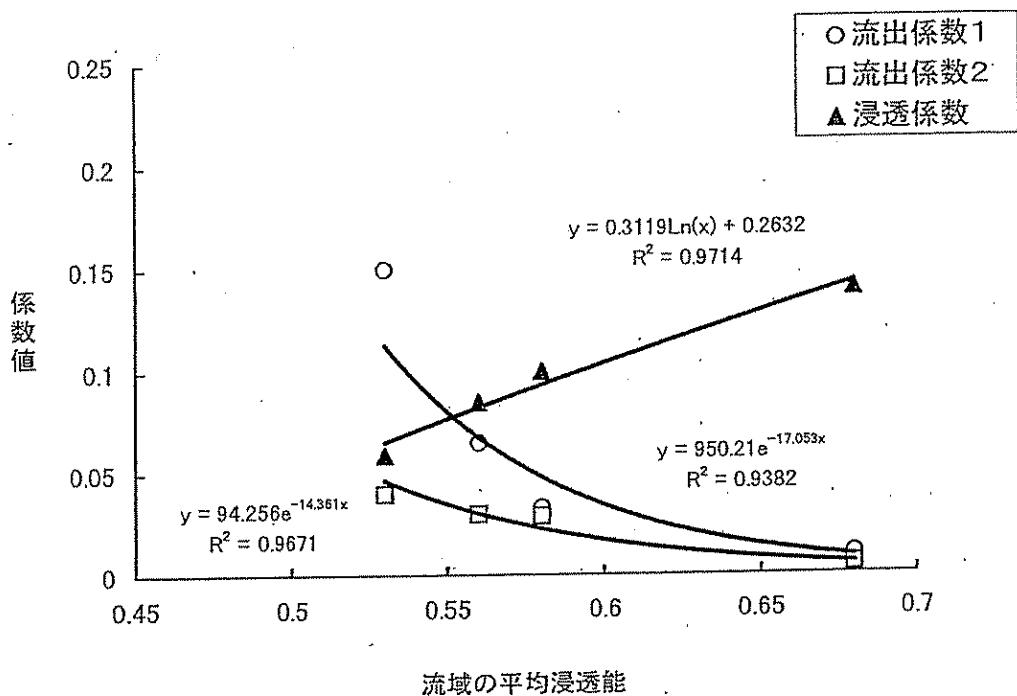
3) 土壤浸透能とタンクモデルの諸係数との関係

この点については、すでに1)で述べているのでこれを参考されたい。また、浸透能調査結果から直接流出やピーク流量の絶対的評価は困難と考えています。その理由は、直接流出やピーク流出は浸透能が強く影響していますが、そのほかにその集水域の地形・形態、地質などが関係しています。ですから、同一の浸透能(流域平均浸透能)であっても、これらの絶対値には当然差異が生じます。ところが、同一集水域で、すなわち、地形・形態、地質などが同一で、植生の違い(浸透能の違い)が直接流出やピーク流量にどれほど影響するかは相対的に評価可能であることは、すでに1)の項で述べた通りです。平均的浸透能のどれだけの増大がどれほど直接流出やピーク流量を低減できるか、それぞれの集水域でことなりますが、評価可能であることが川辺川柳瀬や吉野川でのタンクモデルの解析結果とその集水域の平均浸透能との関係から示唆されているということです。

文 献

- 有光 一登 (1987) 森林土壤保水のしくみ. 創文社, 東京. 199pp.
- 加藤 正樹 (2002) 森林土壤の保水機能と土壤保全. 森林の水土保全機能と管理. 平成 14 年度研究発表会要旨集, pp.2. 森林総合研究所 四国支所.
- 金行悦子・中根周歩 (2003) 吉野川流域における針葉樹人工林と広葉樹自然林の土壤孔隙率・最大容水量の比較研究. 吉野川流域ピジョン 21 委員会. 45pp.
- 中根周歩 (2003) 「緑のダム」とその喪失. 「破壊から再生へ アジアの森から」(依光良三編著), pp.246-226. 日本経済評論社.
- 中根周歩・嶋津暉之 (2003) タンクモデルの係数と流域の保水機能: 流域の焼失と植生変遷を例に. 第 113 回日本林学会講演要旨集, pp.207.
- 中根伸昌・中根周歩(2004) 吉野川流域の森林生長と人工林の整備による洪水時の河川流量(ピーク流量)の低減. 吉野川流域ピジョン 21 委員会. 91pp.
- 小川 澤 (1983) 山林地における水土保全機能の定量的評価について (I). 水利科学, No. 149.
- 塚本 良則 (1998) 森林水文学. 文永堂出版, 東京. 319pp.

タンクモデルの第1タンク係数値と流域の治水機能



タンクモデルの第2, 3タンク係数値と流域の治水機能

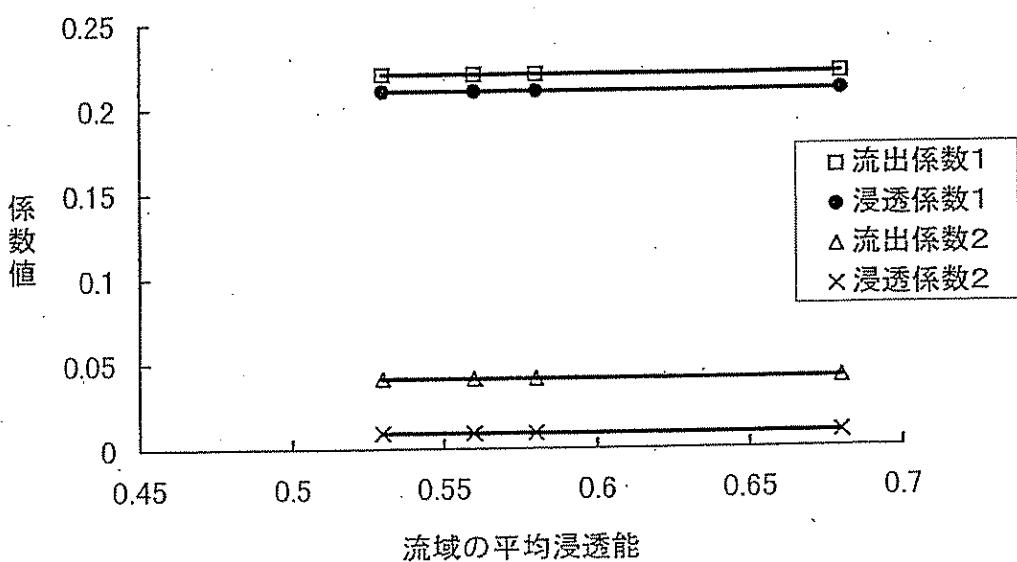


図 2-1 熊本県球磨川水系の川辺川流域における過去 50 年間の平均浸透能の推移とタンクモデルの係数値との関係。

出典：中根・嶋津（2003）、中根（2003）

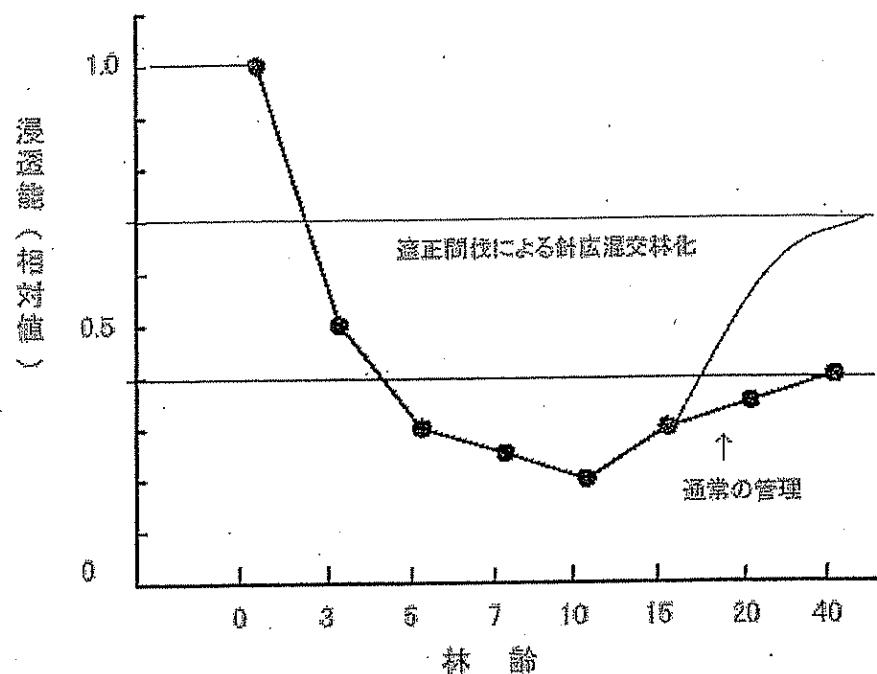


図2-2 広葉樹林の伐採後、植栽したスギ・ヒノキ人工林の林齢に伴う、雨水の土壤浸透能の推移。出典：中根(2003)

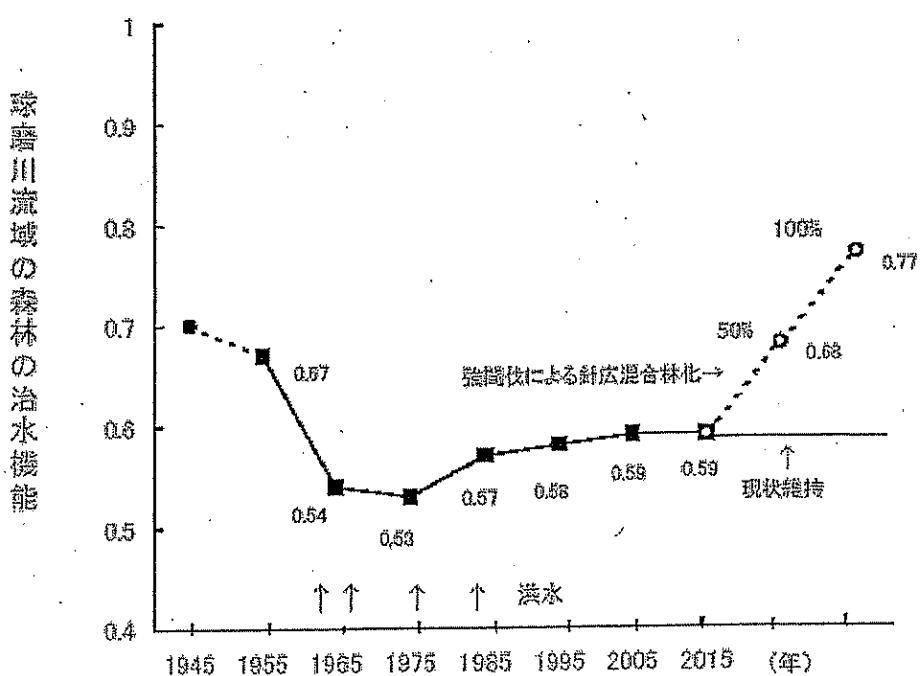


図2-3 熊本県球磨川流域の森林の平均浸透能の推移。
出典：中根(2003)

