

森林の保水力の共同検証に関する専門家会議資料抜粋 【目次】

資料-1	専門家会議における主張の整理（平成16年4月28日） （第2回専門家会議配付資料）		1 ~ 7
資料-2	森林の保水力に係る共同検証についての提案（平成16年3月） （調査に関するダム反対側、国土交通省提案）	地表流観察	8 ~ 15
資料-3	森林の保水力の共同検証に関する専門家会議合意事項 （平成16年7月1日、8月2日、9月2日、平成17年5月28日） （地表流観察試験の実施と候補地の選定等に関する合意）		16 ~ 19
資料-4	地表流観測試験（概要及び観測データ）		20 ~ 38
資料-5	森林の保水力の共同検証に関する専門家会議合意事項（平成17年1月28日） （斜面の下部と中部におけるホートン型地表流の発生の程度の違いと その理由についての文書提出等の合意）	ホートン型地表流	39 ~ 41
資料-6	双斜面の下部と中部におけるホートン型地表流の発生の程度の違いと その理由について （資料-5に関するダム反対側の提出文書）		42 ~ 43
資料-7	斜面下部と中部におけるホートン型地表流の発生の程度の違いとその 理由 （資料-5に関する国土交通省の提出文書）		44
資料-8	森林の保水力の共同検証に関する専門家会議合意事項（平成17年5月28日） （表層流に関わるメカニズムについての文書提出及び双方文書について の県からの森林水文学の専門家への意見聴取等の合意）	表層流	45
資料-9	「表層流」の定義とその発生メカニズム －表層土壌の劣化（浸透能の低下など）と表層流の増大－ （資料-8に関するダム反対側の提出文書）		46 ~ 63
資料-10	中根氏が主張する「A層側方流の増大」について （資料-8に関する国土交通省の提出文書）		64 ~ 77
資料-11	「表層流」に関するコメント （資料-8に関する森林水文学の専門家の意見）		78 ~ 90
資料-12	森林の保水力の共同検証に関する専門家会議合意事項（平成17年11月25日） （観測結果の整理と考え方についての文書提出等の合意）		91
資料-13	「森林の保水力」現地検証（地表流観察試験）の結果について （資料-12に関するダム反対側の提出文書）	まとめ	92 ~ 110
資料-14	「森林の保水力の共同検証」について （資料-12に関する国土交通省の提出文書）		111 ~ 116
資料-15	観測データの取り扱いについて（国土交通省）		117 ~ 118

「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
<ul style="list-style-type: none"> ・ 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。 ・ 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。 ・ 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。 ・ 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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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。 ・ 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。 ・ 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ミリ以上の非常に大きな雨量の時には、森林の保水能力だけ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。 ・ 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。

前回専門家会議における主張の整理

1 森林の保水力とピーク流量との関係

項 目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
○洪水緩和機能について	<p>○1960年代の一斉拡大造林により、森林を伐採したらピーク流量が2倍、3倍と上がることを具体的なデータを示してきた。 これは、浸透能が低下したということであり、場合によっては地表流が斜面の中部でも発生してそれが一気にピーク流量を跳ね上げている。 こういう現実の問題を見ていくと、国交省の言うように一貫して変わらないということはありませんにも現実離れしている。</p> <p>○浸透能の絶対値は別として、浸透能が低いと表層流が増える。逆に浸透能が高いと表層流が相対的に低くなって、中間流や地下滞水流が増え、それが河川に出てくる時に結果的にピーク流量を大きく低減させる。 中間流が増えるということは、それだけ同じ雨の量を時間的に分散させ、いわゆる洪水緩和機能として働く。</p> <p>○2日間で400ミリの雨が降った場合、一方が放置人工林の場合、一方が適正間伐して針広混交林化し土壌浸透能が良くなった場合を比較すると、土壌の貯水量が同じ200ミリであっても、残りの200ミリが集中的に出るか、時間をかけて出るか、総量で見えていくと変わらないが、時間を軸に入れて考えていくと、ここに大きな洪水緩和のメカニズムが隠されている。 国交省はここを見ていない。常に一降雨に対してどれだけ出た、どれだけ残った、だから治水機能はない、保水機能はないという非常に単純な見方である。しかし洪水は、時間的な流れの中で河川流量がどう変化するかということが一番肝心であり、そこを見ていかないと森林のメカニズムを評価することはできない。</p> <p>○植生の変化や手入れの違いによって森林の土壌が大きく変わり、それによって仮に浸透能が1.5倍、2倍になるということがあれば、時間的に表層を流れていく水の量が減って、結果的にはピーク流量が下がる。そういうところが、我々の考え方とデータが非常に合っている。</p> <p>○伐採跡地のピーク流量が増えていくのも私達の理論どおりで、伐採したらピーク流量が増えるというのが学界の定説。</p> <p>○塚本さんの本（研究）によれば、一つの斜面で実際に浸透能や透水係数を測ってみて、斜面の横を流れる水も全部考慮してシミュレーションモデルを組んでみたら、1日220ミリの雨で植生の違いによりこれだけピーク流量が違う。</p> <p>○森林の流域の構造、例えば浸透能が森林伐採後どの位変わったからこれだけピーク流量が上がったという、非常に詳細な植生の変化に伴う土壌の変化とか、保水機能の変化、そして結果的にピーク流量がどう増えたか、また、渇水時に基底流量がどう減ったかというデータは極めて少ない。</p>	<p>○球磨川流域では、過去から森林土壌は保全されており、昭和40年においても降雨は一旦森林土壌に浸透したと考えており、過去から森林の洪水緩和機能というのは大きく変わっていない。</p> <p>○河川計画で対象とするような大雨の場合、斜面の大部分では一旦は森林土壌にしみ込むが、(それまでの雨で)森林土壌が水を溜める機能は既に一杯になっており、斜面下方では飽和型地表流が発生する。したがって、大洪水においては、森林には顕著な洪水緩和機能が期待出来ないというのが森林水文学の定説となっている。</p>

2 現地検証

項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
(1) 目的	<ul style="list-style-type: none"> ○自然林と伐採跡地、コントロール、対象区として自然林、それを人間が伐採したことによりどれ程浸透能に影響を及ぼすか、これを現地でチェックする。 ○植生の影響が（浸透能にどれだけ影響を及ぼすか）クリアに出る。 ○斜面の中部で本当に地表流が発生しないかどうか、本当に一部でしか発生しないかどうか確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ○森林の洪水緩和機能に関する双方の評価の違いは川辺川流域における森林土壌の降雨の浸透機能についての評価、地表流の発生の有無に起因しているため、川辺川流域において地表流が発生するかどうか、森林土壌の降雨の浸透機能に主眼をおいた調査を実施する。 ○相互の主張の差異というのは、広い範囲で地表流が発生するかどうか起因しているため、伐採跡地や手入れの悪い人工林等のいたるところでホートン型の地表流が発生するかどうか調査し、過去からの川辺川流域の森林の洪水緩和機能の推移を検証する。
(2) 手順 ①文献調査 ②現地調査 ③現地実験	<ul style="list-style-type: none"> ○球磨川流域の森林に立ち入って、自然林と伐採地、放置人工林と適正間伐した人工林、林相及び土壌表層を確認する。できれば同一斜面で他の要因がほとんど同じでありながら植生が違うことによる林相の状態を確認する。 ○同一斜面の①の林相で浸透能を現地で実測し、人間が伐採したことによる影響が浸透能にどれ程影響を及ぼすかチェックする。 ○表層の土壌を林相別に採取し、その土壌構造、孔隙率、酸素濃度、三相（こ相、水相、き相）、PF値（土が水を保持する力を測定した値）、こういった調査を同一斜面で最低6箇所位ずつやる。 ○同一斜面の①の林相で数箇所選定して、80年に一度の雨を降らせた時、あるいは集中豪雨の時、地表流が発生するかどうか、植生の違いによってどの位水を流した時にどっちが早くどれだけ（表層流）が出るか、雨量により違いがあるかないか、それをカメラで記録として残しておく。洪水の時は、カメラ（を設置して）撮影する。 ○これらを立ち会いでやるのだろうが、データを共有し、両者が同時に解析することもあり得る。 	<ul style="list-style-type: none"> ○文献により川辺川流域における森林の現況について調査し、現地踏査を行う箇所を絞り込む。 ○文献調査を基に川辺川上流域での代表的な森林を複数選定し、当該場所における森林及び森林土壌の状況について現地踏査を実施する。 ○現地踏査を踏まえて複数の代表的箇所を選定し、治水計画のピーク時間雨量相当が十二分に浸透するかどうかを確認する散水試験を実施する。 ○大きさ1m×1m位の範囲で、この上の装置から球磨川の治水計画程度の水を散水してその時の浸透状況を確認する。 ○河川計画で対象とするような大雨でも、森林土壌の浸透能が十分大きいので、斜面の大部分では大雨でも一旦は森林土壌にしみ込むということを示す。

3 散水試験

項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
(1) 散水試験と浸透能	<p>○斜面全体に雨を降らせてみるとどうなるか、これが本当の意味での浸透能の評価につながる。</p> <p>○植生や管理の違いによる浸透能の違いを、散水試験、または円筒透水計で測ることに異論はない。ただし、どういうところで、どういう形でその実験を実施するか、これが決定的に大事である。</p>	<p>○浸透能が問題ならばそうなかもしれないが、とりあえず争点は地表流が発生するかどうかで、それを確かめるのは基本的には散水試験であり、円筒型の浸透能試験ではない。</p>
(2) 規模	<p>○浸透能のやり方というのは散水試験もあるし（円筒型でも）点数を稼げる。森林の土壌は非常にヘテロ（で、データのばらつきが大きい）だから、点数を増やさないといけない。散水試験でどこまで点数を増やせるのか。不足分を、例えば相対値として円筒型の冠水試験でその数を増やす。我々が統計的に処理した場合、誤差10%か20%で数十ポイントが必要。</p>	
(3) 方法	<p>○散水試験は1m四方のシャワーしかなく、上からも水が来ないし横にも染み込んでいくので、1時間250ミリという数字（浸透能実験の測定値）を絶対化して、球磨川で相手にしているのは時間雨量40ミリとか精一杯そのくらいの雨だから、そんなの全部染み込んでしまうんだと。</p> <p>地表流はそんな散水試験でやっても、全体に雨が降った時を再現しておらず、1時間250ミリを絶対的な数字としてとらえるのは誤っている。</p> <p>○本当に地表流が発生するかしないかというのは、豪雨の時に現場を見たらいい。もしプラスアルファ雨を降らせたいというならば、幅10m、前後して20m位降らせてみる。</p> <p>○地表流というのは散水試験では測れない。実際の集中豪雨の時に何カ所かカメラを設置して、そういうところで測ったらいい。</p> <p>○雨は樹冠の上から降るが、（国交省が提案する）やり方は林床で降らせるもの。最近の知見では、地表流の大きな原因の一つに樹幹流が上げられているが、このやり方では樹幹流が生じない。だからやるならば、パイプを5m間隔で3本、20から40m位延ばして、ホースのように穴を開けて散水すると、上から雨が降ったようになる。例えばヒノキ林で雨が降っているところに行ってみて下さい。すごい樹幹流ですよ。</p>	<p>○散水試験の方法について、試験前にかんりの水を降らせ続けるか、事前に雨が降っている時で、それに加えて試験前に散水して、その周辺をかなり湿潤な状態にしておいて試験する。</p>
(3) 場所	<p>○傾斜の角度というのがものすごく効く。40度のとこなんかは表土はメタメタ。だから、35度の場合とか30度の場合とか。平均的には30度。だからある程度斜面の傾斜、平均的な斜面でやらないとこれもおかしくなる。</p> <p>○浸透能は土壌構造そのものによって決まる。土壌構造は、植生や土質、地質、母岩、地形、その場所の人為的な管理のあり方など、たくさんの要因に影響され、それらの要因が浸透能の絶対値に影響を及ぼすので、植生や管理の違いがどれだけ影響を及ぼすか、その違いを比較する時に、同一斜面で同じ測定方法で数回重ねてやる必要がある。他の要因を消していくこと。</p>	

項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
(4) 実験の評価	<p>○散水試験は、元々浸透能の相対的な評価の実験システムであり、それを地表流発生システムに格上げすることはできない。</p> <p>○散水方式はあくまで浸透能の相対値の調査で、それを1箇所で作るなら非常に問題だ。同じ場所でも5、6箇所やらないと、その林地の代表的な値、平均的な値を表現できない。この方法で地表流を評価することはできない。</p> <p>○ほんの斜面の一部に雨を降らせて地表流が発生するかもしれないということは評価できない。できるとしたら、その場所の浸透能の相対的な値だけ。</p> <p>○人工林を間伐した後に土壌がどう変わるのか、その時に河川の流量の出方が渇水時も洪水時もどう変わるのか、10年位かけて追跡調査すること。ただ、量的にどれだけピーク流量を上げるか、どれだけ下げるといのは、実際に量水堤を造って10年位かけてみないと分からない。</p> <p>○大まかな点で国交省の言うことが真実なのか、私達が言うことが真実なのかというのは、まずポイントポイントでどうなのかということ、それが実際に流量にどう響くかというのは、この短期の実験ではできない。だから、点のデータを面に広げるには、どうデータをとったらいいか、どう評価したらいいのかということが大切。</p> <p>○1、2年で出来る実験としては、実際にとりあえず地表流が発生するかどうかを確認すること。浸透能がどれ位の量なのか、どれ位の降雨強度で、普通の傾斜30度のヒノキ林で地表流が発生するのかもしれないのか、自然林と人工林でどのくらいの量の差が出るのか。</p> <p>○伐採して10年経ったところで、一帯、切る前の森林が横にあってそれと比較すれば、その影響はもろに出ている訳で、それを持って類推するというのは極めて科学的だと思う。</p>	<p>○ダム反対側の主張では、土壌表面の雨水を浸透させる力が低下すると洪水時には地表流が増えるということなので、その潤状態というよりも、そもそもその表面から入る力がどうかという話で、逆に言うと規模とかではなくて実際にその表面の表層能がどうかという主張ではないか。</p>
(5) その他 ①流域の平均浸透能 ②流域全体との相関	<p>○新しいオリジナルなアイデアとして、流域の平均浸透能というのを求めている。例えば水田だったら0.5、草地だったら0.6などとし、そのポイントのデータから流域全体の平均浸透能に広げるといふこともあり得る。これとタンクモデルの係数が合うという現実がある。</p> <p>○一部の森林で手入れによって（浸透能が）良くなるようであれば、川辺川の森林整備すら同じ効果があると科学的に言える訳で、ポイントのデータが全体の流量、川辺川の柳瀬での流量との関係で一つの相関があれば、これはかなりきちっとした基礎データになりうる。</p> <p>○一斜面の一小流域のデータを拡大することを問題にするが、実際の流域はそういう小さな山、斜面が集まっており、ある意味では統合化される。</p>	<p>○一つの単一な斜面、非常に一樣なところで比較しているというのにはあるが、500平方キロ全域の中で、その森林の個々の状態がそれぞれ、要は500平方キロまとめて下流域でのその洪水のピークにどう影響するかということは、今まで実際当然実験できなかった。 要は、個々のポイントのところを積み重ねて大流域ということ、まだ森林水文学の中でもできあがっていない。</p>

4 土壌サンプル測定

項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
必要性	<p>○人工林、自然林、放置人工林、特に植生の影響が出てくるのは表層（落ち葉層を除いて硬質表土の0から15センチ）で、上から落ちてきた落ち葉の質によって、その土壌の構造が、土壌動物の数や種類が違う。</p> <p>自然林というのは、表層の土の水を貯める力、貯水力が大きくなり、流域全体で考えていくと、例えば10%保水力が増えることによって、ダム1基分位の保水力がアップすることもあり得る。</p> <p>これが相当ピーク流量とか、渇水時の基底流量に大きく影響してくる重要なポイント。</p> <p>○今は植生の違いを問題にしており、植生の違いだけを見るとこのばらつきは消えていく。確かに、同じ人工林の中でも数m違ったら2倍、3倍違うことはあり得る。だからある程度数をしないと。</p> <p>だから、地形土壌、その他の要因を植生以外はなるべく変えないようにして測定しないと、こういうばらつきの中に埋もれてしまう。</p> <p>だけど、実際に植生が違っているとこれだけ変化するというのも事実だと思っているし、データ的にも示している。統計的にも有意差があると言っている。</p> <p>○ポイントだけの調査で済むなら非常に大きな危険性がある。だから私達は、柳瀬でタンクモデルで流域全体の評価もしている。時系列的に昭和29年からずっと。</p> <p>だけど、その全体の評価とポイントの評価、しかし地形とかその他の要因を消して植生の違いの影響だけをきちっと評価すれば、直結びつくことはないとしても非常に強い相関関係があって因果関係が出てくる。</p> <p>だから、同じ斜面で、なるべく近い隣接するところでやらないと植生の違いは出てこない。</p>	<p>○流域全体を評価することが非常に大事なこと。流域というのは非常に多様で、サンプル試験というのはごく一部の話であって、流域を構成する色々な要素によって、値が非常にばらつく。この非常にばらつきの多いデータを用いて流域で評価しなければいけないが、なかなかそれが出来なくて、結局のところ、流域全体としてトータルとしての流量と雨という関係で整理されている。</p>

5 現地踏査

項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
現地踏査	<p>○林班で調べるのはもちろん異存はないが、それが無駄にならないために、実際にそういう場所を予め踏査しておいてリストをつくって、それをお互いが現地を見て、お互いがそれを提案しあって両者が両方をチェックする。そしてそれぞれの提案した何カ所を共同の調査地にする。</p> <p>ただし、場所が異なれば植生の違いというのも簡単に消えてしまうので、対象となる森林が隣接する場所、これが最小必要の条件である。</p> <p>○踏査する場所については、お互いが提案して、いくつかリストを出してもらって、とりあえずそれを見て回ると。数の限定はあるが、その時に見て、そして場所を絞り込んでいくと。</p> <p>○我々の基本的な姿勢というのは、人工林と自然林、もしくは間伐林、そういうものがちゃんと並んで両方が調査できることを前提としている。</p>	<p>○現実問題として、流域のあらゆる箇所を歩き回ってというのは事実上困難なので、文献調査と言ったが、林班図等を準備して、それを基に場所を選定していくことを提案している。</p> <p>○森林計画図（針葉樹や広葉樹が色分けされた図面）や、木の齢級が色分けされた図面、必要に応じて航空写真も使って現地踏査する場所を絞り込む。</p>

6 地表流について

項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
(1) メカニズム	<p>○地表流というのは斜面全体の動態であり、上からの水がかなり斜面に沿った方向でちょっと浸透したら出てきて、それが下へ行く程積算されて結果的にホートン流の地表流を生み出してくる。</p> <p>○現実的に表土が流亡しており、国交省の表現の仕方ではこういう表土が絶対に流れない。これはたまたま1箇所、2箇所ではなく、1平米に1箇所位あり、これは頻りに地表流が、表層流が流れているという証左である。</p> <p>○大通峠などのヒノキ林で斜面の中に入ると、根っこが見えるのが、斜面の上部から中部にかけて至るところにそういうのが見える。</p>	<p>○我が国の森林土壌は浸透能が非常に大きいため、球磨川の治水計画で対象としている1時間40ミリ程度の雨は、針葉樹林でも広葉樹林でも通常全て地中に浸透し、ホートン型地表流は発生しない。</p> <p>○（球磨川流域では、）過去から森林土壌は存在し続け、雨水は浸透するので、ホートン型地表流は発生しないか、発生しても局所的である。</p> <p>○確かにメカニズムとして集まってくるというのはそのとおりだが、それは我々が言っている飽和地表流ではないか。</p> <p>○ヒノキ林であろうがスギ林であろうが、水みちがあって洪水の時に（ホートン型地表流が）ジャラジャラ流れて非常に固くなっているところ、ごくごく局所的にはあるが、要は広い面積で一様にはない。</p>
(2) ホートン型地表流と飽和地表流	<p>○斜面中部で出ると我々が言っている地表流はホートン型である。だけど、ホートン型の定義で言う浸透能の値というのは、一部で降らせた雨で評価している値であり、それを超えているということではない。</p>	<p>○お互いに地表流の発生を確認するという事なので、その地表流が飽和型なのかホートン型なのかということをも確認しないとダメだ。</p> <p>○測定値がどうこうということではなくて、ホートン型があり得ないと言っている。降雨強度が浸透能をオーバーしているという状況はあり得ないということ。飽和型の地表流は斜面の下部ではあり得るということ。</p>

7 浸透能調査

項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
必要性	<p>○浸透能実験の散水機で地表流を見ようとしているから議論がおかしくなっている。それは置いておいて、点数を増やすために浸透能の違いを測った方がいい。相対的にどの位違うかというリアルなデータを同時にとってはどうか。</p>	

8 タンクモデル

項目	ダム反対側	国交省・ダム推進側
	<p>○タンクモデルが最終的には川の状況を決定するものだとしており、両方で共通認識の共通データで両方計算し合うということが一番必要。</p> <p>○河川流量で係数を決めるので、雨とアウトプットの河川の（流量の）実測値（も共有すべき）。</p> <p>○長期のデータで、雨が降っていない時も含めてずっとデータでどういうタンクモデルの係数が決まるか、これを同じデータでやったら一発で決まる。いくつも係数なんか絶対見つからない。</p>	<p>○タンクモデルで入力する雨（のデータ）は共有してもかまわない。ただし、タンクモデルの道程、つまり正しい定数の決め方については、反対側のやっていることに異論がある。</p> <p>○我々が森林の保水機能をタンクモデルで証明しようとしている訳ではない。</p>

川辺総第2164号
平成16年3月12日

子守唄の里・五木を育む清流川辺川を守る県民の会
(ほか52住民団体)
代表 中島 康 様
日本共産党熊本県委員会
委員長 久保山 啓介 様
川辺川ダム問題を考える議員の会
代表 上原 義武 様
民主党熊本県総支部連合会
代表 鎌田 聡 様
人吉の住民投票を求める会
副会長 岐部 明廣 様
不知火海沿岸漁協川辺川ダム対策委員会
会長 宮本 勝 様
球磨川流域の治水と環境を考える住民の会
代表 永村 修一 様
球磨川流域の生活と安全を考える会21
代表者 神崎 弘光 様
国土交通省九州地方整備局
河川調査官 塚原 健一 様

熊本県理事
鎌倉 孝幸

森林の保水力の共同検証に関する専門家会議の開催日程について(照会)

このことについて、2月6日に開催された事前協議の合意事項に基づき、森林の保水力の共同検証の方法等について別紙1及び別紙2のとおり双方から提案がありましたので送付します。

つきましては、2月6日の事前協議の合意事項に基づき、下記1について協議するため専門家会議を行いますので、会議の日程について、別紙3により3月17日(水)正午までに県あてFAXにて回答されますようお願いいたします。

なお、専門家会議につきましては下記2のとおりと考えておりますので、会議への参加に当たっては十分留意されるようお願いいたします。

記

1 議 題

- (1) 森林の保水力に係る共同検証の方法、場所、時期等について
- (2) その他

2 専門家会議の運営について

- (1) 森林の保水力に関する専門家を中心として、森林の保水力の検証方法等について専門的な見地から具体的に議論する場とします。
- (2) 専門家以外の事前協議参加団体関係者についても参加を認め、県において必要と認めた場合は発言することが出来ることとします。
- (3) 出席者数は、協議を円滑に行うため、双方とも森林の保水力に係る専門家を含めて8名程度とします。
- (4) 会議開催の日時及び場所については、県において調整のうえ、後日、FAXにて連絡致します。
- (5) 会議を円滑に進行するため、双方とも次の点について十分ご検討のうえ参加してください。

1) 共同検証

- ①共同検証の目的
 - ②具体的な測定方法、検査方法（その方法を選定した理由を含む）
 - ③調査場所（具体的な場所や条件、箇所数など）
 - ④検証の時期及び期間
 - ⑤その他（留意点など）
- 2) 現地踏査を必要とする場合は、上記に準じてご検討方お願いします。

連絡先 ：熊本県企画振興部川辺川ダム総合対策課 担当 緒方、中村
住所 〒862-8570 熊本市水前寺6丁目18番1号
電話 096-383-1111（内線3641）
FAX 096-383-0371

2004. 3. 8

熊本県川辺川ダム総合対策課御中
ご担当様

ダム反対側治水班

森林の保水力に係る共同検証についての提案

はじめに

平成15年12月14日に開かれた第9回川辺川ダムを考える住民討論集会において、森林の保水力に関する現地検証を行なうことが確認されました。

このことは従来「平行線」とされてきた森林の保水力に関する国土交通省とダム反対側の主張の正否を明らかにすることをめざしたものです。

そこで現地検証を意義のあるものとするためには、両者の主張を整理し、相違点を明らかにすることが先決です。

森林が大きな洪水に対して緩和機能を持つのか持たないのか、またそのことを現地で検証するにはどのような方法があるのか、専門家会議を開いて論点を整理した後、現地検証に臨むべきであると考えます。

1. 国と反対側の主張が相反する論点・テーマについて

両者の主張が全く異なっているのは以下の4項目ですが、それぞれの内容について前回の討論会で配布された「第9回討論集会資料4・国土交通省による専門家の質問への回答」(以下「国の回答」と呼びます)を取り上げ、お互いの主張のどこがどう違っているのかを具体的に見てみましょう。

a. 森林の状況による治水機能の差異について

ダム反対側はこれまで、森林が樹種や林齢によって浸透能が大きく違うこと、また川辺川流域(柳瀬地点)の異なる年代毎のタンクモデル解析の結果、広葉樹の割合が多かった時期、一斉拡大造林期及びその後の森林(主に人工林)の成長期のタンクモデルで同じ洪水の降雨パターンを与えて、河川流出を計算するとピーク流量が数割増減することを示しました。

(中根・嶋津日本林学会2003年3月、ダム反対側回答p13資料1及びp23より)

これに対し国は、「森林は中小洪水では洪水緩和機能を発揮しますが、大洪水では降った雨のほとんどが溪流や河川に流出するような状態になるため、顕著な効果は発揮できません。」との見方をこの章だけで4度繰り返し述べています。

(p17最下段、p18上から4行目、p19下から8行目およびp21上から5行目)