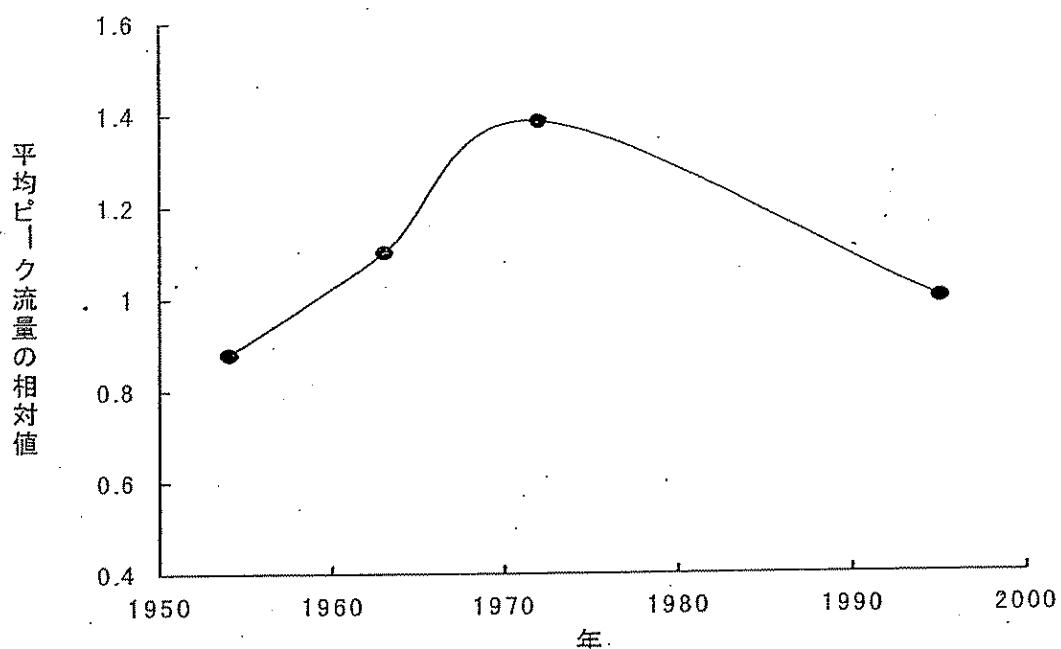


図 2-4 川辺川柳瀬における各年代のタンクモデルで予測した 80 年に一度の洪水時の平均ピーク流量の相対値(1995 年を 1)。
出典：中根・嶋津（2003）

表 2-1 吉野川流域の人工林を適正に間伐し、流域の治水機能を向上させた 2025 年及び 2035 年時のタンクモデルで予測した 150 年に一度の洪水時のピーク流量

No.	洪水名 (降雨)	建設省四国地方建設局(1991)			演算ピーク流量 (m³/s)	
		実績2日雨量	引き伸ばし率	計算ピーク流量 (m³/s)	2025 年タンクモデル	2035 年タンクモデル
1	1954/8/16	302 mm	1.46	約 12,300	13,110	12,773
2	1954/9/12	337 mm	1.31	約 18,700	17,790	16,590
3	1961/9/14	318 mm	1.38	約 23,200	17,592	15,534
4	1963/8/8	395 mm	1.11	約 14,700	12,352	11,534
5	1970/8/20	326 mm	1.35	約 20,500	17,882	17,156
6	1972/9/7	251 mm	1.76	約 16,000	16,819	15,748
7	1974/9/7	329 mm	1.34	約 24,000	17,196	16,712
8	1975/8/16	343 mm	1.28	約 17,100	17,416	15,924
9	1975/8/20	336 mm	1.30	約 13,500	7,488	6,975
10	1976/9/11	578 mm	1.00	約 11,000	11,404	11,167

出典：中根・中根（2004）

■2. 「川辺川ダム住民討論集会資料 2002年9月15日」P27～

(1) P.33 の表1「治水力(浸透能)の相対評価表」の根拠について:

表1(資料5)の相対浸透評価表を作成した根拠についての質問ですが、この相対浸透能評価表は資料1と資料3、そして資料7に記載されているデータに基づき作成しました。

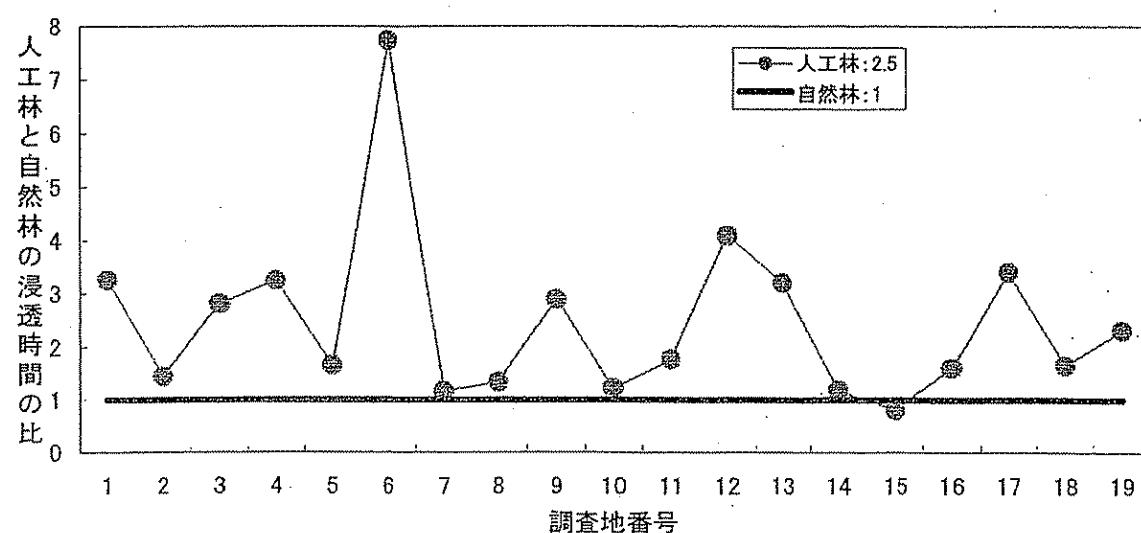
具体的には、壮齢以上の成熟した広葉樹林(相対浸透能を1とする)の伐採後、土壤浸透能が低下し、人工林を植栽した場合でも、約10年後最小(相対浸透能は0.2)となり(資料1)、その後回復しますが、適切な間伐をして針葉樹林となっていない現状の人工林の場合は、土壤浸透能の改善は停滞し、相対浸透能は0.4前後に止まります(資料7の図では、浸透時間が放置人工林で平均2.5倍かかることが示されていますが、そのことは自然林の浸透能を1とした場合、放置人工林の浸透能は0.4ということになります)。

また、伐採後、広葉樹林が再生する場合は、浸透能の低下は人工林の場合より少なく(相対値0.33)、土壤浸透能の回復は速いと考えられることによります。これらは四国吉野川流域の調査結果からも裏付けられています。

浸透能は樹種と林齢で大きく異なります

資料5 森林の治水力(浸透能)の相対評価表

	林 齢			
	<10年	11-20	21-40	41 <
針葉人工林	0.25(1/4)	0.33(1/3)	0.40(1/2.5)	0.40(1/2.5)
広葉樹林&自然林	0.33	0.66(2/3)	1.0(1/1)	1.0(1/1)

資料7 吉野川上流域、19ヶ所の同一斜面の隣接する人工林と自然林の浸透時間の比
(自然林を1とした場合の相対値)

資料1**広葉樹林と幼齢人工林における土壤浸透能の比較**

(東広島市竜王山の同一斜面の隣接する斜面:2002年10月測定)

単位:土壤浸透能(mm/hr)

	測定ポイント						平均
	1	2	3	4	5	6	
広葉樹林 (40年生)	3268	4841	4714	2878	3679	3333	3896
ヒノキ幼齢林 (伐採後7年、植栽後4年)	700	814	661	535	1434	1233	896

資料3 樹種や管理の異なる林分における土壤浸透能の比較

(広島県・吉和村中津川渓谷同一斜面上で1991年10月測定)

	測定地点						平均 (mm/hr)
	1	2	3	4	5	6	
広葉樹二次林 (スギ天然林からスギ択伐)	1612	951	1374	1645	1540	992	1352
スギ天燃林 (スギと広葉樹の混交林)	990	1382	1490	1163	1060	1140	1204
スギ人工林 (壮齢、強間伐後)	921	937	1080	965	985	921	968
スギ人工林 (間伐前)	415	746	690	555	191	322	487

資料4 球磨川流域(人吉上流域)の森林推移(面積ha)

		10年生以下	11~20年生	21~40年生	41年生以上	森林面積	浸透能
1950(1945年)	人工林	3080	2018	3529	2521	11148	0.874
	天然林	1694	13832	24531	52880	92937	
	計	4774	15850	28060	55401	104085	
1960(1955)年	人工林	9883	4912	6057	4066	24918	0.746
	天然林	12831	3151	26778	36407	79167	
	計	22714	8063	32835	40473	104085	
1970(1965)年	人工林	23529	12551	7927	4460	48467	0.571
	天然林	9292	13690	18589	14047	55618	
	計	32821	26241	26516	18507	104085	
1980(1975)年	人工林	19903	25547	13675	4463	63588	0.538
	天然林	4053	7274	13813	15357	40497	
	計	23956	32821	27488	19820	104085	
1990(1985)年	人工林	7155	17953	38306	4425	67839	0.578
	天然林	376	1972	16057	18099	36504	
	計	7531	19925	54363	22524	104343	
2000(1995)年	人工林	1594	7810	42599	17063	69066	0.592
	天然林	611	715	8051	26528	35905	
	計	2205	8525	50650	43591	104971	
2010(2005)年	人工林	1000	1594	25763	41187	69544	0.595
	天然林	500	610	2687	31630	35427	
	計	1500	2204	28450	72817	104971	
2020(2015)年	人工林	1000	1000	10729	56315	69044	0.598
	天然林	500	500	1325	33602	35927	
	計	1500	1500	12054	89917	104971	
2025年	2005年～2015年の10年で、20年生以上の人工林の50%を間伐すると仮定 その場合の2025年の浸透能を0.697と予測					50% <0.697>	
2035年	2015年～2025年の10年で、20年生以上の残りの50%の人工林を間伐すると仮定 その場合の2035年の浸透能を0.803と予測					100% <0.803>	

1980年から2000年は、世界農林業センサスにもとづき整理し、
1950年から1970年については1980年の林齢を参考に推定した。
2010年と2020年については、1980年から2000年の森林の推移から推定した。

(6) P70の図5「球磨川流域(人吉市の上流域)の森林の治水機能の推移」の根拠について:

→(P29参照)

この図は、「世界農林業センサス」から求めた球磨川人吉上流域の森林の人工林、天然林の面積、及びそれぞれの林齢の推移を1960年～2000年について整理したもの(資料4)に基づき、広葉樹林と人工林の林齢別の相対的な浸透能の評価表(資料5)から作成したものです。また資料4の2010年代と2020年代の各森林面積、林齢については、1990年～2000年の傾向から中根が推定したものです。ここで、この図(図5)を作成するにあたって用いた資料4のデータは現在では、旧資料では含まれていなかった1970年以前の国有林も含めたため、改訂しています。

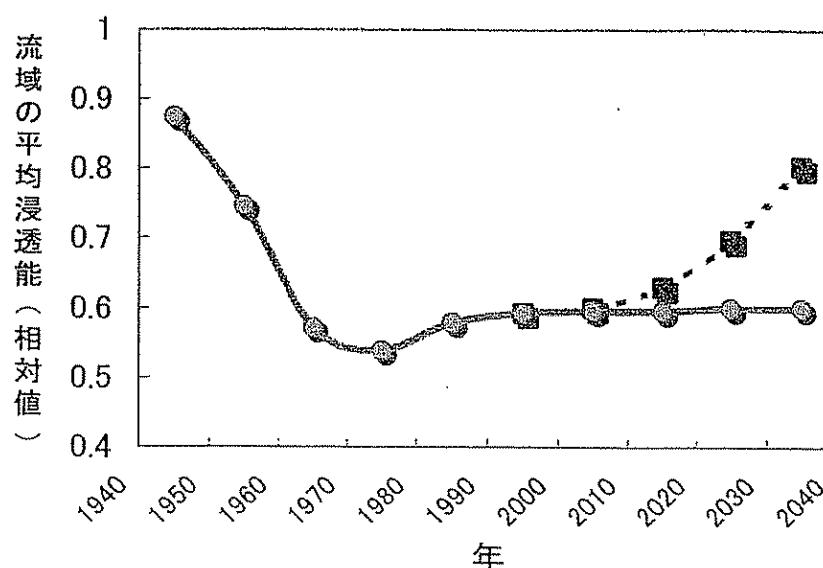
ただし、強間伐後の浸透能(相対値で0.72)の回復が直ちに現われるのではなく、四国吉野川流域での調査結果から、約10年間の時間経過が必要であると考えられることから、図5は、資料6に示すように2005年から2015年の十年間で人工林(林齢20年以上)の50%を、さらに2015年から2025年の十年間で残り50%を強間伐した場合について、その浸透能回復曲線(点線)を現在は修正しています。

その後のタンクモデルなどの解析より、この流域の平均浸透能が低下すれば、河川の洪水時のピーク流量が増大し、逆に平均浸透能が上昇すれば、ピーク流量が低減することが明らかとなっています。すなわち、一斉拡大造林が押し進められた1950年代後半から1970年代にかけて平均浸透能は低下し、その後造林(植林)された人工林の生長によって平均浸透能は回復していますが、人工林を放置した場合は平均浸透能の回復は進みません。

しかし、適切な間伐(強間伐)によって広葉樹が侵入し、針葉樹(スギ・ヒノキ)と広葉樹の複層林または混交林になるにつれて平均浸透能は飛躍的に回復することを示しています。

適切な間伐で混交林化を進めれば、流域の浸透能は増えます

資料6 球磨川流域(人吉上流域)森林の治水機能の推移(全流域が自然林とした時を1としている)



資料4 球磨川流域(人吉上流域)の森林推移(面積ha)

		10年生以下	11~20年生	21~40年生	41年生以上	森林面積	浸透能
1950(1945年)	人工林	3080	2018	3529	2521	11148	0.874
	天然林	1694	13832	24531	52880	92937	
	計	4774	15850	28060	55401	104085	
1960(1955年)	人工林	9883	4912	6057	4066	24918	0.746
	天然林	12831	3151	26778	36407	79167	
	計	22714	8063	32835	40473	104085	
1970(1965年)	人工林	23529	12551	7927	4460	48467	0.571
	天然林	9292	13690	18589	14047	55618	
	計	32821	26241	26516	18507	104085	
1980(1975年)	人工林	19903	25547	13675	4463	63588	0.538
	天然林	4053	7274	13813	15357	40497	
	計	23956	32821	27488	19820	104085	
1990(1985年)	人工林	7155	17953	38306	4425	67839	0.578
	天然林	376	1972	16057	18099	36504	
	計	7531	19925	54363	22524	104343	
2000(1995年)	人工林	1594	7810	42599	17063	69066	0.592
	天然林	611	715	8051	26528	35905	
	計	2205	8525	50650	43591	104971	
2010(2005年)	人工林	1000	1594	25763	41187	69544	0.595
	天然林	500	610	2687	31630	35427	
	計	1500	2204	28450	72817	104971	
2020(2015年)	人工林	1000	1000	10729	56315	69044	0.598
	天然林	500	500	1325	33602	35927	
	計	1500	1500	12054	89917	104971	
2025年	2005年～2015年の10年で、20年生以上の人工林の50%を間伐すると仮定 その場合の2025年の浸透能を0.697と予測					50% <0.697>	
2035年	2015年～2025年の10年で、20年生以上の残りの50%の人工林を間伐すると仮定 その場合の2035年の浸透能を0.803と予測					100% <0.803>	

1980年から2000年は、世界農林業センサスにもとづき整理し、
1950年から1970年については1980年の林齢を参考に推定した。
2010年と2020年については、1980年から2000年の森林の推移から推定した。

資料5 森林の治水力(浸透能)の相対評価表

	林 齢			
	< 10年	11~20	21~40	41 <
針葉人工林	0. 25(1/4)	0. 33(1/3)	0. 40(1/2.5)	0. 40(1/2.5)
広葉樹林&自然林	0.33	0. 66(2/3)	1. 0(1/1)	1. 0(1/1)

<第5回討論集会 ダム反対側資料 P70 図5>

流域の人工林間伐による流域の浸透能（治水機能）の飛躍的向上

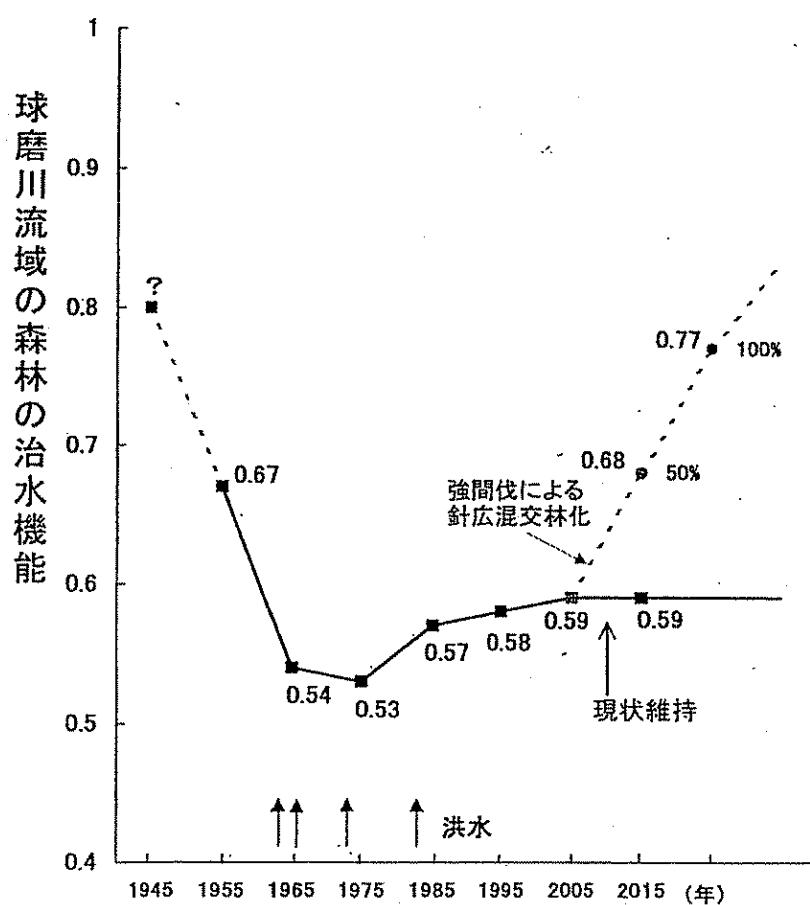


図5 球磨川流域(人吉市の上流域)の森林の治水機能の推移
(全流域が広葉樹の成熟林としたときを1とした相対値)

(4)P.68の図3(B:下)「球磨川流域(人吉上流域)の森林の伐採[林齢から推定]」の根拠について:

→(P31参照)

この図は、球磨川の人吉市の上流域における5年間の伐採面積の全森林面積における比率を図示したものですが、この図の根拠となるデータは「世界農林業センサス」で、人吉上流域の錦町、上村、岡原村、多良木町、湯前町、水上村、須恵村、深田村、相良村、五木村における5年ごとの天然林と人工林の伐採面積(林齢0~5年の森林面積)を合計したものです。その伐採面積を流域の森林面積104,630haに対する百分率で表しました。(資料2)

1950年代後半から1970年代にかけて球磨川上流域でも一斉皆伐が急速に進行し、広葉樹林を伐採し、スギ・ヒノキの人工林化が大々的に行われ、80~90%の自然林が伐採され、70%が人工林化したことが見て取れます。1960年代から1970年代は伐採地と幼齢・若齢林で覆われた球磨川上流域はその土壤浸透能の低下によって、保水機能が著しく低下し、さらに樹木根系の土壤把握力も大きく喪失していたものと思われます。