しかしながら、この主張の根拠となるものは、虫明功臣氏の論文引用と川辺川流域の「土壌への浸透及び蒸発散量」図の二つだけです。

虫明論文は非常にはっきりとしたイラストを使い、「森林土壌が飽和状態になり、大洪水では飽和地表流が生じる」プロセスを説明しています。

しかし国の回答を見る限り、虫明氏の主張を裏付けるデータは示されていません。ここで明確にされなければならないのは以下の点です。

- ①「大洪水」というのは日雨量などで何 mm の降雨の洪水なのか
 - ②「顕著な効果」とはどれほどの効果を指すのか、逆に「顕著でない効果」とはどれほどの効果を意味するのか
 - ③飽和地表流が発生するプロセス及び発生量と森林の樹種・林齢の関係
 - ④森林の保水力と洪水緩和機能とのつながり
- すなわち虫明氏の主張では、一般的な概念が明確に述べられているにもかかわらず、具体的なデータが示されておらず、論文としては奇異な印象を受けます。

「森林の洪水緩和機能は大洪水において顕著な効果を期待できない」とする国の主張のもうひとつの根拠として「土壌への浸透及び蒸発散量」図があります。

この図について明確にされなければならないのは以下の点です。

- ①各洪水の算定データを公表すること（とりわけ総雨量 200mm 以上の洪水）
 - ②ここで定義されている量とピーク低減の関係
- 森林の保水力というものは、浸透能をとってみても無限大のものではありません。問題とされているのは、樹種や林齢によって異なる森林の保水力が洪水緩和機能とどのように関わっているのかということです。

国はこの章で、「森林の洪水緩和機能は、森林の樹種や樹齢ではなく、森林の土壌の存否に大きく影響されます。」と述べています。(p19 上から 5 行目)

森林の洪水緩和機能が森林土壌に影響されることはまさにそのとおりですが、その土壌の形成には樹種や林齢が大きく関わっているというのが私たちの主張です。

すなわち広葉樹林はもちろん、強間伐された人工林でも林床にかなりの日射がもたされるため、広葉樹や草本が侵入し、生育するため、その落葉により森林土壌の形成が促進されるということです。落葉や枯れた下草が堆積と腐敗を毎年繰り返すことにより森林土壌が形成されます。森林の伐採はその後直ちに植林されても、しばらくの間は落葉が途絶えるため、土壌の劣化を免れません。また、人工林の場合、放置されたり、間伐が不十分な場合は、下層植生の侵入が制限され、分解の遅い針葉の落葉のみとなり、そのため土壌の改善には限界があります。また下草がないため雨滴が直接地表を打ち、表土の団粒構造を劣化させます。国の主張はこの点について触れることなく、森林土壌が山の地質などにのみ依存すると言っているようですが、私たちは同じ地形地質の山でも樹種や林齢、また人工林の場合は間伐などの手入れによって土壌の保水機能（浸透能や貯水能）が異なると考えます。

後に述べますが、共同検証において同一斜面（地形地質などの条件が同じ斜面）で浸透能調査を実施することの意義は地形や地質など、植生（手入れを含む）以外の要因の影響を取り除き、森林の樹種や林齢、手入れ等の影響を評価するためのものです。

また、国は「わが国の森林土壌は浸透能が非常に大きいので、針葉樹林であっても広葉樹林であっても通常雨水はすべて浸透し、ホートン型地表流は発生しません。」と述べています。（p20 下から 5 行目）しかしながら球磨川流域において、地表流により表土が流亡したとみられる針葉樹林が随所に確認できます。そのような林地では土壌が流出して樹木の根が露出しています。

国が主張するように「地表流は発生しない」かするか、また地表流を含めた表層流の大小が樹種、林齢、手入れによってあるか、ないかは、球磨川における現地検証で確認されるべきことです。

b. タンクモデルの計算結果について

タンクモデルの解析においても、国の主張は反対側と際立った違いがあります。

①実績流量／計算流量の経年変化がまったく逆の結果となっている

②モデルの係数は少し変えることで任意の流出形態をつくりだすことが可能

国は、森林保水力の経年変化において、タンクモデルの係数を変えれば、正反対の結論になると述べています。この点については、討論会で水源連の嶋津氏が指摘したように、国は、かなりいびつな流出波形でも、「フィット（適合）した」としており、タンクモデルの係数はどうにでも設定できると述べています。果たして、どうにでも設定できるのでしょうか。ピーク流量のみならず、中間流、基底流など一連の、そして比較的長期間のハイドログラフに適合できるタンクモデルの係数はどうにでも設定できるものではありません。

内容について具体的で詳細な突き合せをしながら論議を進める必要があります。

森林の保水力と洪水緩和機能の関係を解き明かす手法として、タンクモデルは最も有力な流出解析法です。国はダム反対側の検討に対して乱暴に泥を塗るのではなく、謙虚な姿勢で検証していただきたいと考えます。

またタンクモデルに関する議論は、お互いに同一の情報を共有することでしか保証されません。今まで双方に同じ情報を共有しお互いの計算結果を出し合って議論したことは一度も有りません。今回の共同検証に際し、タンクモデルの計算結果について納得のいく議論がなされることを提案するものです。

ダム反対側の検討は、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低減を森林の保水力による洪水緩和の能力と考えます。

従って、タンクモデルの計算結果の照合は不可欠です。

c. 日本学術会議の答申について

国は、「森林は中小洪水においては洪水緩和機能を発揮するが、大洪水においては顕著な効果は期待できない。」という日本学術会議の答申を引用した以上、その根拠となるデータについて説明する責任があります。にもかかわらず、前回の回答では「この答申の根拠データ等については日本学術会議に問い合わせさせていただくよう、お願い申し上げます。」として、責任を回避しました。その上、回答内容としては、虫明論文の記述と「土壌への浸透及び蒸発散量」図を再び繰り返しています。

また「土地被覆条件別の最終浸透能」表を持ち出し、林地平均の浸透能は大きいので、「森林土壌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ない」と述べていますが（p29 上から 8 行目）、答申との関連が明確ではありません。

d. 「土壌への浸透及び蒸発散量」図について

この図が、国が根拠としている唯一のデータと言えます。

繰り返しになりますが、この図について以下の点を明らかにしなければなりません。

- ①各洪水の算定データを公表すること（とりわけ総雨量 200mm 以上の洪水）
- ②ここで定義されている量とピーク低減の関係
- ③ここで示されている浸透能は斜面の一部に散水して得た値である。これと実際の降雨時（斜面全体への散水）における斜面土壌の浸透能との関係

2. 専門家会議での論点について

現地での共同検証に先立ち、森林の保水力について双方の主張を確認し、論点を整理する必要があります。その項目については以下のとおりであり、内容は上述しました。

- a. 森林の保水力と洪水緩和機能について
- b. タンクモデルの計算結果について
- c. 日本学術会議の答申について
- d. 「土壌の浸透及び蒸発散量」図について

3. 現地検証に関する具体的な提案について

森林の保水力に関する国とダム反対側の主張のくい違いを、現地での検証によって確認するために、以下のような調査を提案します。

a. 森林の踏査

球磨川流域森林に立ち入り、自然林と伐採跡地、放置壮齢人工林及び強間伐人工林の林相および土壌表層を確認する。

b. 森林の保水力を現地で実測する

同一斜面に位置する自然林と伐採跡地、放置人工林と自然林、および放置人工林と強間伐した人工林（針広混交林）で浸透能を測定する。

また土壌サンプルを採取し、土壌構造（孔隙率、三相構造）、P F 値及び最大容水量などを測定する。

c. 地表流が発生するかどうかを観察する

浸透能が低下した伐採跡地、浸透能が大きく改善されていない放置人工林、強間伐後の針広混交林において、豪雨時に尾根部を除く斜面で地表流が発生するかどうか、どの程度の降雨強度で地表流が発生するかを観察する。

①いくつかの視察斜面で自動撮影のビデオカメラを設置することにより地表流の有無を記録する。

②斜面全体に散水することができる装置を設置し、実際の洪水時の降雨や80年に一度の雨を降らせて、斜面上の雨水の動態（地表流の有無）や表土の流亡の有無について実験し観察する。

おわりに

討論会の進め方については、前回の文書による質問（積み残しの専門家質問）および一般県民からの質問の取り扱いをどうするのか、また、初回討論会から提起されているにもかかわらず未だ論議されていないテーマ、すなわち費用対効果と代替案の比較検討及び河道の流下能力という論点をどのように今後取り上げるかが問題です。

とは言え、森林の保水力に関する共同検証は討論会を県民に、より分かりやすいものとするためにも必要なことであり、以上のとおり具体的な提案をするものです。

(別紙2)

森林の洪水緩和機能の調査について

国土交通省九州地方整備局

1. 調査目的

川辺川流域における森林の洪水緩和機能については、国土交通省側とダム反対側との間でその評価が大きく異なっているが、これは川辺川流域における森林土壌の降雨の浸透機能についての評価に起因している。

このため、本調査においては森林土壌の降雨の浸透機能に主眼をおいた調査を実施するものとする。

2. 調査概要

調査の概要は以下のとおりとするが、詳細については今後の事前協議等により決定していくものとする。

(1) 文献調査

文献（熊本県林班図等）により、川辺川流域における森林の現況（天然林と人工林の区分、樹種の区分等）について調査を行う。（平成16年4月～5月）

(2) 現地踏査

文献調査を基に川辺川上流域での代表的な森林を複数選定した上で、当該箇所における森林及び森林土壌の状況について、現地踏査により調査を実施する。（平成16年5月～7月）

(3) 現地実験

治水計画が対象とする規模の降雨の浸透状況を確認するため、現地踏査を踏まえた複数の代表箇所において散水試験を行う。（写真参照）

（平成16年7月～9月）

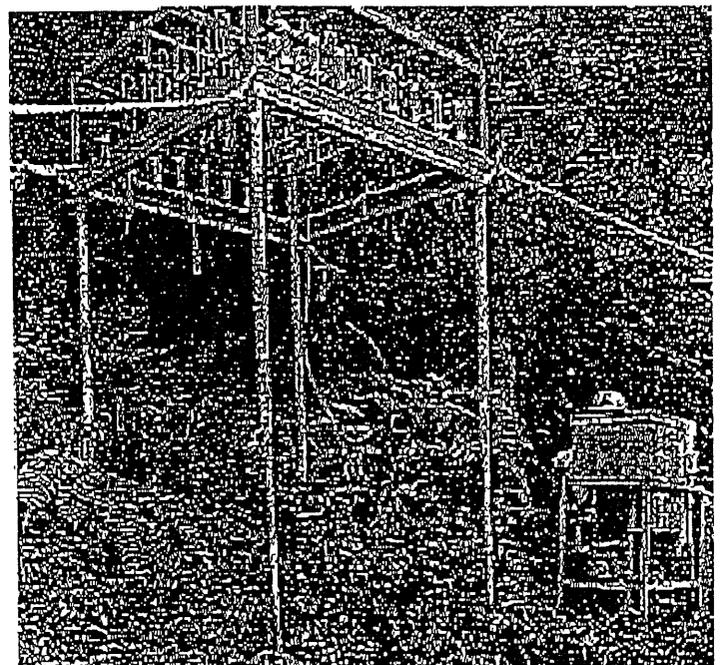


写真 散水試験の例

森林の保水力の共同検証に関する協議（7月1日）合意事項

日 時：平成16年7月1日（木） 午前11時から午後6時50分まで
 場 所：熊本県庁 行政棟新館2階 AV会議室

協議事項	合意事項
1 共同検証について	
(1) 散水試験について	○継続協議とする。
(2) 地表流観察について	○地表流の観察方法については、双方の提案する方法を併用する形で実施する。 ○側方流は、別途、専門家会議等において協議する。今回は地表流を対象とする。 ○反⑤の2林分、反⑫の3林分を候補地とするとともに、国①もしくは②を候補地とする。なお、反⑤の予備候補地に反④をあてる。 ○ダム反対側は、観察機器等の仕様（性能、規格等）及び実施細目を提出し、それを受けて、国土交通省は、その設置案を作成し、県立ち会いのもと、事務レベルで協議を行い、8月中を目標に設置計画を策定する。 ○国土交通省は、観察設備・器具等を9月上旬を目標に設置し、台風時期まで観測を行い、今年、地表流について十分な観測結果が得られなかった場合は、来年も観測を継続する。
(3) 土壌サンプルの測定について	○継続協議とする。
(4) 土壌浸透能調査について	○継続協議とする。
2 流域における実際の降雨量と水位の観測等について	（県からの提案・要請事項） ①国土交通省は、既設の観測箇所ごとの必要性について、県に7月中に文書により提出する。 ②ダム反対側は、国交省と同じ観測データを共有し、本年の秋を目途に川辺川流域の保水能力に関する「土壌への浸透及び蒸発散量図」を作成し、解析した上で、その結果を双方検証する。
3 その他	○次回協議は、8月中の開催に向けて日程調整を行う。