この時期に入命を損なう斜面崩壊や土石流、洪水が多発したことと流域の治水(保水)機能、治山機能の低下とは密接に関連していると言えます。

資料2 球磨川(人吉上流域)の人工林、天然林の5年間の伐採面積(ha)、
その森林面積率(%)や累積率(%)

	人工林、天然林 伐採面積(ha)	5年間の 伐採面積／森林面積	1945年からの 累計伐採面積割合	流域森林面積(ha) 104630
1940-44	2082	2.0		
1945-49	2692	2.6	2.6	
1950-54	7729	7.4	10.0	
1955-59	14985	14.3	24.3	
1960-64	15776	15.1	39.4	
1965-69	17045	16.3	55.6	
1970-74	15447	14.8	70.4	
1975-79	8509	8.1	78.5	
1980-84	5161	4.9	83.5	
1985-89	2305	2.2	85.7	
1990-94	1989	1.9	87.6	
1995-99	85	0.1	87.7	

球磨川流域では9割近くが伐採され、針葉樹が植林されました

<第5回討論集会 ダム反対側資料 P68 図3 (B) >

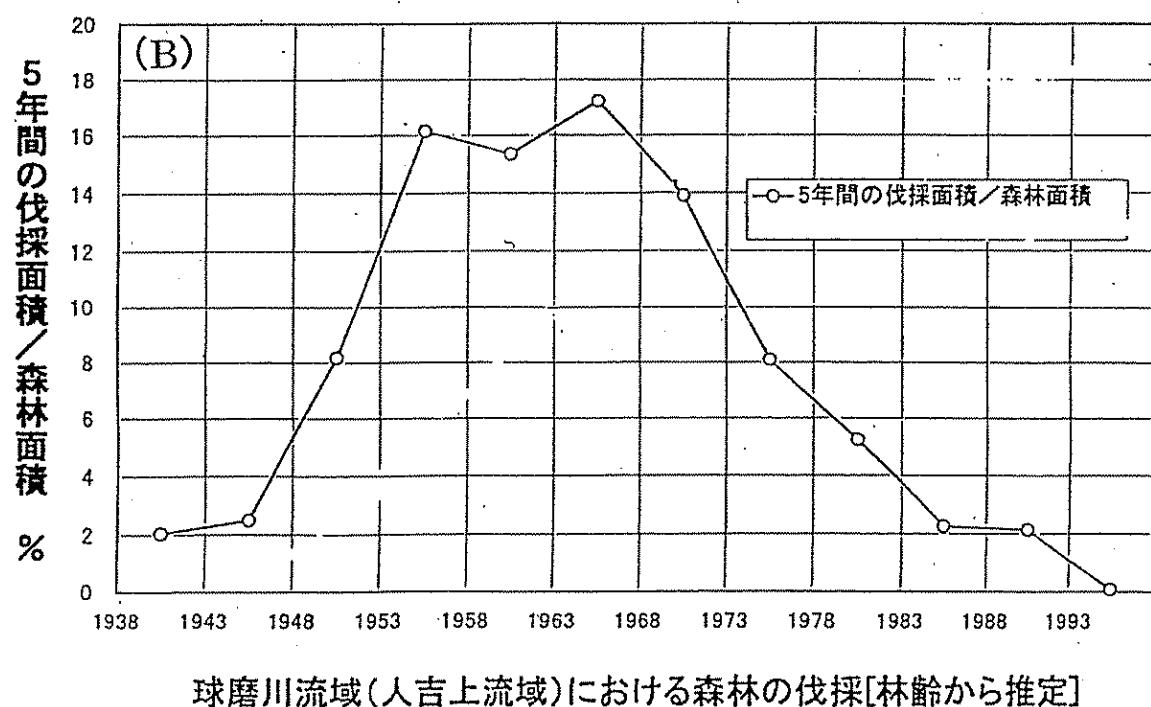


図3 球磨川上流域における一斉拡大造林の進行と
川辺川における洪水時の河川ピーク流出の関係

3(2) 参考資料（国土交通省側）

〔資料9（第9回討論集会国側資料）〕

現れる部分が生じ、そこでは地表流（飽和地表流）が生じて、降った雨のほとんどが渓流や河川に流れ込みます。この時点では森林土壤の保水能力は一杯になっており、雨は速やかに渓流や河川に流れ込みます。この答申はこのような状態での森林の洪水緩和機能を評価したものと理解しており、「流出にかかる時間」及び「流出過程」を踏まえた記述と考えています。

また、球磨川の治水計画で対象としている降雨は最大で1時間あたりの雨量が40mm程度です。表8に示すように、我が国の森林土壤は浸透能が非常に大きいため、この1時間あたり40mm程度の雨は、針葉樹林であっても広葉樹林であっても、通常、すべて地中に浸透すると考えられます。このため、森林土壤の浸透能の違いが洪水のピーク流量に影響を及ぼすとは考えられません。

(3)について

国土交通省では、森林の洪水緩和機能について、「川辺川流域では、森林土壤での保水及び蒸発などは総雨量が200～250mm程度で頭打ちとなっており、このことから、森林の洪水緩和機能は大洪水の時には限界があること（図10）」などを、これまでにさまざまなデータなどで説明してきました。「日本学術会議の結論だけを引用」してはおりません。この答申は現時点における学問上の定説を取りまとめたものと解しており、国土交通省の川辺川流域などにおける森林の洪水緩和機能についての検討結果と整合することから、住民討論集会などにおいて紹介しているものです。

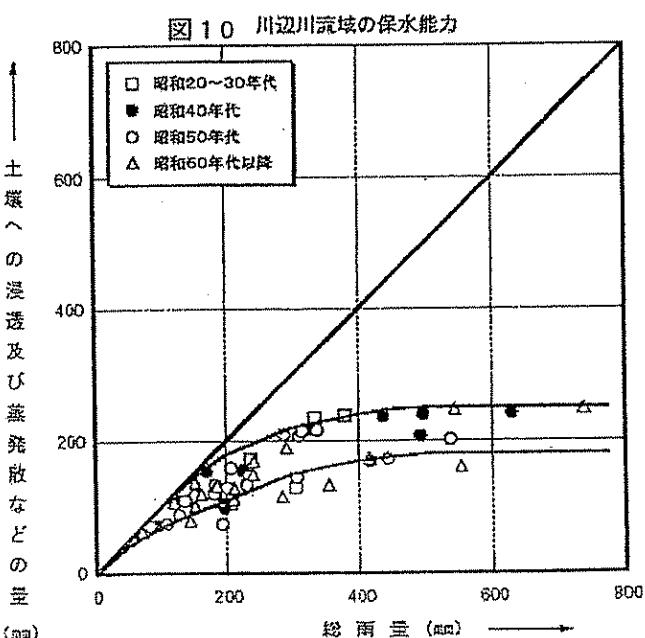
ダム反対側がその効果を主張している大洪水時の森林の洪水緩和機能は、「大洪水時には顕著な効果は期待できない」という森林水文学の定説に反しています。

また、ダム反対側は「平成7年（1995年）7月洪水に適合」させた川辺川のタンクモデルを論拠として、「森林の成長による山の保水力の向上」を主張しています。しかし、「2. タンクモデルの計算結果について」に記述したように、1つの洪水のみに適合させたタンクモデルは、正しいモデルとは言えず、その正しくないモデルをもとに組み立てられた主張（仮説）は意味がなく、科学的な妥当性を欠いていると考えています。

表8 土地被覆条件別の最終浸透能（1時間当たり）

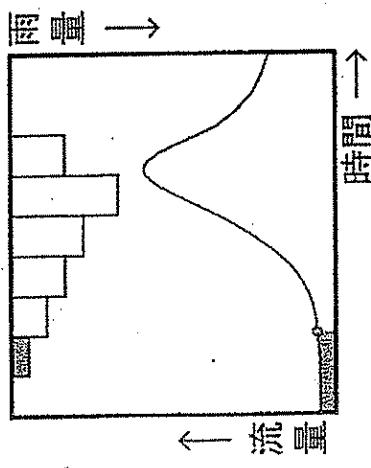
林地			
針葉樹		広葉樹 天然林	
天然林	人工林		
211.4mm/h	260.2mm/h	271.6mm/h	
林地平均			
258.2mm/h			

村井宏ら, 1975
〔出典：森林水文学（塚本良則編）を加筆〕

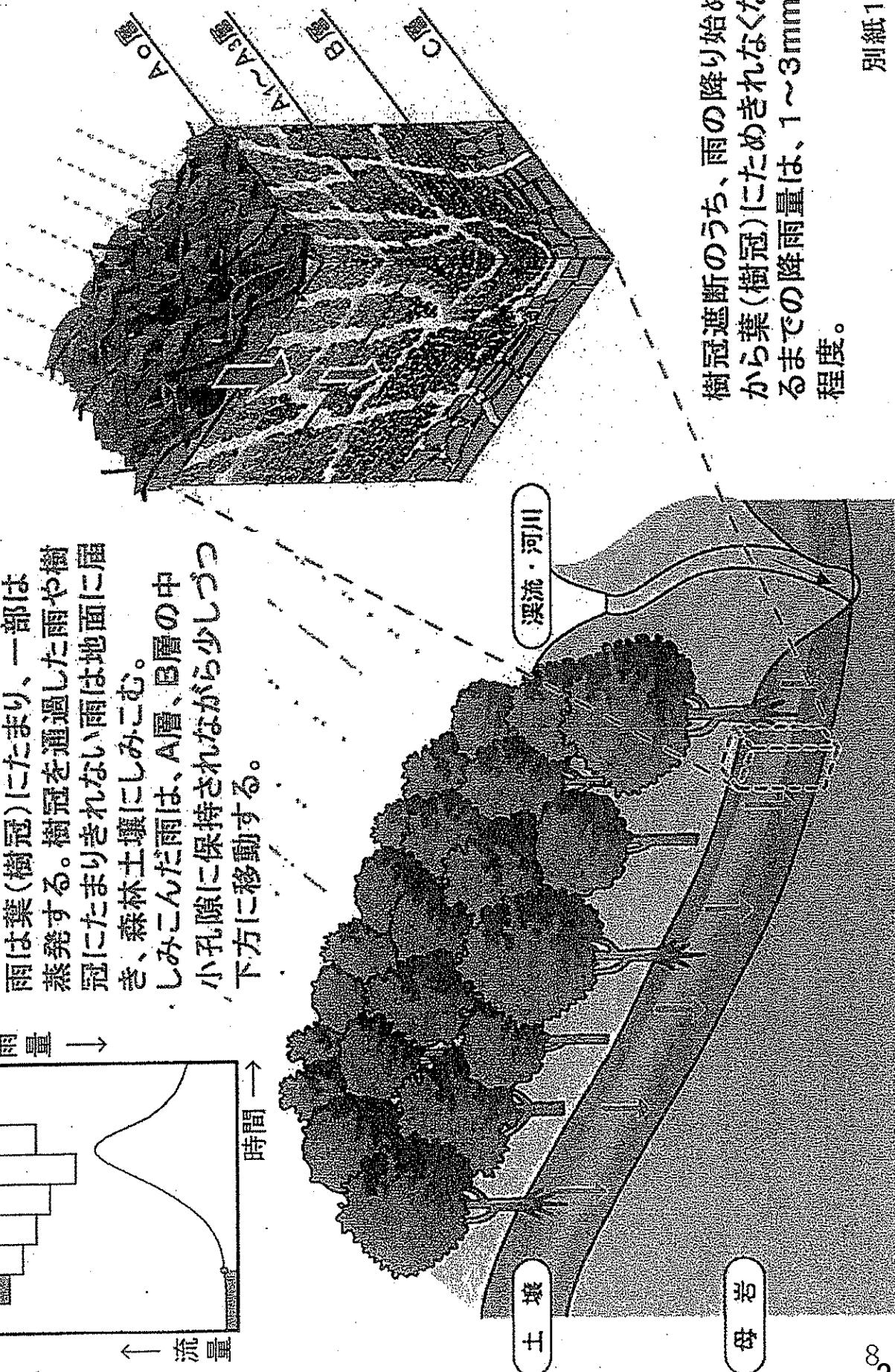


森林土壤中の水の流れ

ステップ1：降り始め



雨は葉(樹冠)にたまり、一部は樹蒸発する。樹冠を通過した雨や地面に届いたまきれなしい雨は地面上に届き、森林土壤にしみこむ。しみこんだ雨は、A層、B層の中孔隙に保持されながら少しづつ下方に移動する。

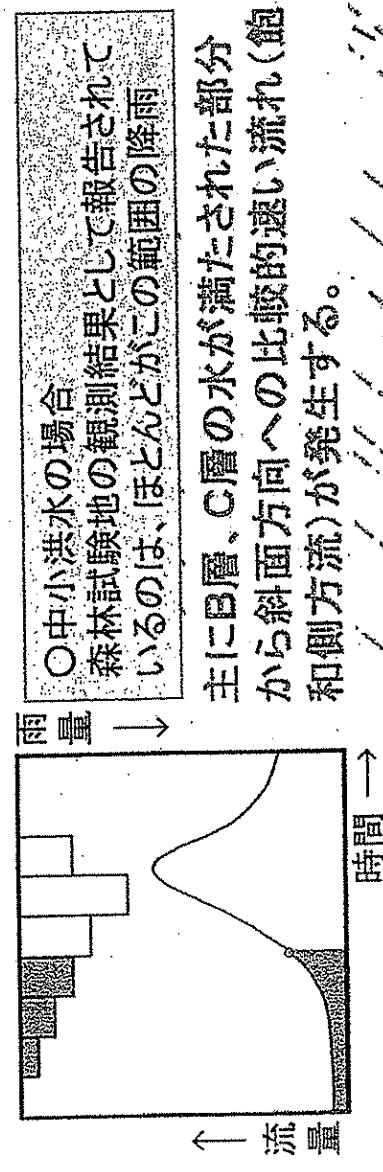


[資料10 (H16.5.19 国側提出文書)]

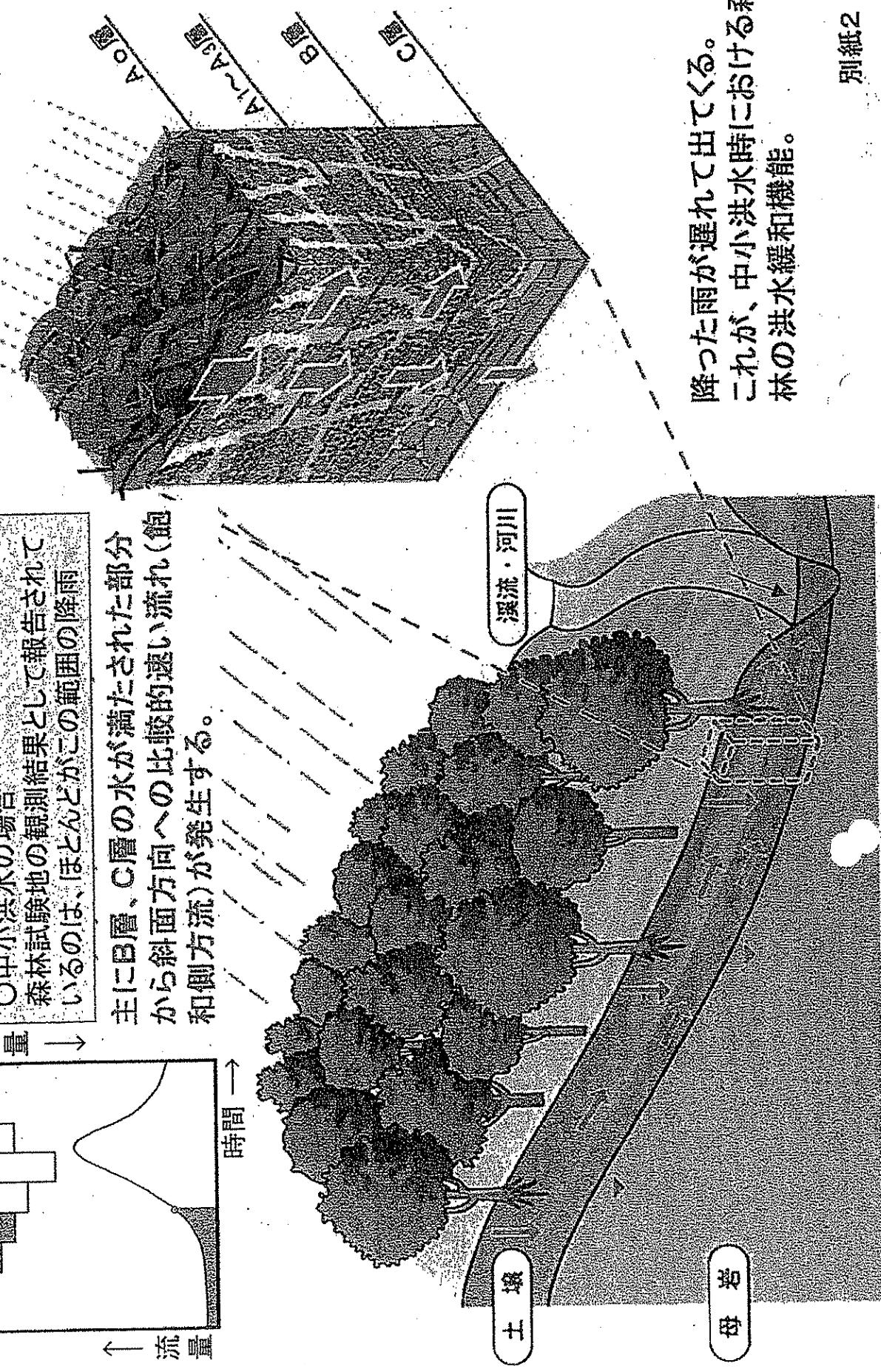
樹冠遮断のうち、雨の降り始めから葉(樹冠)にためきれないなるまでの降雨量は、1~3mm程度。