地表流観察機器等の設置案にかかる協議 合意事項

日 時：平成16年8月2日（月） 午前10時から午後2時30分まで
 会 場：熊本県庁 行政棟新館8階 803会議室

協議事項	合意事項
<p>1 設置案について</p> <p style="text-align: center;">(候補地について)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・国土交通省は、観察用ビデオカメラ6台（3台ずつ2列）の設置について、持ち帰り検討し、8月6日（金）正午までに県に回答する。 ・国土交通省が観察用ビデオカメラ6台の設置について了解した場合、カメラの設置箇所及び防水板については次のとおりとする。 <ul style="list-style-type: none"> ①設置区域の上辺及び両側方に防水板を設置する。 ②上辺の防水板は、極力尾根に近い位置に設置する。 ③下部のカメラは、取水樋の直下に設置し、取水樋の上部を撮影する。 ④上部のカメラは、試験区域内に設置し、区域内の斜面上部を撮影する。 ・国土交通省は、観察機器等の設置案（全体の配置図、国の提案した試験に使用する機器等の仕様等）を8月6日（金）正午までに県に提出する。 ・常時観測となった場合、ビデオテープやバッテリーの交換等の機器の管理については、国土交通省から事前に実施日程を示し、ダム反対側による立ち会いができるよう配慮する。 ・国①、国②の地質については、8月4日（水）に双方の専門家を交えて、県立ち会いのもと双方により現地確認を行い、その上で、国の候補地を国①とするか国②とするか決定する。
<p>2 その他</p> <p style="text-align: center;">(次回協議の日程について)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・地表流観察試験の候補地について、現地確認を8月9日（月）午前9時から実施することとする。

地表流観察試験に関する専門家会議 合意事項

日 時：平成16年9月2日（木）午後 2時00分から 4時20分まで
 会 場：人吉市東西コミュニティーセンター（人吉市）

議 事	合意事項
<p>1 地表流観察試験について</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・反⑤（端海野）については、9月6日（月）から地表流観察試験の体勢に入る。 ・現地において収集されたデータの回収及び、複製には反対側も立ち会う。 ・地表流と母岩は直接関係ないことを双方確認した。 ・国①（飯干）、国③（清楽）、反⑤（端海野）について双方はコーディネーターである県に対して典型的な褐色森林土壌であるかどうか（A層B層が形成されているかどうか）について専門家の意見を聞くことを要請する。 ・国②（内谷）は候補地から外す。 ・反⑫（清楽）については地表流観察試験を実施しない。これを受けて、ダム反対側は、今年度中に新たな候補地を探す。来年度の梅雨時期の実施についてはあらためて協議する。
<p>2 その他</p> <p>(1) 次回専門家会議等の日程について</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・双方の候補地に関する協議を行うため、可能な限り早い時期に日程調整を行う。

森林の保水力の共同検証に関する協議 合意事項

日 時：平成17年5月28日（土） 午後1時～午後4時40分

場 所：熊本県庁 行政棟新館 AV 会議室

議 題	合意事項
<p>1 表層流について</p>	<p>○表層流に関わるメカニズムについて、6月3日（金）までに双方文書にて提出する。 双方の文書について、県から森林水文学の専門家に対して意見を聞き、次回専門家会議において、その見解を県からコメントする。</p> <p>○上記を前提として、<u>本年梅雨時期に地表流観察試験を行う。</u></p>
<p>2 その他</p> <p>(1)地表流観察試験について</p> <p>○17年度実施に向けた実験仕様等について</p> <p>(2)次回会議の開催日程について</p>	<p>○ダム反対側は、5月17日に合意した試験方法の改善点を踏まえ、観測機器等の詳細な仕様等について、5月31日（火）までに文書にて提出する。</p> <p>○国土交通省は、落葉枝の詳細な除去方法について、5月31日（火）までに文書にて提出する。</p> <p>○次回の専門家会議等は、協議の進捗状況により、県で調整する。</p>

地 表 流 観 測 試 験

1. 地表流観測箇所的位置
2. 地表流観測箇所の概要
3. 地表流観測機器の配置
4. 地表流観測機器の概要
5. 地表流観測の期間
6. 地表流観測状況の写真

1. 地表流観測箇所的位置



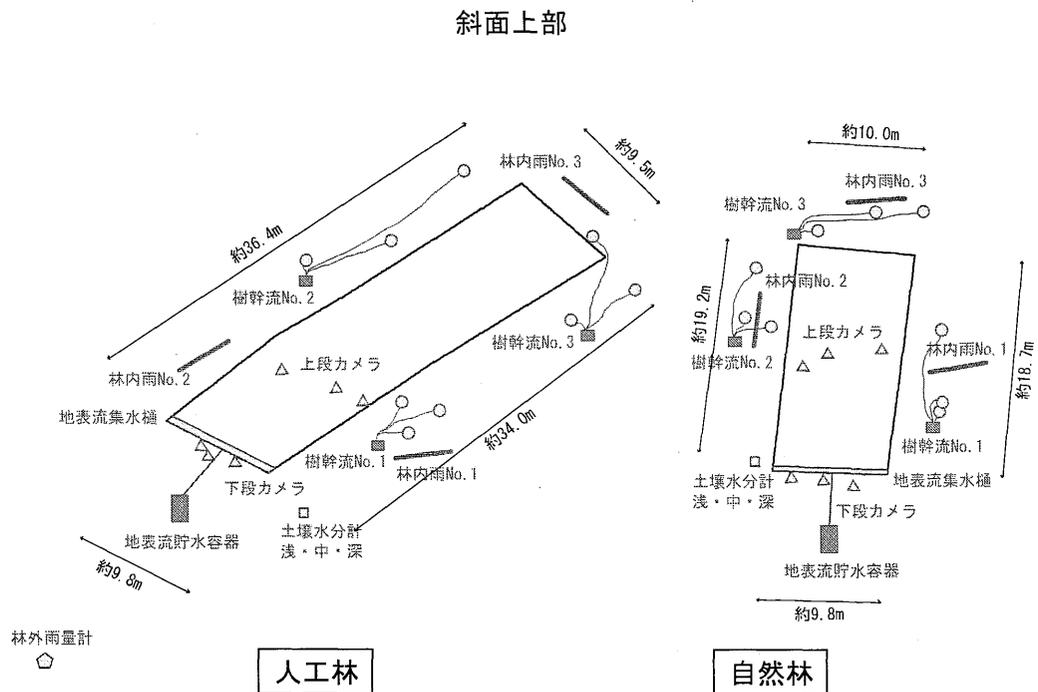
図 地表流観測箇所的位置図

2. 地表流観測箇所の概要

表 観測箇所概要

項目	端海野		清楽	
	人工林	自然林	幼齢林	
林種	人工林	自然林	幼齢林	
樹種	ヒノキ・アカマツ (一部は広葉樹)	広葉樹	ヒノキ	
林齢	38年	推定25年	2年	
土壌	褐色森林土	褐色森林土	褐色森林土	
地質	礫岩・砂岩・泥岩・(チャート)	礫岩・砂岩・泥岩・(チャート)		
平均勾配 (試験範囲)	約30°	約35°	約33°	
試験範囲の面積 (斜面の鉛直方向 投影面積)	315.5 m ²	187.1 m ²	109.9 m ²	
観測年度	H16	○	○	—
	H17	○	○	○

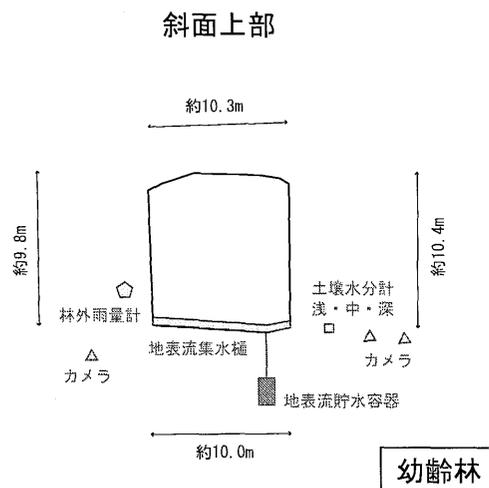
3. 地表流観測機器の配置



※延長は斜面の鉛直方向投影距離

斜面下部

図 端海野地区の概略図



※延長は斜面の鉛直方向投影距離

斜面下部

図 清楽地区の概略図

4. 地表流観測機器の概要

(1) 地表流量計

斜面の水平方向に設置した集水樋で地表流を補足し、雨量計と貯水容器を組み合わせた流量計で流量測定を行なった。

① 集水樋

集水樋は、斜面の水平方向約 10m にわたって塩ビ製半丸樋を継ぎ合わせて設置しており、中央付近に塩ビ製丸樋を接続し流量計へ導水する構造としている。地表面と集水樋の間には受け板を設置し、地表流を樋の中に補足する仕組みとしている。

受け板は、幅 15cm 程度のトタン板を地表面の凹凸・礫の有無など現地状況に応じ調整して並べた。トタン板の土壌への差し込みは 1cm 程度である。トタン板と集水樋までの長さの調整と板の重ね合わせ部分からの漏水防止を目的として、1 枚目の受け板の下には 2 枚目の受け板（ポリカーボネート板）を敷設している。

なお、雨滴が集水樋に直接混入しないよう、受け板と集水樋全体をポリカーボネートの屋根で覆っている（屋根の形状は H16 年度と H17 年度で異なる）。

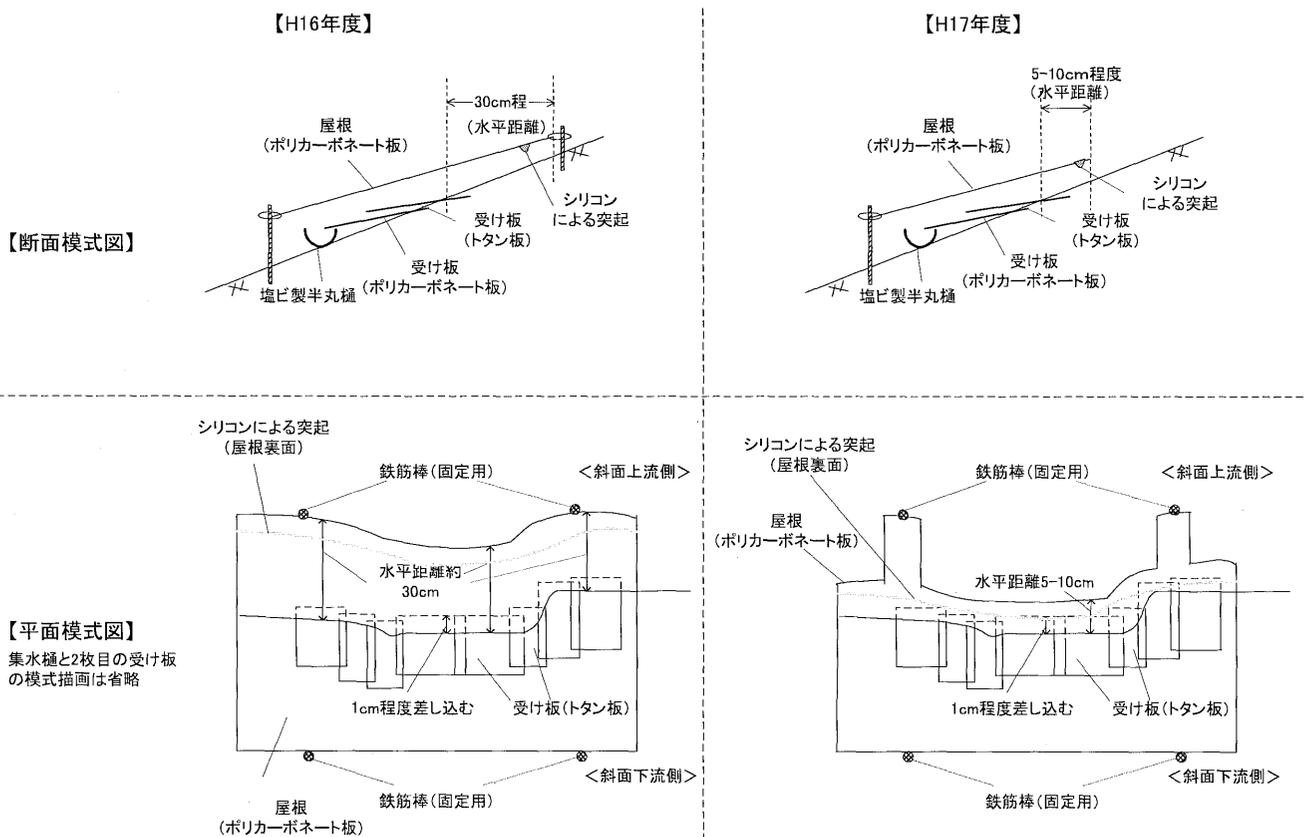


図 集水樋の設置模式図 (左 : H16 年度、右 : H17 年度)

②流量計

小流量から大流量まで幅広く計測可能なように、転倒ます雨量計による計測流量と貯水容器の水位換算流量を組み合わせた流量計を用いた。各機器の測定精度を考慮し、転倒ます雨量計の測定範囲内においては転倒ます雨量計の値を、超過する範囲では貯水容器の水位換算流量を採用。