森林土壤中の水の流れ

ステップ2：中小洪水になると…

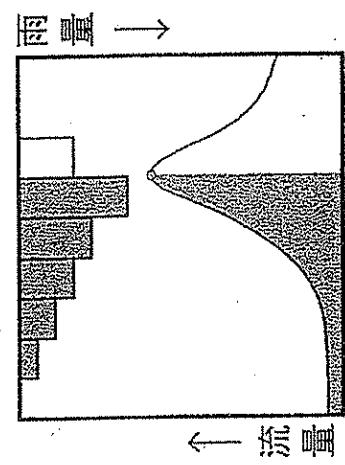


主にB層、C層の水が満たされた部分から斜面方向への比較的遠い流れ(飽和側方流)が発生する。



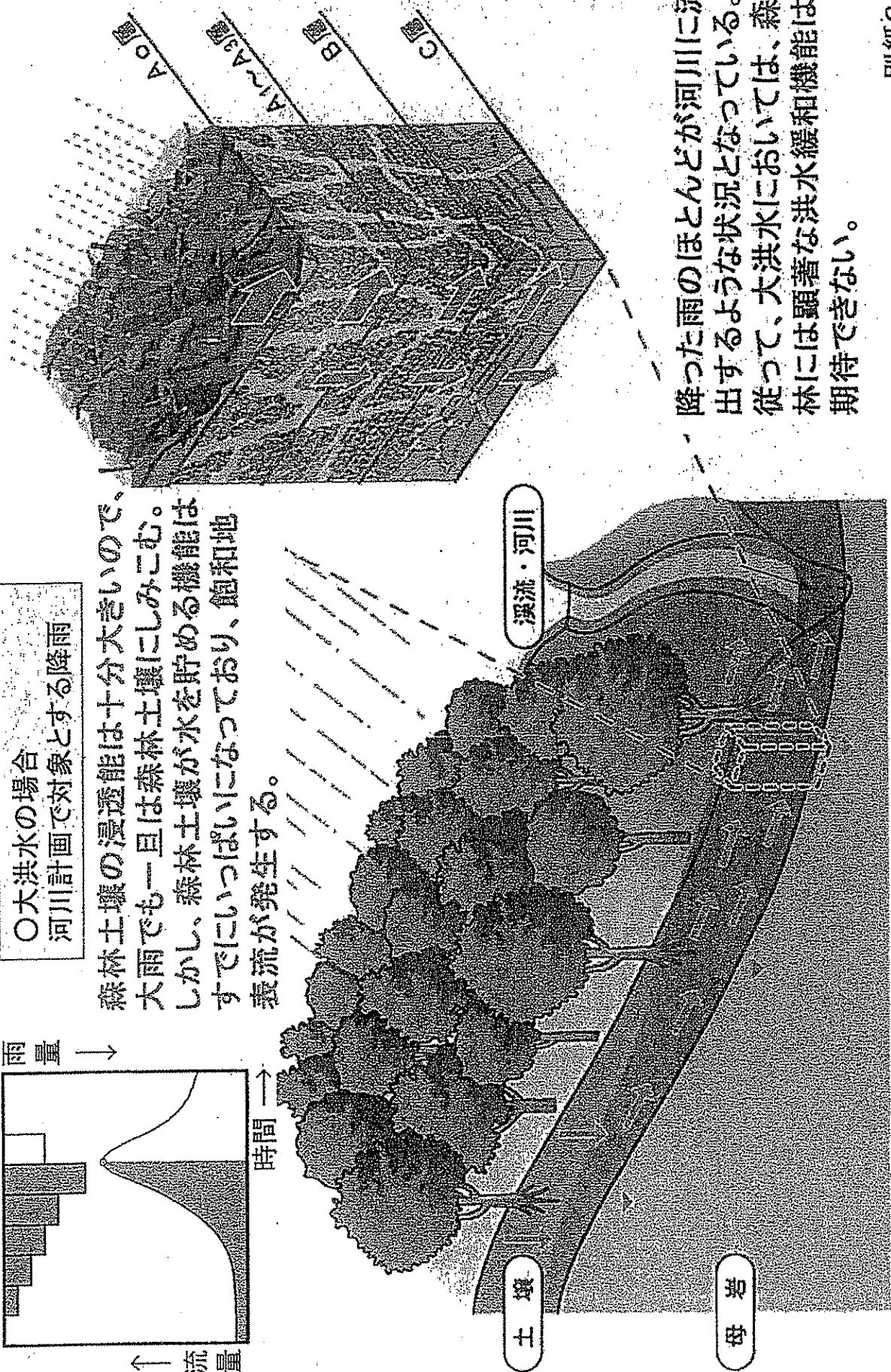
森林土壤中の水の流れ

ステップ3: 大雨(大洪水)になると



○大洪水の場合
河川計画で対象とする降雨

森林土壤の浸透能は十分大きいので、
大雨でも一旦は森林土壤にしみこむ。
しかし、森林土壤が水を貯めめる機能は
すでにしつばいになつており、飽和地
表流が発生する。



【資料12 (H16.5.19 国側提出文書)】

降った雨のほとんどが河川に流出するような状況となつていて、従つて、大洪水においては、森林には顯著な洪水緩和機能は期待できない。

別紙

斜面上部からの水分供給による浸透能への影響について

1. 基本的理論

(1) 土壌内の浸透

土壌内における水の移動は次のダルシーの法則に従います。

$$v = K \cdot \text{grad } (\psi + z) \quad \cdots (1)$$

ここで、 v : 流速、 K : 透水係数、 ψ : 水圧、 z : 基準面からの高さ

すなわち、土壌内の水は水圧の高いほうから低い方へ、また高い位置から低い位置に流れ、その流速はそれぞれの変化率に比例するということです。

(2) 水圧と含水率

上述の水圧 ψ は土壌の湿潤の度合い（通常は含水率を指標とする。）により決定され、湿潤すればするほど圧力は高くなります。この土壌における湿潤の度合いと水圧の関係を示したのが「水分特性曲線」（図-1）です。

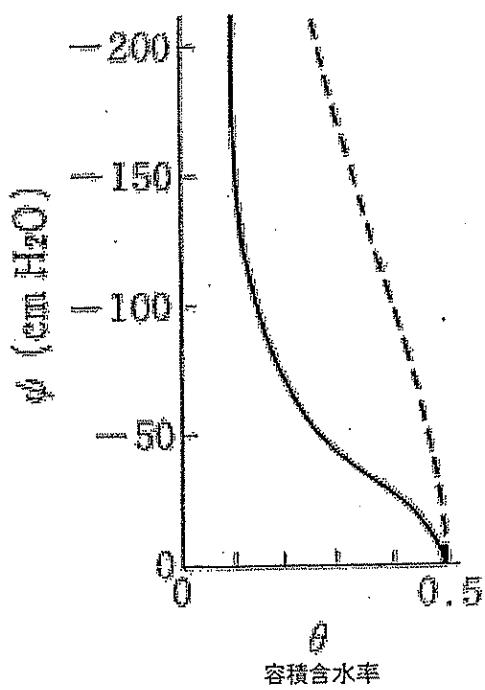


図-1 水分特性曲線
(谷, 1987 により作成)
出典：森林水文学 p116

2. 斜面上方からの水分供給による浸透能への影響

斜面上方からの水分供給による浸透能への影響については、斜面表層土壌内において斜面に沿った流れが存在する場合について考慮する必要があります。

そこで、斜面を図一2に示すような階段状にモデル化して考えます。

1-1				
1-2	2-1			
1-3	2-2	3-1		
1-4	2-3	3-2	4-1	
1-5	2-4	3-3	4-2	5-1

図一2 斜面モデル

今、セル2-1、2-2及び3-1に注目すると、雨が降り始めた段階では2-1と3-1がほぼ同じ含水率となり、その含水率は2-2より高くなる。したがって圧力も同様に2-1と3-1が同じで2-2の圧力はそれよりも低くなることが容易に想像できます。このため、式(1)に従うと、2-1から2-2へ水が浸透していくとともに、圧力差により3-1から2-2へ水が浸透していきます。そして雨がしばらく続くと2-1と3-1からの浸透により2-2の含水率が2-1及び3-1と同じになります。この時点で2-2と2-1及び3-1の圧力差はなくなるので、式(1)によって3-1から2-2への浸透はなくなり、浸透は2-1から2-2への鉛直方向のみになります。

降雨が全て土壌内に浸透している場合、降雨強度が時間とともに大きくなっていく段階では上述のようなメカニズムにより（降雨強度が時間とともに小さくなっていく場合には2-2と3-1の浸透方向が逆となる以外は同様のメカニズム）、表層付近では降雨はほぼ鉛直に浸透していき、表層内での斜面に沿った流れは発生しません。このことは、過去のさまざまな論文でも実証されています。

このため、ホートン型地表流の発生の有無に対する斜面上方からの水分供給の影響はありません。

斜面全体の散水試験は 死亡事故の例があるなど危険をともなう

概要

昭和46年11月11日、神奈川県川崎市において、国立研究機関が共同で行っていた人工降雨による斜面崩壊実験中、予想を上回る土砂量の崩落流出を起こし、30名前後が生き埋めとなり、死者15名、負傷者11名をだす事故が発生した。

◆散水量

<予備実験>

S46.11.4~8 数十mm~100mm

<本実験>

S46.11.9 17:15~18:15 約40mm

11.10 9:30~11:00 約60mm

15:30~17:00 約100mm

11.11 9:15~15:31頃(事故発生)

約250mm

11.9~11の3日間 約450mm

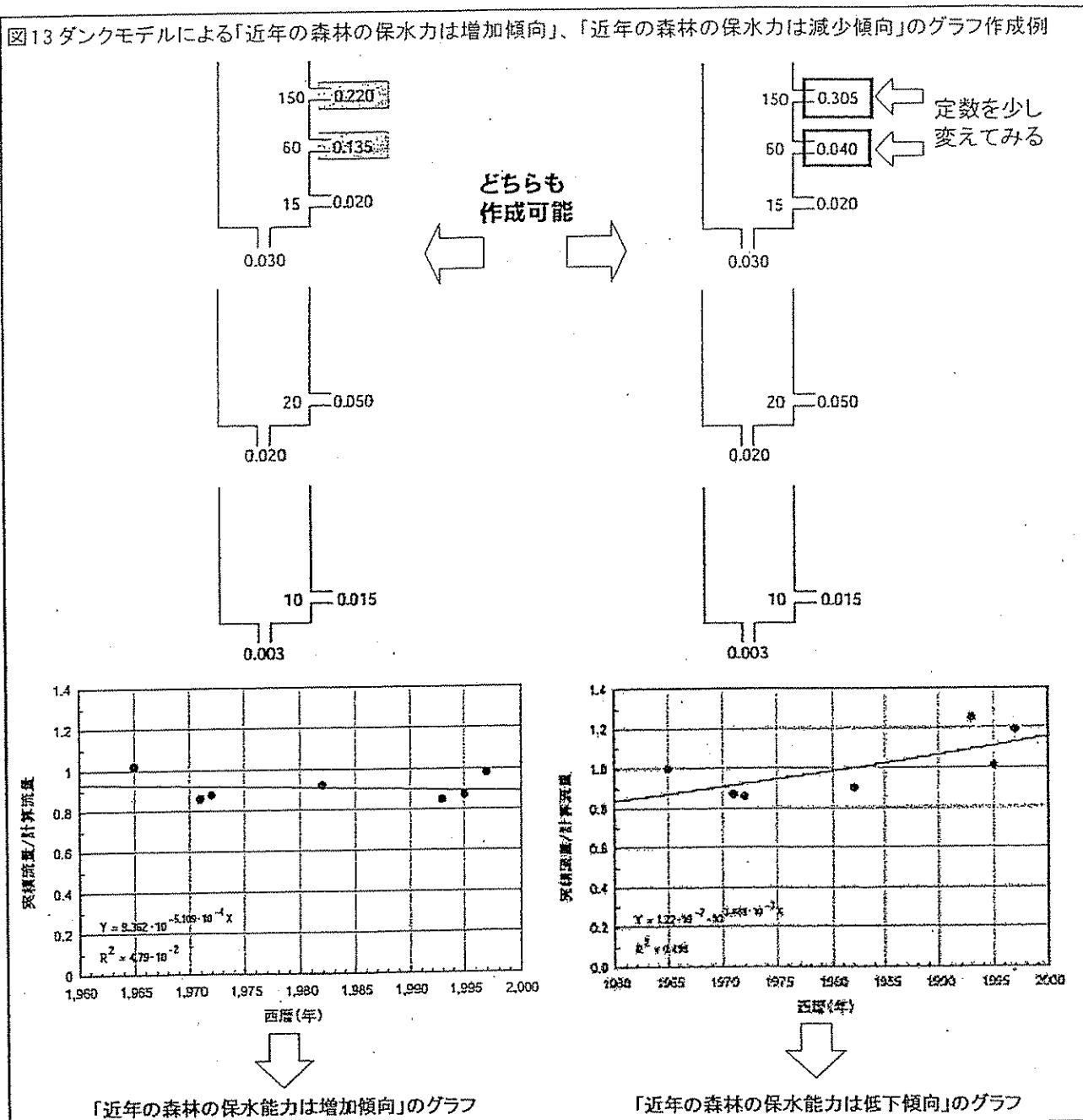
◆散水範囲

約800m²



[資料15 (第9回討論集会側資料)]

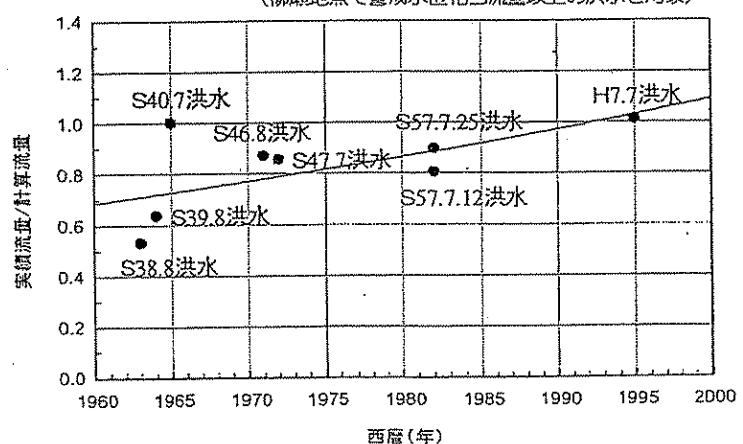
図13 ダンクモデルによる「近年の森林の保水力は増加傾向」、「近年の森林の保水力は減少傾向」のグラフ作成例



洪水年月日	ピーク流量 (m³/s)	洪水年月日	ピーク流量 (m³/s)
S55.7.25	1,304.9	H68	1,203
S54.10.7	1,293.1	H57	1,262
S55.8.8	1,226	H57	1,175
S54.1.7	1,293.7	S55.6	1,164
S54.5.3	1,191.7	S44.6	1,069
S57.7.12	1,835	H59	1,031
S57.7.12	1,426	S55.8	1,030
S55.9.2	1,627	S32.7	1,020
S59.6	1,493	S50.6	972
H5.9	1,430	S35.6	948
H5.7	1,355	H88	948
H27	1,303		

■:ダム反対側河川グラフの対象洪水

図14 実測流量／タンクモデル計算流量(川辺川・柳瀬地点)
(柳瀬地点で警戒水位相当流量以上の洪水を対象)



1. 流出解析について

明るいのはここだから、ここを探していると答えた。」これは本質的な問題は別の所にあることを知りながら、現在の数学で解きうる範囲の所で研究をしているのではないかという、理論物理学のある分野に対する痛烈な皮肉であった。たとえ暗くても、全然見通しがつかなくても、そこに宝があるというなら、手探りで探す方がよいのではないか。

もっともタンクモデルの構造決定が、まったく非数学的な盲探しであるわけではない。それは自動車の運転のようなものであろう（私にはできないから、適切な例ではないかもしれない）。どのようにハンドルを切れば、どう曲るか、やってみればわかることで、そこにはルールがある。しかし、それを計算機にやらせることはむずかしかろう。無人で月に軟着陸ができる世の中だから、コンピューターで無人の自動車を街に走らせることが可能だと安易に考える人がいて、話はむずかしくなる。数学にのらなくても、コンピューターにできなくても、人間がすれば案外やさしくて、しかも楽しい仕事が世の中に満ち満ちている。

タンクモデルの構造決定も、それほどむずかしいことではなく、10回も試算すればよい結果が出てくる：ただし手を動かし、図を描き、それをよく眺め、経験を積み、判断をしてもらわなくては困る。私が、タンクモデルの構造の決め方を秘密にして教えないのだと思っている人もあるらしい。私はいままでに苦心していろいろ説明し、書いてきたつもりであるが、何分にも人間の言語は、共通の体験のうえに成立するから、タンクモデルの構造を決めようという試みをしたことのない人とは、話が通じない。「話してわかるのではない。わかっているから話が通じる」というのが、相互理解の本質的難点である。私はこの本で、タンクモデルの構造の決め方を、実例を用いて説明するつもりであるが、読者は一緒に体験を積んでいただきたい。

8. 蒸発散、雪、農業用水の影響

上記のタンクモデルの説明では、簡単のために、雨と流量との関係だけに話をしぶった。しかし現実には、蒸発散がある。洪水の計算には蒸発散を無視して

5. タンクモデルの探し求め方

なお、きわめて特殊な場合であるが、大雨が降ったときにしか流量が現われない河がある。その流量を半対数方眼紙に描こうとすると、水がなくなるところで、半対数方眼紙上のグラフはどこまでも下方に落ち込み、しかも測定誤差によりグラフは大きくゆれ動いて、具合が悪い。そのときは、0.01 mm/時とか、0.05 mm/日とかを定数として流出高に加え、それを半対数方眼紙上に描くとよい。加える定数は、誤差による変動を見て、それがあまり効かなくなる程度のものに定めるとよい。これは $\log(q+c)$ のグラフを描くことである。

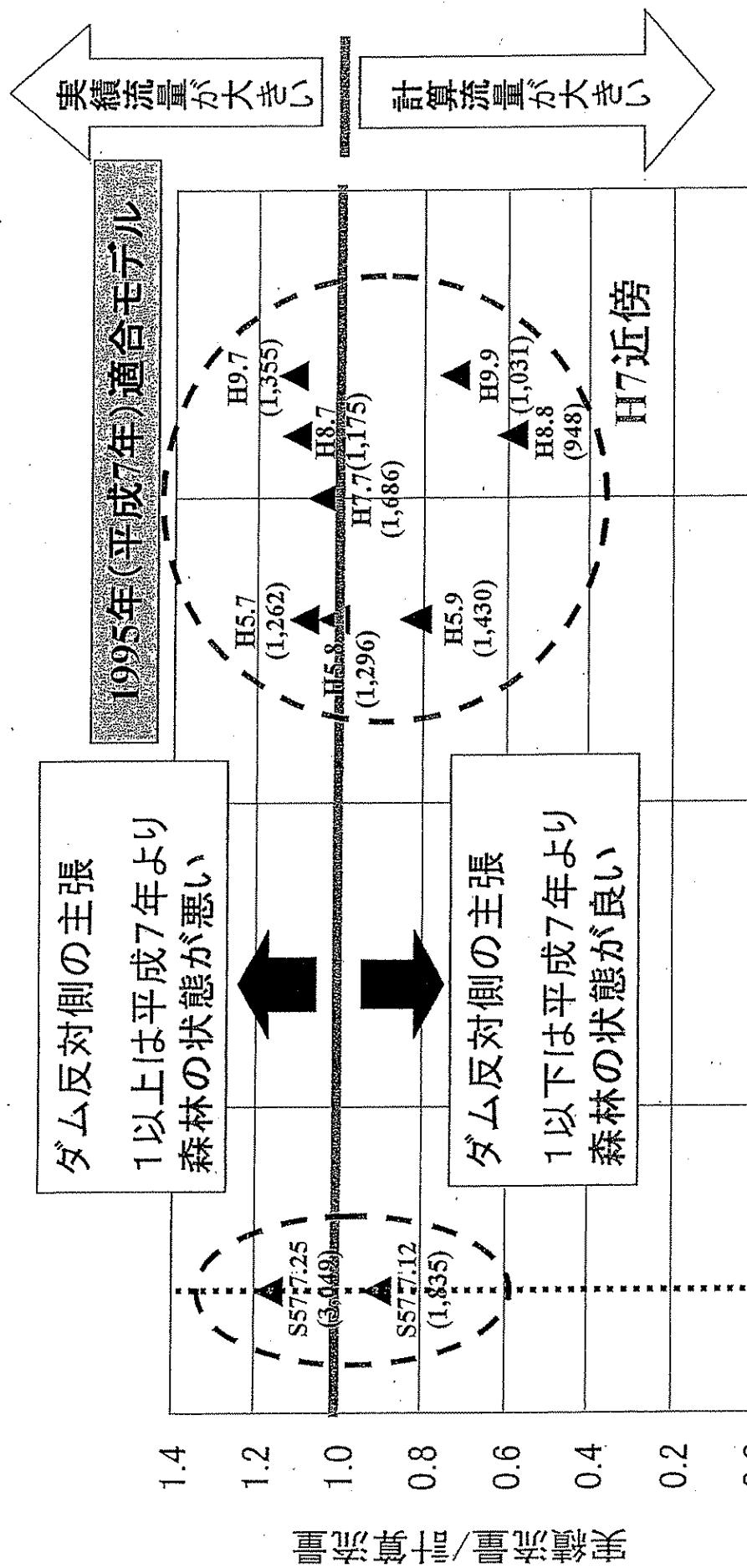
半対数方眼紙にハイドログラフを描くことの利点は三つある。第1に、河川流出はかなり指數関数的に減衰するから、そのようすを知るのには半対数方眼紙上にハイドログラフを描くとよい。第2に、流量測定の誤差は流量が大であるときは、ほぼそれに比例して大きい。したがって、対数目盛で表わすことにより、相対誤差を絶対誤差に置き換えることができる。第3に、ハイドログラフの全体の形を一目で見ることができる。洪水はふだんの流量の何百倍の大きさであるから、そのままの目盛りでは、流量の変化の全体を通観することは不可能である。

3. 洪水用タンクモデルと日流量解析用のものとの区別

私は洪水の場合にも、日流量解析の場合（渴水を含む）にも、タンクモデルを用いる。そこですべての流出問題を同じタンクモデルで解決できるかと思う人がいる。洪水、渴水どちらの解析にもタンクモデルを用いるのは事実であるが、両者に同じタンクモデルを用いるわけではない。両者を区別して考えなければならない。