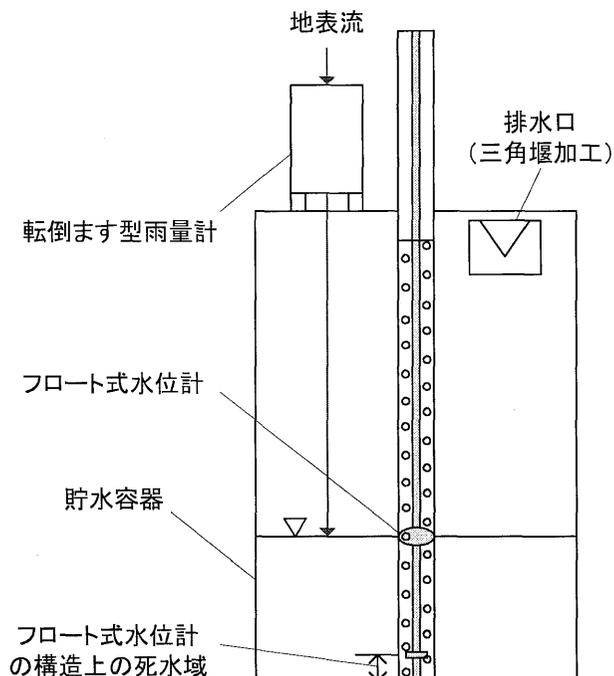


図 地表流量計の模式図

表 地表流量計の仕様（転倒ます雨量計による計測流量）

計測機器	転倒ます雨量計
転倒ます容量	15.7m ³
直径	20cm
測定感度	降雨強度 0.5mm → 流量換算後 15.7m ³
測定範囲	降雨強度 150mm/h → 流量換算後 4.71 ³ /h
測定精度	降雨強度 20mm/h まで：±0.5mm 降雨強度 20mm/h 超過：3%以内 →流量換算後 流量 0.62 ³ /h まで：±15.7m ³ 流量 0.62 ³ /h 超過：±3%

表 地表流量計の仕様（貯水容器の水位換算流量）

計測機器	フロート式水位計
測定感度	水位 0.2mm → 流量換算後 0.0597 ³
測定範囲	約 170 ³ （貯水容器の構造上の上限値）
測定精度	水位 1mm → 流量換算後 0.2985 ³

(2) 地表流流入防止板

集水範囲内外での地表流の流入・流出を防止することを目的に、集水範囲外周に沿ってポリカーボネート板を10cm程度埋設設置した。

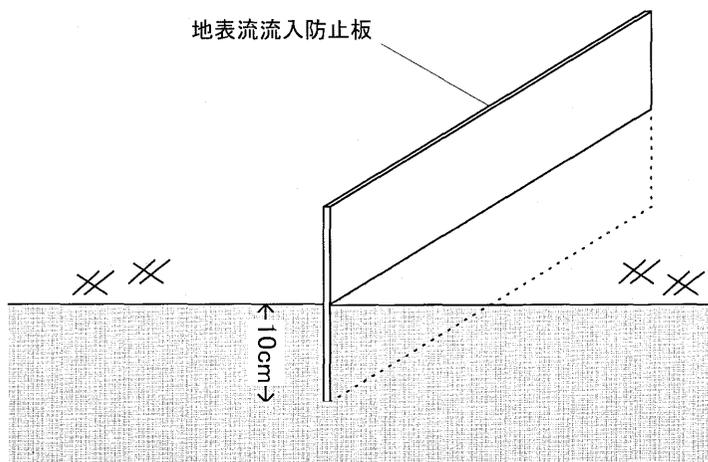


図 地表流流入防止板の設置模式図

(3) 林外雨量計

転倒まず雨量計を用いて観測箇所の雨量を測定した。観測箇所近傍で周囲に降水状態を乱す樹木等がない場所に転倒まず雨量計を設置した。

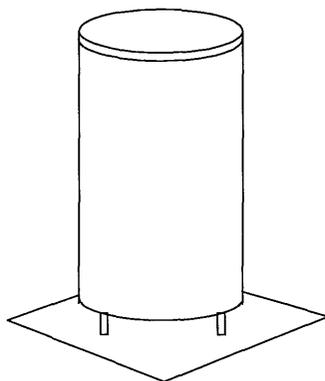


図 林外雨量計の模式図

表 林外雨量計の仕様

計測機器	転倒まず雨量計
転倒まず容量	15.7mℓ
直径	20cm
測定感度	0.5mm
測定範囲	150mm/h
測定精度	降雨強度 20mm/h まで : ±0.5mm 降雨強度 20mm/h 超過 : 3%以内

(4) 林内雨量計

林内雨量計は、樋型の受水部と転倒ます量水計から構成される。受水部には幅0.1m・長さ5mの塩ビ製樋を使用している。なお、清楽地点は幼齢林であるため計測を実施していない。

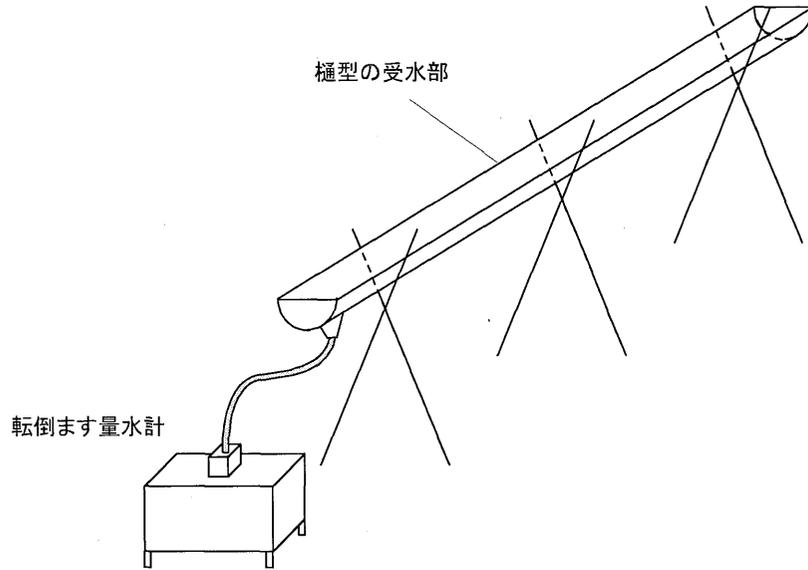


図 地表流量計の模式図

表 林内雨量計の仕様

受水部の材料	塩ビ製樋 (0.1m×5m)
計測機器	転倒ます量水計
転倒ます容量	200mℓ
測定感度	約0.4mm*
測定範囲	約240mm/h*
測定精度	±3%

* 受水部の設置勾配によって若干値が異なる

(5) 樹幹流量計

樹幹流量計は、チューブ状の受水部と転倒まず量水計から構成される。計測対象とする樹木を各地点につき3本選定し、ホースで1箇所を導水した後に量水計で樹幹流量の測定を行なう。なお、清楽地点は幼齢林であるため計測を実施していない。

表 樹幹流量計測定の対象樹種

	地点	樹種	樹高 (m)	直径 (cm)	樹冠投影面積 (m ²)
人工林	NO. 1	ヒノキ	15.0	16.0	6.2
			15.0	10.0	2.2
			17.0	21.0	6.5
	NO. 2	アカマツ	18.0	35.5	20.8
			20.0	29.0	7.9
			20.0	25.0	4.6
	NO. 3	広葉樹	11.0	10.5	9.2
			14.0	14.0	7.4
			15.0	22.0	20.1
自然林	NO. 1	広葉樹	15.0	28.0	25.0
			13.0	12.0	12.8
			12.0	14.0	16.7
	NO. 2	広葉樹	11.0	13.0	6.0
			13.0	25.5	15.1
			10.0	9.0	5.7
	NO. 3	広葉樹	12.0	17.0	7.7
			10.0	10.0	9.7
			12.0	12.0	7.4

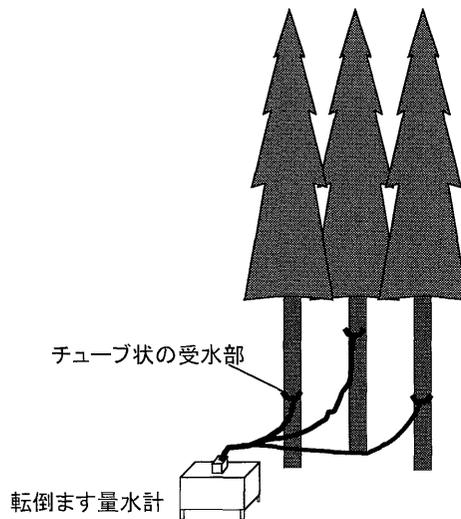


図 樹幹流量計の模式図

表 樹幹流量計の仕様

受水部の材料	H16年度：シリコンチューブ（内φ18mm・外φ24mm） H17年度：排水用ホース（内φ30mm・外φ34mm）
計測機器	転倒ます量水計
転倒ます容量	50mℓ
測定感度	50mℓ
測定範囲	30ℓ/h 以内*
測定精度	±3%

* 30ℓ/h 以上の範囲は、別途メーカー算出の補正式を適用している

(6) 土壌水分計

土壌水分計を、各林分につき1箇所3深度に埋設した（埋設深度は林分・年度によって異なる）。なお、現地でサンプリングした土壌試料を用いて、キャリブレーション試験を実施している。

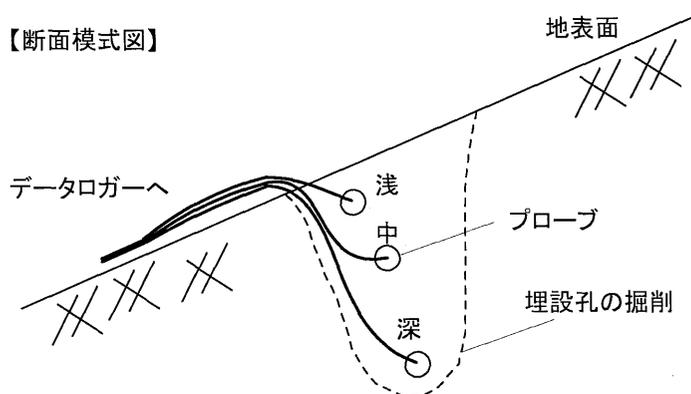


図 土壌水分計の設置模式図

表 土壌水分計の仕様

計測機器	ADR 土壌水分計
測定範囲	0~1.0m ³ /m ³
測定精度	±2% (0.02 m ³ /m ³)

表 土壌水分計の埋設深度

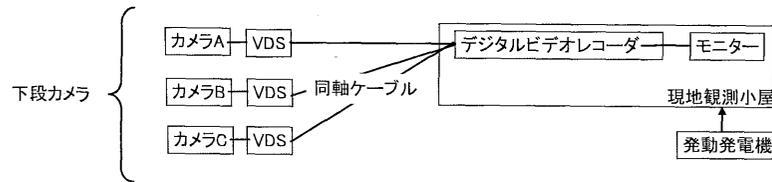
(単位：cm)

観測地点 年度	端海野						清楽		
	人工林			自然林			幼齢林		
	浅	中	深	浅	中	深	浅	中	深
H16年度	20	40	80	20	40	60	-	-	-
H17年度	5-10	40	80	5-10	40	60	5-10	20	40

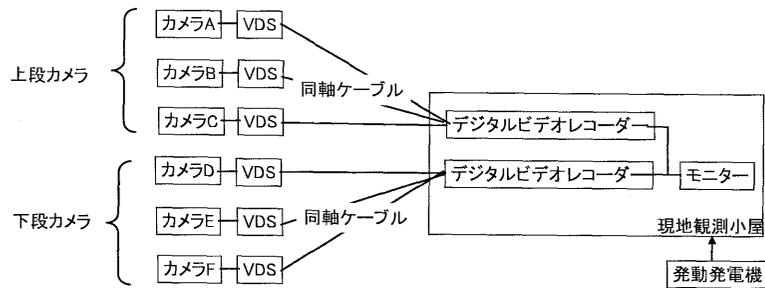
(7) 地表流記録機器

①機器構成

地表流記録機器の構成は、赤外線内蔵カメラ、増幅器、デジタルビデオレコーダー、モニター、発動発電機からなる。



<カメラ3台の地点の構成>



<カメラ6台の地点の構成>

図 カメラ及びビデオの接続図

②赤外線内蔵カメラ

カメラは支柱（全長：1.8m、直径：3cm程度、アルミ製）で固定する。その支柱を50cm程度埋設し、さらにバックル装着のワイヤー3本で支柱の固定を補強する。なお、H17年度の観測時にはカメラに底を設置して観測を実施した。

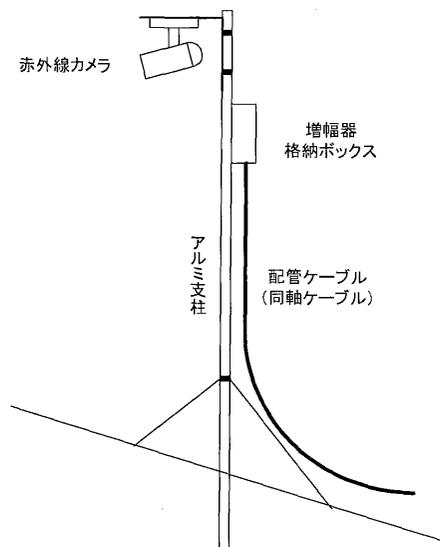


図 カメラの設置模式図

表 赤外線内蔵カメラの仕様

CCD	1/3カラーCCD
有効画素数	約40万画素
水平解像度	470本
信号方式	NTSC方式
レンズ部	F1.2
赤外線部	照射距離15m以上、1m以下は赤外線を自動照射
ビデオ出力	BNCコネクター
電源	DC12V