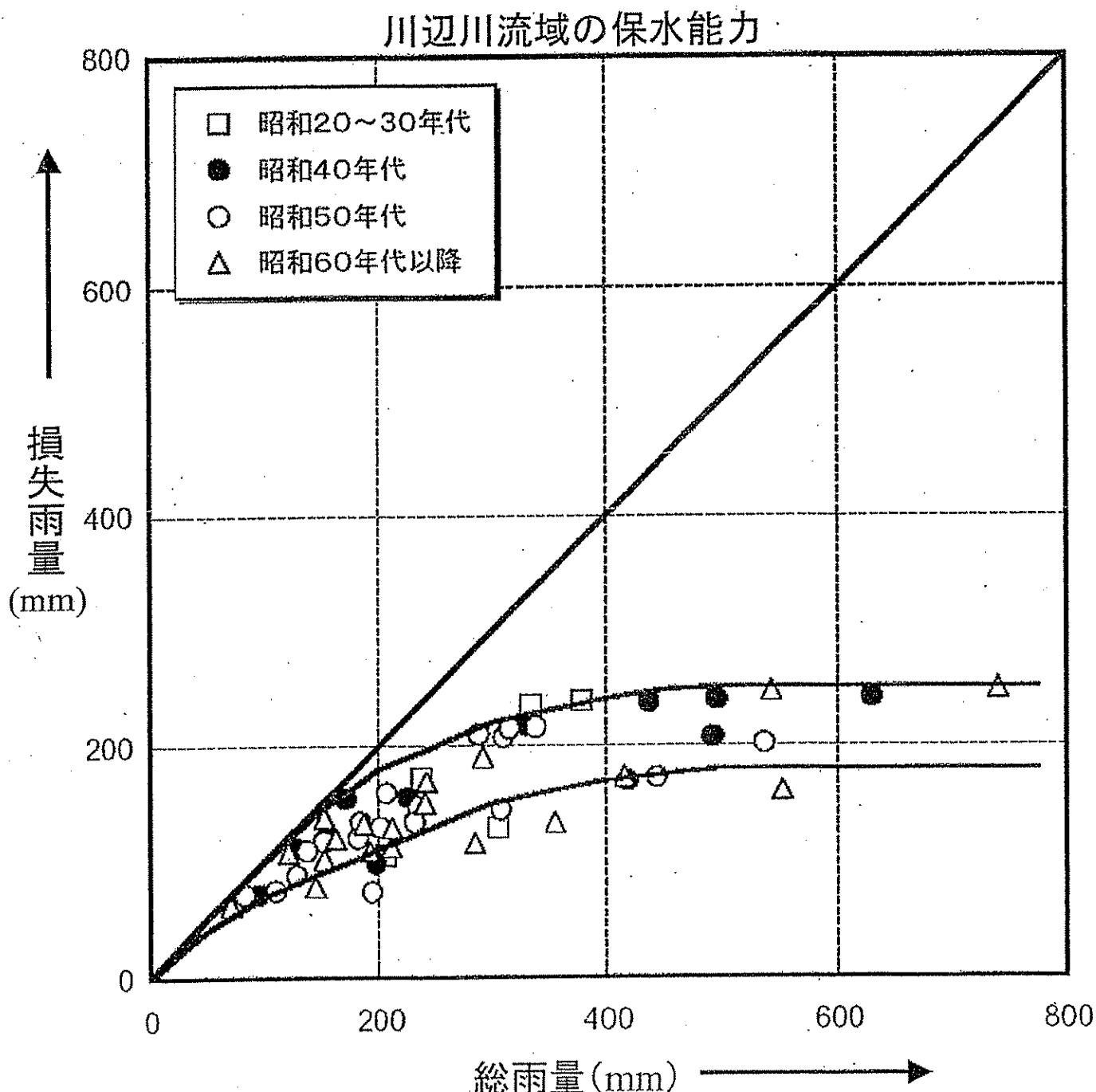
私は洪水の解析には2段か3段のタンクモデルを、日流量解析には3段か4段のタンクモデルを使うことが多い。タンクモデルに用いられる各段の構造は、大部分が非線型の貯留型で、指數関数型でないから、その半減期という言葉を用いるのは、いささか不適当である。しかし、貯留型モデルは元来、指數関数型を継ぎ合わせた性質を持つもので、貯留高の大きさにより自動的に半

同じ年に発生した洪水を、同じタンクモデルで説明できないと タンクモデルが流域の状況を反映しているとは言えない



流域の保水能力には限界がある

- ①土壤への浸透及び蒸発散量は200~250mm程度で頭打ちとなり、限界がある。
- ②また、年代による差はみられない。



現れる部分が生じ、そこでは地表流（飽和地表流）が生じて、降った雨のほとんどが渓流や河川に流れ込みます。この時点では森林土壤の保水能力は一杯になっており、雨は速やかに渓流や河川に流れ込みます。この答申はこのような状態での森林の洪水緩和機能を評価したものと理解しており、「流出にかかる時間」及び「流出過程」を踏まえた記述と考えています。

また、球磨川の治水計画で対象としている降雨は最大で1時間あたりの雨量が40mm程度です。表8に示すように、我が国の森林土壤は浸透能が非常に大きいため、この1時間あたり40mm程度の雨は、針葉樹林であっても広葉樹林であっても、通常、すべて地中に浸透すると考えられます。このため、森林土壤の浸透能の違いが洪水のピーク流量に影響を及ぼすとは考えられません。

(3) について

国土交通省では、森林の洪水緩和機能について、「川辺川流域では、森林土壤での保水及び蒸発などは総雨量が200～250mm程度で頭打ちとなっており、このことから、森林の洪水緩和機能は大洪水の時には限界があること（図10）」などを、これまでにさまざまなデータなどで説明してきました。「日本学術会議の結論だけを引用」してはおりません。この答申は現時点における学問上の定説を取りまとめたものと解しており、国土交通省の川辺川流域などにおける森林の洪水緩和機能についての検討結果と整合することから、住民討論集会などにおいて紹介しているものです。

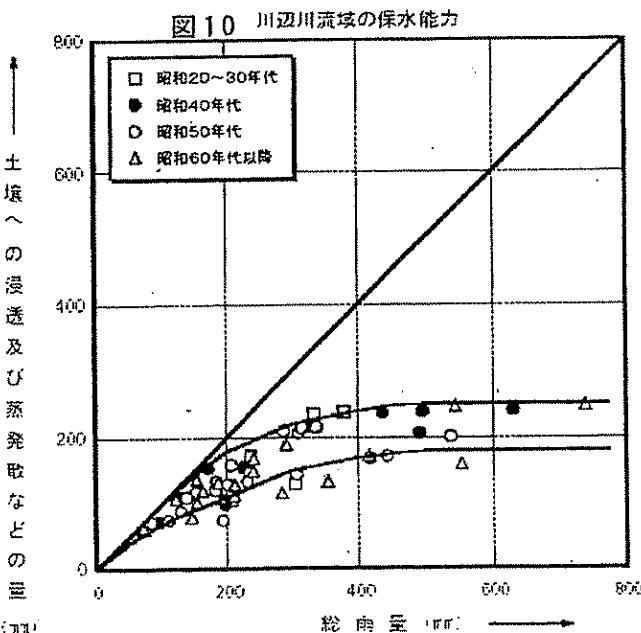
ダム反対側がその効果を主張している大洪水時の森林の洪水緩和機能は、「大洪水時には顕著な効果は期待できない」という森林水文学の定説に反しています。

また、ダム反対側は「平成7年（1995年）7月洪水に適合させた川辺川のタンクモデルを論拠として、「森林の成長による山の保水力の向上」を主張しています。しかし、「2. タンクモデルの計算結果について」に記述したように、1つの洪水のみに適合させたタンクモデルは、正しいモデルとは言えず、その正しくないモデルをもとに組み立てられた主張（仮説）は意味がなく、科学的な妥当性を欠いていると考えています。

表8 土地被覆条件別の最終浸透能（1時間当たり）

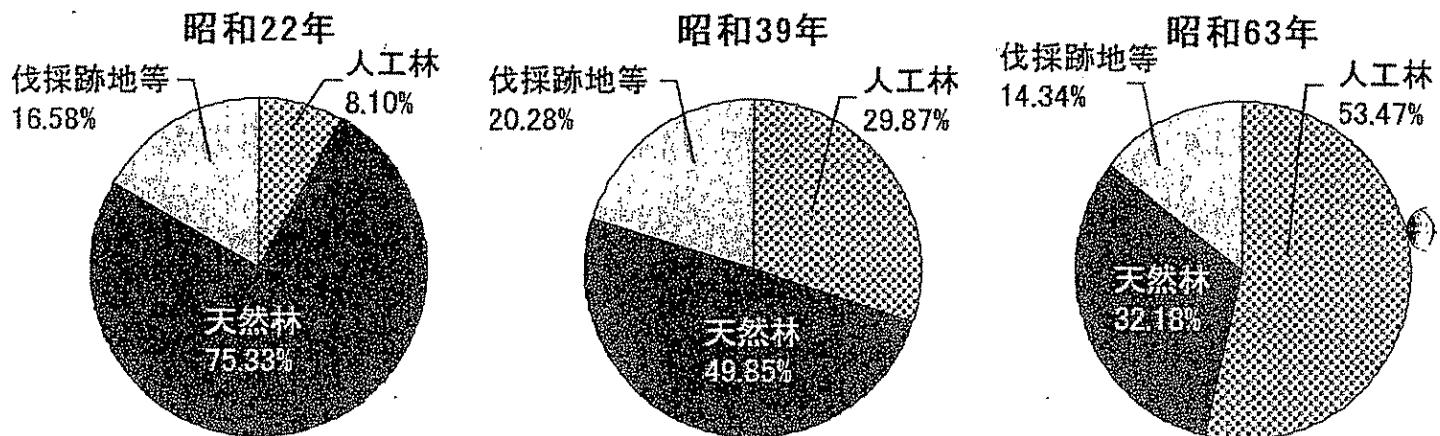
林地		
針葉樹		
天然林	人工林	広葉樹天然林
211.4mm/h	260.2mm/h	271.6mm/h
林地平均		
258.2 mm/h		

村井宏ら, 1975
〔出典：森林水文学（塚本良則編）を加筆〕



川辺川流域の森林の状態は、洪水緩和機能の観点では、昔からほとんど変わっていない

川辺川流域の森林分布の変遷
(S22年、S39年、S63年航空写真の判読結果)



伐採跡地、焼畑耕作地、崩壊地、集落・道路・河川等を合わせた面積率
約17%(S22)→約20%(S39)→約14%(S63)



- 伐採跡地等でも、森林土壤が存在するので、洪水緩和機能は大きくは変化しない。
- 伐採跡地等の土地の面積は小さく、その変化は小さい。



洪水緩和機能は昔からほとんど変わっていない。

森林の保水力の双方の考え方

<森林の保水力の影響>

平成16年12月17日