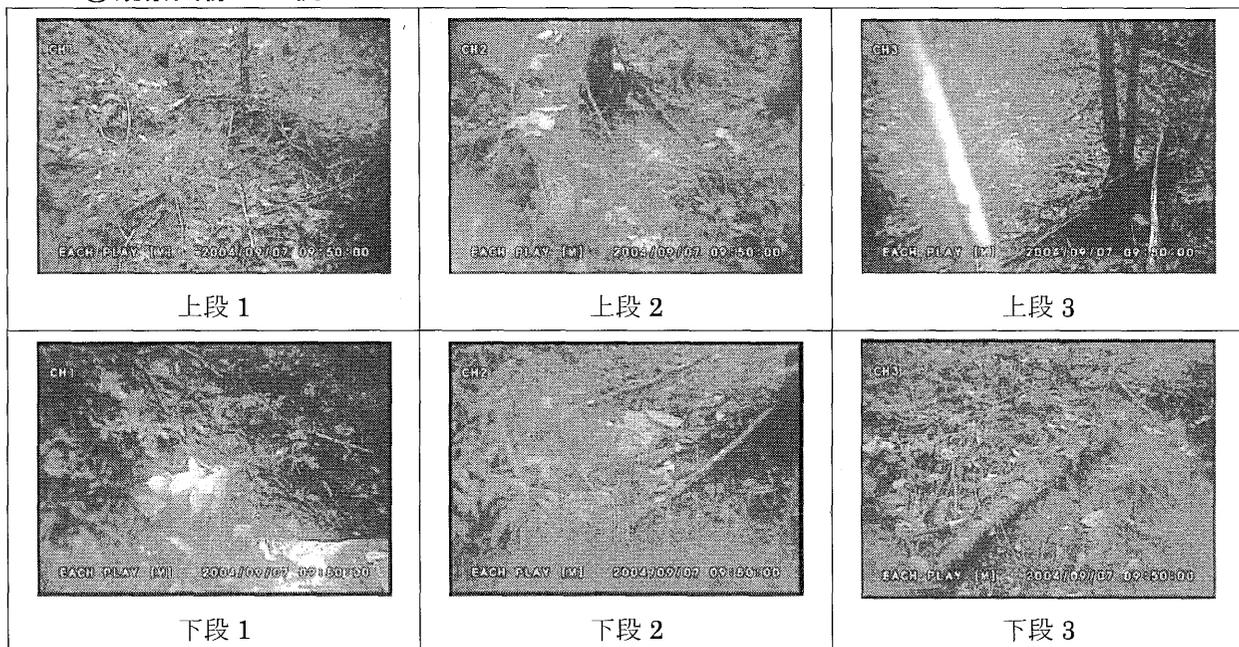
③デジタルビデオレコーダー

デジタルビデオレコーダーは小型観測小屋内に設置する。各デジタルビデオレコーダーには増幅器を経由した赤外線カメラの信号ケーブル3本を接続している。録画画質についてはH16年度はノーマルポジション、H17年度はハイポジションにて実施している。

表 デジタルビデオレコーダーの仕様

映像入力	4ch
録画スピード	1~30 (フレーム/秒)
録画方式	MJPEG
録画画質設定	3段階 (HI/NORMAL/LO)
HDD容量	120GB
映像入力端子	BNCコネクター
電源	AV100V

④観察画像の一例



※平成16年1回目(台風18号)端海野地区自然林の降雨ピーク時の画像(H16.9.7 10:00)

5. 地表流観測の期間

(1) 観測期間

表 観測期間

年度	回数	観測期間	備考
H16 年度	1	H16.9.6 12:00 ~ 9.8 12:00	台風 18 号
	2	H16.9.28 17:00 ~ 9.30 11:00	台風 21 号
	3	H16.10.19 15:10 ~ 10.21 10:00	台風 23 号
H17 年度	1	H17.7.5 0:00 ~ 7.7 10:00	梅雨期
	2	H17.7.8 12:00 ~ 7.11 10:00	梅雨期

6. 地表流観測状況の写真



観測箇所状況 端海野人工林



観測箇所状況 端海野自然林



観測箇所状況 清楽幼齢林



集水樋の設置



集水樋の屋根



地表流量計



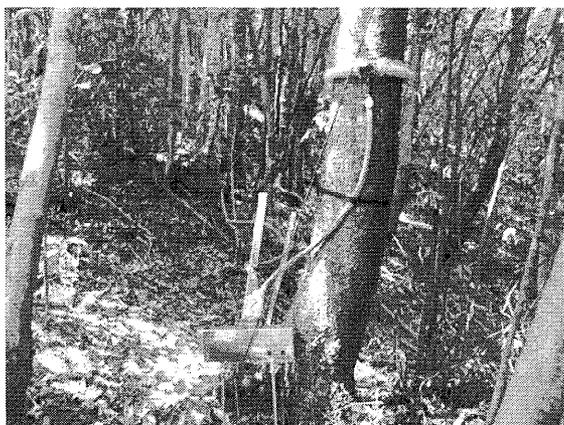
地表流流入防止板



林外雨量計



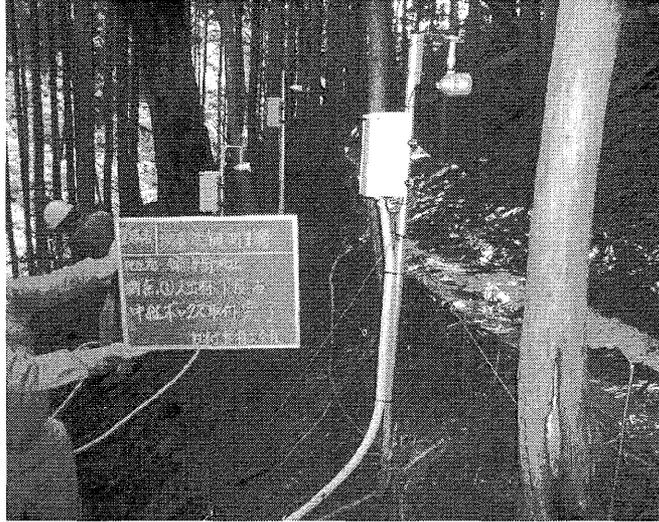
林内雨量計



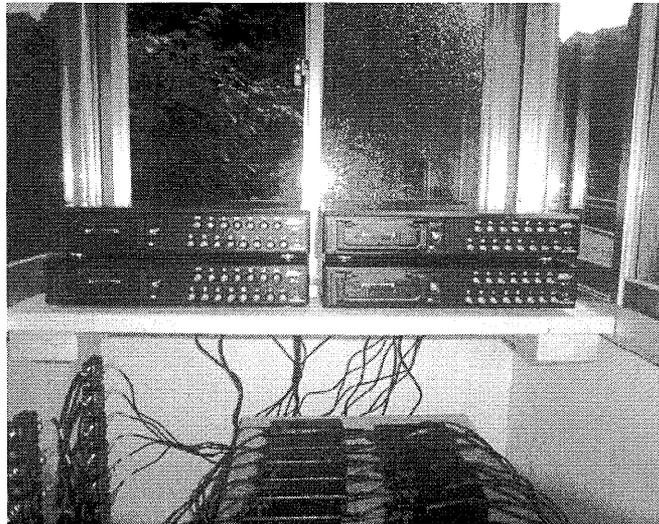
樹幹流量計



土壤水分計の設置



カメラ設置状況



デジタルビデオレコーダー設置状況

平成16年度1回目(台風18号) 人工林データ(10分間隔) 換算データ

時刻	林外雨 (mm)	林内雨 NO.1 (mm)	林内雨 NO.2 (mm)	林内雨 NO.3 (mm)	樹幹流			体積含水率			飽和度			転倒まず流量 (l)	転倒まず累加流量 (l)	貯水タンク流量 (l)	貯水タンク累加流量 (l)
					NO.1 (l)	NO.2 (l)	NO.3 (l)	土壌水分 浅 (20cm)	土壌水分 中 (40cm)	土壌水分 深 (80cm)	土壌水分 浅 (20cm)	土壌水分 中 (40cm)	土壌水分 深 (80cm)				
2004/9/6 12:00						41.5761255	36.7423128	31.8927461	0.64559201	0.660083296	0.67856907						
2004/9/6 12:10	0.0	0.4	0.0	0.4	0.4	41.22	36.87	31.89	0.64	0.66	0.68			0	0		
2004/9/6 12:20	0.5	0.4	0.0	0.4	0.0	40.94	36.81	31.89	0.64	0.66	0.68			0	0		
2004/9/6 12:30	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	40.65	36.74	31.89	0.63	0.66	0.68			0	0		
2004/9/6 12:40	3.0	0.8	0.4	0.4	0.4	40.37	36.61	31.89	0.63	0.66	0.68			0.0157	0.0157		
2004/9/6 12:50	2.5	1.6	1.2	2.5	2.5	40.17	36.55	31.95	0.62	0.66	0.68			0	0.0157		
2004/9/6 13:00	0.5	0.8	0.8	0.4	0.4	40.37	36.42	31.89	0.63	0.66	0.68			0	0.0157		
2004/9/6 13:10	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	40.37	36.36	31.89	0.63	0.65	0.68			0	0.0157		
2004/9/6 13:20	0.5	0.8	0.4	0.4	0.4	40.24	36.49	31.95	0.62	0.66	0.68			0	0.0157		
2004/9/6 13:30	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	40.17	36.42	31.95	0.62	0.66	0.68			0	0.0157		
2004/9/6 13:40	0.0	0.4	0.4	0.4	0.4	40.10	36.42	32.00	0.62	0.66	0.68			0	0.0157		
2004/9/6 13:50	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	39.96	36.30	32.00	0.62	0.65	0.68			0	0.0157		
2004/9/6 14:00	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	39.89	36.23	32.06	0.62	0.65	0.68			0	0.0157		
2004/9/6 14:10	1.0	0.4	0.4	0.4	0.4	39.69	36.11	32.17	0.62	0.65	0.68			0	0.0157		
2004/9/6 14:20	2.5	1.2	0.8	0.8	0.8	39.69	36.05	32.22	0.62	0.65	0.69			0	0.0157		
2004/9/6 14:30	0.5	0.8	0.8	0.4	0.4	39.82	35.98	32.78	0.62	0.65	0.70			0	0.0157		
2004/9/6 14:40	1.5	0.4	0.4	0.8	0.8	39.96	35.98	32.78	0.62	0.65	0.70			0	0.0157		
2004/9/6 14:50	4.0	2.5	2.0	2.5	2.5	40.03	35.98	33.18	0.62	0.65	0.71			0	0.0157		
2004/9/6 15:00	9.0	4.5	4.9	6.3	6.3	41.15	33.64	33.64	0.64	0.65	0.72		2.2608	2.2608	2.2608	2.2608	
2004/9/6 15:10	2.5	3.3	2.9	2.5	2.5	44.72	40.66	33.98	0.69	0.73	0.72		3.6267	5.9032	5.9032	5.9032	
2004/9/6 15:20	0.5	0.4	0.4	0.0	0.0	44.72	40.66	34.40	0.69	0.73	0.72		0.0471	5.9503	5.9503	5.9503	
2004/9/6 15:30	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	42.74	39.47	36.85	0.66	0.70	0.72		0.0157	5.966	5.966	5.966	
2004/9/6 15:40	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	42.23	38.85	36.85	0.66	0.70	0.72		0	5.966	5.966	5.966	
2004/9/6 15:50	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	41.72	38.38	36.85	0.66	0.70	0.72		0	5.966	5.966	5.966	
2004/9/6 16:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.29	37.85	36.47	0.66	0.70	0.72		0	5.966	5.966	5.966	
2004/9/6 16:10	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	40.94	37.52	36.34	0.64	0.64	0.72		0	5.966	5.966	5.966	
2004/9/6 16:20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.65	37.13	36.22	0.63	0.64	0.72		0	5.966	5.966	5.966	
2004/9/6 16:30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.37	36.87	36.03	0.63	0.66	0.72		0	5.966	5.966	5.966	
2004/9/6 16:40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.10	36.61	35.97	0.62	0.66	0.72		0	5.966	5.966	5.966	
2004/9/6 16:50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.96	36.49	35.78	0.62	0.66	0.76		0	5.966	5.966	5.966	
2004/9/6 17:00	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	39.69	36.10	35.72	0.62	0.65	0.76		0	5.966	5.966	5.966	
2004/9/6 17:10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.55	36.11	35.66	0.61	0.65	0.76		0	5.966	5.966	5.966	
2004/9/6 17:20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.28	35.92	35.54	0.61	0.65	0.76		0	5.966	5.966	5.966	
2004/9/6 17:30	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.15	35.73	35.54	0.61	0.64	0.76		0	5.966	5.966	5.966	
2004/9/6 17:40	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	39.08	35.61	35.48	0.61	0.64	0.75		0	5.966	5.966	5.966	
2004/9/6 17:50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.81	35.49	35.42	0.60	0.64	0.75		0	5.966	5.966	5.966	
2004/9/6 18:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.74	35.36	35.23	0.60	0.64	0.75		0	5.966	5.966	5.966	
2004/9/6 18:10	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	38.68	35.24	35.30	0.60	0.63	0.75		0.0157	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 18:20	0.5	0.4	0.4	0.0	0.0	38.48	35.12	35.17	0.60	0.63	0.75		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 18:30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.41	35.00	35.11	0.60	0.63	0.74		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 18:40	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	38.35	34.88	34.75	0.60	0.63	0.74		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 18:50	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	38.22	34.82	34.69	0.59	0.63	0.74		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 19:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.15	34.76	34.63	0.59	0.63	0.74		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 19:10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.15	34.64	34.57	0.59	0.62	0.74		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 19:20	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	38.09	34.58	34.40	0.59	0.62	0.73		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 19:30	1.0	0.4	0.8	1.3	0.75	37.96	34.52	34.34	0.59	0.62	0.73		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 19:40	0.0	0.0	0.4	0.4	0.35	38.02	34.46	34.34	0.59	0.62	0.73		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 19:50	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	38.09	34.46	34.28	0.59	0.62	0.73		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 20:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.22	34.46	34.22	0.59	0.62	0.73		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 20:10	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	38.15	34.40	34.22	0.59	0.62	0.73		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 20:20	1.0	0.4	0.4	0.4	0.25	38.15	34.34	34.16	0.59	0.62	0.73		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 20:30	1.5	0.8	1.3	0.90	0.85	38.22	34.40	34.16	0.59	0.62	0.73		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 20:40	1.0	0.4	0.4	0.4	0.40	38.35	34.40	34.10	0.60	0.62	0.73		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 20:50	0.5	0.4	0.4	0.4	0.35	38.55	34.46	34.10	0.60	0.62	0.73		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 21:00	0.5	0.4	0.0	0.0	0.15	38.68	34.46	34.04	0.60	0.62	0.72		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 21:10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.05	38.74	34.52	34.04	0.60	0.62	0.72		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 21:20	0.0	0.0	0.0	0.4	0.05	38.74	34.52	33.98	0.60	0.62	0.72		0	5.9817	5.9817	5.9817	
2004/9/6 21:30	0.5	0.0	0.0	0.0	0.05	38.74	34.64	33.98	0.60	0.62	0.72		0	5.9817	5.9817	5.9817	

森林の保水力の共同検証等に関する専門家会議 合意事項

日 時：平成17年1月28日（金）午前10時から午後5時まで

場 所：熊本県庁 行政棟新館 2階 AV会議室

議 題	合意事項
1 平成16年12月17日、県から配付した「森林の保水力の共同検証に関する主な主張（概要）」及び「森林の保水力の共同検証に関する双方の考え方」について	<ul style="list-style-type: none"> ・ダム反対側は、左記資料に関する意見を整理し、次回専門家会議開催の2週間前までに県あて文書により提出する。
2 地表流観察試験について	
(1)森林土壌の確認について	<ul style="list-style-type: none"> ○候補地等の森林土壌に関する調査書の内容について、県が選定した専門家の見解として双方確認し、次の4候補地等については典型的な褐色森林土壌である（A層B層が形成されている）ことを確認する。 <ul style="list-style-type: none"> ・「国③（清楽地区）」 ・「反⑤（端海野地区）」 ・「反新A（端海野地区）」 ・「反新D（四浦東地区）」
(2)平成17年度における試験地について	<ul style="list-style-type: none"> ○「国③（清楽地区）」を平成17年度の試験地とする方向で協議を進める。 ○ダム反対側は、平成16年度に試験を実施した「反⑤（端海野地区）」において平成17年度も観測を継続する必要性について、次回専門家会議開催の2週間前までに県あて文書により提出する。
(3)試験方法について	<ul style="list-style-type: none"> ○ダム反対側は、平成16年度の試験の結果を踏まえて、平成17年度の試験方法について、次回専門家会議開催の2週間前までに県あて文書により提案する。
(4)試験結果の評価について	<ul style="list-style-type: none"> ○本日双方から示された試験結果の評価に関する資料・説明内容について、それぞれ相手方に対する意見を整理し、次回専門家会議開催の2週間前までに県あて文書により提出し、次回専門家会議において協議を行う。

議 題	合意事項
(地表流観察の続き)	○双方とも、斜面の下部と中部におけるホートン型地表流の発生程度の違いとその理由について、次回専門家会議開催の2週間前までに県あて文書により提出する。
<p>3 累加損失雨量図について</p> <p>(1)データ提供について</p> <p>(2)基本的な考え方について</p> <p>(3)ダム反対側の解析結果について</p>	<p>○ダム反対側は、平成15年12月2日に国土交通省からデータが提供されたことを確認した。</p> <p>○国土交通省は、累加損失雨量図に関するこれまでの説明について整理し、また、ダム反対側は、解析の考え方、手法等について整理し、双方とも次回専門家会議開催の2週間前までに県あて文書により提出する。</p> <p>○ダム反対側は、解析結果を3月末を目途に県あて文書により提出する。</p>
<p>4 浸透能調査について</p> <p>(1)浸透能調査がピーク流量にどのように影響するかについて</p>	○ダム反対側は、吉野川流域における実証研究に関する報告書を2月4日(金)までに県あて文書により提出し、これを受けて、国土交通省は、それに対する疑問点を整理して次回専門家会議開催の2週間前までに県あて文書により提出し、次回専門家会議で議論する。
<p>5 その他</p> <p>(1)保水力に関する次回専門家会議について</p>	<p>○3月初旬を目途に開催することとし、日程等については、県から関係者に対してあらためて照会する。</p> <p>○ダム反対側は、国土交通省から提出された第9回討論集会に関して「ダム反対側が提出した資料は要求を満たしていない」について、その回答を次回専門家会議開催の2週間前までに県あて文書により提出する。</p>

議 題	合意事項
(2)現況河道流量、萩原堤防等について	<p>○2月14日(月)から18日(金)の間に事前協議を開催し、論点の整理等を行う。日程等については県から関係者に対してあらためて照会する。</p> <p>○事前協議における協議を効率的に進めるため、ダム反対側は、国土交通省に説明を求める項目について、その理由、根拠、出典等を明らかにした上で系統立てて整理し、2月7日(月)までに県あて文書により提出する。</p>

地表流観察試験について

(3) 試験結果の評価について

双斜面の下部と中部におけるホートン型地表流の

発生程度の違いとその理由について

子守の里・五木を育む清流川辺川を守る県民の会
(ほか52住民団体) 代表 中島 康

上記の項目について、下記します。

1. 基本的な考え方

森林斜面への降雨が一様であるとして、また斜面の形状、土壌の土質、層構造が同じで、浸透能や貯水能、側方浸透能など雨水の動態に関する諸性質が同一であると仮定した場合、地表流（ホートン型）の発生程度が斜面の位置によって異なることの理由としては以下の通りです。

- 1) 斜面中部は斜面上部からの、斜面下部は斜面上部と中部からの土壌浸透流や側方流が加わってきます。そのため、一般的には斜面下部の土壌含水率は表層土壌を含めて、斜面中部より高い傾向があります。
- 2) 一方、土壌への雨水浸透は、降雨前（初期浸透能）より降雨開始後は低下します。それは土壌中の貯水量（含水率）が上昇することに起因しています。やがて、全土壌層が雨水で飽和に近づきますと、浸透能はある一定の値に落ち着きます（最終浸透能）。
- 3) 地表面の場合、表層土壌の浸透能より降雨強度が大きい場合、ホートン型地表流が発生するわけですが、表層土壌の含水率は、降水にともなって刻々と変化し、上昇します。ところが、斜面中部より、斜面下部の表層土壌ではその上部の表層土壌の側方流をより多く受け取りますので、中部表層土壌より早く、土壌含水率が上昇するため、その浸透能が低下し、より早く、またより多くの地表流が発生することになります。

2. モデルによる説明

前項（1）で記載したことを、同様なモデルを構成し、実際の降雨を与えて

説明いたします。

1) モデルの基本概念

- ・ 形状、土壌の土質、層構造が同じで、浸透能や貯水能、側方浸透能など雨水の動態に関する諸性質が同一である斜面を5区分とし、斜面上方から、斜面上部、上～中部、中部、中～下部、下部とします。この各区をA₀層（地表面）、A層（表層土壌）、B層（中間層土壌）、C層（地下滞水層）とする（図2）。
- ・ 雨水はその降雨強度がA層の浸透能を上回る場合は、上回る部分は地表流となる。
- ・ A層の浸透能は、その貯水量（含水率）の上昇によって減少し、やがて、A層が飽和に近づいた場合、最終浸透能値に落ち着く。
- ・ A層を鉛直に浸透する雨水は、その浸透強度がB層の浸透能を上回る場合は、上回る部分は、一部はA層の貯留水となり、一部は斜面下方へのA層側方流となる。
- ・ B層の浸透能は、A層と同様に、その貯水量（含水率）の上昇によって減少し、やがて、B層が飽和に近づいた場合、最終浸透能値に落ち着く。
- ・ B層を鉛直に浸透する雨水は、A層の場合と同様である。
- ・ C層は下層への浸透はなく、貯水されない雨水は下方への側方流となる。
- ・ 各層の貯留水はその量に比例して、下層への浸透水となる。

2) モデル計算結果

- ・ 上記のモデルに、平成16年8月29日～30日にかけての台風16号の降水データを入れて計算した結果を図3に示します。
- ・ この図が示すように、明らかに地表流量は集水斜面面積単位で評価した場合においても、斜面中部より斜面下部で大きくなっていることが裏付けされています。

平成17年3月3日
国土交通省九州地方整備局

斜面下部と中部におけるホートン型地表流の発生の程度の違いとその理由

地表流は2種類あります。そのうち、降雨強度が地表流の浸透能を上回った場合に発生する地表流が「ホートン型地表流」です。また、表土層が地下水で飽和することにより発生する地表流が「飽和地表流」です。

我が国の森林土壌は浸透能が非常に大きいので、針葉樹林であっても広葉樹林であっても、通常、雨水は土壌に浸透し、ホートン型地表流は発生しません。このようなことから、斜面下部でも中部でも、通常、ホートン型地表流は発生しないので、発生の程度に違いはありません。

なお、治水計画で対象とするような大洪水の時には、斜面下部などにおいて飽和地表流が発生し、降った雨の殆どが溪流や河川に流れ込む状態となることがあります。これは、森林土壌の中が飽和状態になった部分から、斜面方向への流れ（飽和側方流）が生じて、地表流（飽和地表流）として地上に現れたものであり、ホートン型地表流とは異なります。

森林の保水力の共同検証に関する協議 合意事項

日 時：平成17年5月28日（土） 午後1時～午後4時40分

場 所：熊本県庁 行政棟新館 AV 会議室

議 題	合意事項
<p>1 表層流について</p>	<p>○<u>表層流に関わるメカニズムについて、6月3日（金）までに双方文書にて提出する。</u> <u>双方の文書について、県から森林水文学の専門家に対して意見を聞き、次回専門家会議において、その見解を県からコメントする。</u></p> <p>○上記を前提として、本年梅雨時期に地表流観察試験を行う。</p>
<p>2 その他</p> <p>(1)地表流観察試験について</p> <p style="padding-left: 20px;">○17年度実施に向けた実験仕様等について</p> <p>(2)次回会議の開催日程について</p>	<p>○ダム反対側は、5月17日に合意した試験方法の改善点を踏まえ、観測機器等の詳細な仕様等について、5月31日（火）までに文書にて提出する。</p> <p>○国土交通省は、落葉枝の詳細な除去方法について、5月31日（火）までに文書にて提出する。</p> <p>○次回の専門家会議等は、協議の進捗状況により、県で調整する。</p>

平成17年6月3日

熊本県地域振興部

総括審議員 上野 信一 様

子守唄の里・五木を育む清流川辺川を守る県民の会
(ほか52住民団体) 代表 中島 康

「表層流」の定義とその発生メカニズム

一表層土壌の劣化（浸透機能の低下など）と表層流の増大一

広島大学大学院教授 中根周歩は、川辺川に係わる住民討論集会、専門家会議とは別に、「表層流」という表現をすでに日本林学会、日本生態学会での講演やシンポジウムなど数多くの研究発表会の席上でもたびたび使用して参りました。森林水文学者が一同に会したシンポジウムの講演でも使用いたしました。また、森林水文学者が中根教授の原稿を査読された単行本「緑のダム」（蔵治・保谷野編：築地書館）においても明記しております。

ここでは、改めて「表層流」という名称の説明と「表層流」の発生メカニズム及び河川流量、特にピーク流量に及ぼす影響について、述べさせていただきます。

1. 「表層流」の“定義”と、森林水文学上で一般的な用いられている地表流、中間流、および地下滞水流との関係について

「表層流」については、第3回住民討論集会以来、中根教授は以下のように定義しています。

「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滞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。」

すなわち、表層流とは地表付近を斜面方向に流れる雨水の流れの総称で、これには地表流や地表面に極近い表層土壌、最上層土壌(例えばA層またはA₁層など)の側方流(斜面方向に流れる雨水)が含まれ、地表流と、中間流でも最上層土壌中の流れ(側方流)をあわせたものといえます。それ故に、中根教授が言う「中間流」とは、従来の中間流(「浸透した水は土壌中を透下していき、一部は密度の変移する層に沿って水分ポテンシャルの小さい方への中間流となって移動し、変移層が溪岸で切られているところで溪流に浸出する流出成分」:中野 1976)のうち、浅い中間流(中野 1976)の最上層部分を除いたものに対応します。また、中野(1976)が地下滞水流と定義する「母材層または表層滞水層中を移動し、この層が地表面に接するところで湧出する」ものを、中根教授も「地下滞水流」としています。この「地下滞水流」と「深い中間流」を合わせたものが河川流出過程における「基底流」に対応する(中野 1976)とする場合と、「地下滞水流」のみを「基底流」とする(塚本 1998)場合があります。ただし、これは基底流量の構成についての解釈の差であって、ハイドログラフから具体的に基底流量を求める方法については、両者に相違はないと思われれます。

以上のように、中根教授は斜面を流出する流れには大きく分けて地表流、中間流、地下滞水流があるという従来の考え方(概念)に則っていることには変わりはありません。ただ、これに加えて、地表流と中間流の一部を合わせて、これを改めて「表層流」として括っているということになります。

そもそも連続的な斜面上の雨水の動態を、便宜上、概念的に理解しやすい地表流、中間流、地下滞水流と区分しているわけです。それをどのように括るかは、河川への流出過程の解析の目的や方法、解釈によって異なるのは当然ありうることです。

「地表流」や「地下滞水流」については、議論の余地は少ないのですが、一言で「中間流」といっても、土壌には深さがあります(この深さも、森林土壌によって千差万別です)。その深さごと(層別)の浸透水量や側方流量には大きな差異があることは良く知られています。また、森林土壌の上層部(例えばA層)において浸透水流とともに、側方流(飽和、不飽和側方流、またパイプ流や湧出流)も存在することは従来の知見からも明らかです。例えば、古くは、村井・岩崎(1975)が4つのタイプの森

林で、散水実験によって、地表流(地表流下)とともに中間流の一部を測定しています。その結果、深さ0~15cm(A層)の側方流は、15~30cm(B層の一部)の側方流よりも数倍大きいことを報告しています。地表流については、スギ林ではA層の側方流の6倍ほど大きいですが、アカマツ林では逆にA層側方流が4倍ほど大きく、アカマツコナラ林、広葉樹林では地表流がA層側方流の1.5倍程度にとどまっています。このことは、これらのどの林分でも中間流のなかで、最上層土壌の側方流の占める比率が大きく、河川への流出とそのピーク流量への影響は、その下部の中間流と比べてかなり大きいということになります。このように、村井・岩崎(1975)の調査は、中間流のうち、地表流と接するA層側方流を具体的に測定した一例であり、その流量の相対的な大きさを示唆するとともに、同時に測定した地表流下(地表流)と合わせたものを「表層流」とするならば、「表層流」の測定の実例として、「表層流」の存在の“実証”をしていると言えます。

また、中根教授自身、広島県江田島の山火跡地で、土壌断面を採掘して、ライシメーターを埋設した土壌水の動態調査から、斜面上部の表層土壌深さ10cm(ほぼA層に対応)を通過する浸透水量は、深さ20cm、30cmを通過する浸透水量の数倍となっていることを報告しています。この浸透水量は、測定断面の位置のさらに上部に、上方からの土壌水の浸入を遮断するために板を打ち込んだ場合、数分の1に減少することから、浸透水の大半が測定断面のその上部から流入する側方流によることを指摘しています(谷本ら 1989)。

以上のことは、地表流とともに、中間流でも最上層の側方流が河川流出におけるピーク流量に強く影響することを示唆しています。そのことは、ピーク流量の予測や解析のためには、中間流の最上層部を、特にその他の中間流とは区分して、「表層流」の一部としたことの、野外調査から得た根拠でもあるわけです。

一方、塚本(1998)は以下のように述べています。「雨が森林樹冠上に降ってから流域の末端に流出する過程は、大変複雑で、すべて雨水経路を計測し、追跡できるものではない。したがって、流域流出の形成過程を一般化する場合、その物理的メカニズムを理解したうえで、なお経験則や仮定に頼らざるをえない。これがモデル化の必要性の背景である」。すなわち、現地での追跡調査とともに、モデル解析から流域斜面の雨水動態、河川への流出過程を把握、解析することを合わせて行

うことが不可欠であることを指摘しています。

そこで、タンクモデルによる、河川流出シミュレーションとそれによる流域斜面における雨水の動態予測の試みが行われてきました(菅原 1972; Duan et al.1992,1994; 丹下 1997; 松田・大年 1977; 中根・中根 2004など)。これらの研究例においても、タンクモデルが河川流出をよく説明できることを報告しています。

菅原(1972)が提案した、3つのタンクを直列に連結したタンクモデルからの河川への流出過程を、塚本(1998)は、「各段のタンクが具体的に表面流出(この場合は地表流と同義語)、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となる」と説明しています。すなわち、第一タンクからの流出は地表流と中間流の最上層部の側方流(中根教授が定義する「表層流」)に対応することを示唆しているわけです。しかも、この第一タンクからの河川流出がピーク流量に大きく寄与していることは言うまでもありませんし、それを定量的に示すことも当然可能です(菅原 1972; 中根・嶋津 2002; 中根 2004)。

また、小川(1983a)は、「森林土壌の特性を考慮に入れて地表面、A層、B層、C層に分けて、各層位からの流出成分を表面流出、A層流出、B層流出、C層流出とする流出モデル」を提案しています。ここでいう表面流出とA層流出とを合わせたのが中根教授が定義する「表層流」に、B層流出が「中間流」に、C層流出が「地下滞水流」におおよそ対応することになります。

以上、中根教授が定義する「表層流」は、従来いくつか提案されている、雨水の斜面上の動態の概念に基づきながら、その括りを地表流と土壌最上層側方流(小川(1983)が言う、A層流出など)とを合わせたもので、地表流はもちろん、A層流出など「表層流」を構成する流出はすでに森林水文学において用いられているものです。さらに、現地での調査結果やタンクモデルの解析結果から、このような「表層流」としての括りが、洪水時の河川流出過程におけるピーク流量と密接に関連していることが示唆されているように、意味ある、有効なもの(括り)と考えております。

3. 表層流発生メカニズムについて

表層流の一部である地表流の発生メカニズムと、もう一つの表層流を構成する中間流の最上層部（例えば、A層）側方流の発生メカニズムについては、塚本（1998）が記述するように以下のように説明できます。

「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）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。」

ただし、私どもはA層の鉛直浸透や側方流出（浸透）は、A層における貯水が飽和するのを待たずに、不飽和の状態でも発生すると考えています。

4. 森林の攪乱（伐採等人為的改変）や人工林の放置が、表層流の増大をもたらすメカニズムについて

4-1. 現地調査からの考察

中野（1976）は我国および世界各地の森林理水試験流域における伐採の影響を調べた結果から、「皆伐によりほとんどの降雨による直接流出量は一降雨量、降雨強度の大小にかかわらず増加した。直接流出のピーク流量も同様に増加した。このことは世界の各試験結果に共通で例外がなかった。」と報告しています。

この伐採による河川ピーク流量の上昇のメカニズムについては、伐採前後での表層土壌の調査結果が有効な示唆を与えています。山谷（1965）は、上バ木の調査から、皆伐後経年的に落葉層（A₀層）とA層の厚さが細り、形態も変化し、そして有機物量そのものも減少することを指摘しています。そして、「こうした土壌表層の変化は降水の浸透の難易に直接影響してくる」と塚本（1998）は示唆しています。また、小林（1982）はヒノキ林の伐採前後でA₀層と最上層土壌（A層）の形態や理化学性を調査して、伐採後、斜面全体でA₀層やA層の厚さが薄くなり、同時に有機物量（炭素量）も減少し、その

結果最上層土壌（A層）の粗孔隙量も減少し、透水係数が大きく低下したことを報告しています。さらに、伐採時や搬出時の表層土壌の攪乱（圧密）も粗孔隙量の減少、透水係数の低下に少なからず影響していることも指摘しています。

このように、伐採後、A層などの「最上層土壌の透水係数（浸透能）が低下して、降雨の土壌への浸透、流入に遅滞が生じる」（有光 1987）ことが、地表流やA層側方流、すなわち「表層流」を増大させ、結果的には河川ピーク流量を引き上げることになります。

谷本ら（1989）も山火跡地と残存森林地での浸透能を測定したところ、山火跡地で浸透能が半減していること、そして山火跡地の斜面上部でA層の側方流が増大していることを報告しています。浸透能の低下はA₀層の焼失とそれによるA層の透水係数の低下が原因していると思われるのですが、それが、河川流出量を山火跡地で増大させ（Kusaka et al. 1983）、洪水時のピーク流量を2～3倍上昇させる結果をもたらしたと思われる（鎌田ら1984）。

林分の違い等による、「表層流」の発生量への影響については、前述した村井・岩崎（1975）の散水実験が示唆を富んだ結果を報告しています。スギ林→アカマツ林→アカマツ→コナラ林→広葉樹林と順に表層土壌の透水係数が大きくなるほど、地表流とA層側方流、すなわち「表層流」が、散水量の37→36.2→33.3→23.8%と減少していることです。これは、表層土壌が透水しやすいほど、表層土壌における浸透水量が増え、それだけ表層土壌の側方流が減少したことによると考えられます。

また、有光（1987）は、赤井竜男氏らが実施したヒノキ壮齢林で下層植生を欠く密植林と下層植生をもつ非密植林での散水実験の結果、前者の方が流出土砂量が15～27倍多かったことは、「降雨によって林地の最表層の粗孔隙に富む土壌が失われることであり、浸透能が低下し、表面流出（表層流出；中根注釈）水が増え、土壌中に流入して貯留され、徐々に排出される水の量はそれに伴って減少する」と述べています。同様に、「手入れの悪い一斉人工林も林内が暗くなり、林床植生が消失し、表層土壌の粗孔隙量が著しく低下して、降雨の土壌中への浸透が悪くなる」ことも指摘しています。さら

に、「こうした保育作業をしない人工林が大きな面積を占めるようになると、水保全機能は著しく低下し、洪水ピーク流量が増え、渇水流量は減る」とまで言及しています。林野庁公益的機能研究会（1985）は、以上の人工林の間伐など、手入れが森林の水土保全機能の維持に及ぼす効果を定量的に評価しています。

中根(1989)および遠藤ら（2001）は同一斜面上の放置人工林と隣接した自然林で、浸透能（深さ10cmまでの鉛直浸透能）を測定して、前者が1/2.5にすぎないことを報告しています。また、遠藤ら（2001）と同一の調査地で表層土壌の孔隙率と最大容水量を測定したところ、放置人工林では表層土壌の孔隙率と最大容水量が有意に低下していることも報告されています（金行・中根 2003）。

このことは、表層土壌の浸透能の低下は、同時に表層土壌の貯水能の低下をも伴うことを示唆しています。

しかし、このような放置人工林でも適正に間伐することによって、下層植生が進入し、繁茂するころには、浸透能が大きく回復し、自然林と遜色のないほどとなることも示唆されています（遠藤ら 2004）。このように表層土壌の浸透能や透水係数、または貯水能が樹種や人工林の場合、間伐の有無によって大きく左右されることは、当然「表層流」の大小にも影響していると考えられます。実際に、日浦（2003）は、流域の人工林を適正に間伐することによって、間伐前と比較して、洪水時の河川流出量が大きく減少することを報告しています。すなわち、間伐によって表層土壌の浸透能や貯水能が回復して、「表層流」が大きく減少することを裏付けているとも言えます。

4.2. モデルによる考察

斜面森林土壌の表層の浸透能や貯水能が減衰したり、また回復したりすることが、表層流（地表流とA層側方流）の増大、または減少をもたらすメカニズムについて、モデルでもその概略が説明できるものと思います。

1) 概念的モデルから説明

森林の皆伐や放置人工林での表土の流出によって、表層土壌、例えばA層

(A₁、A₂層)の浸透能(透水係数)や貯水能が低下する。しかし、B層については影響がないとした場合、表層流(地表流とA層全体の側方流)の総量が変わらないとしても、地表流やA層上層(A₁層)の側方流が相対的に増大することによって、すなわち速い側方流が増えるため、表層流の流量分布がより集中し、その結果、表層流のピーク流量は上昇します。

例えば、A層劣化前後で、等しく時間6mm(10分平均1mm)の表層流であっても、A層劣化後、地表流やA層上層(A₁層)流など速い側方流が増大すれば、図1が示すように、表層流のピークが上昇(1.5mm→2mm/10分)することになります。

この場合、森林土壌では上層ほど、鉛直浸透係数や側方浸透係数が大きいということを前提にしています(小川 1983a,b)。

さらに、A層の劣化は、実際、A層の浸透能のみならず、A層の貯水能の減少を伴うわけですから、その貯水能の減少の分だけ、A層側方流が増え、結果的には地表流を含む表層流の総量も増大することになります。

2) 数量モデルからの説明

小川(1983b)は、山腹斜面の三層流出モデルを用いて、広葉樹林とA層が欠落した山地裸地斜面での降雨流出過程を解析しています。この場合、A層の劣化の極端な例として、A層の欠落として捉えることができます。その結果、同一の降雨(降雨強度5~10数mmh⁻¹を20数時間、ピーク降雨40 mmh⁻¹)で、全層からの流出量のピークはA層を保持している広葉樹林の2倍ほどで、そのピークの差異のほとんどが表層流(地表流+A層側方流)のピークの大いに起因していることを報告しています。

また、以下のような、斜面を斜面上部~下部を5区画に区分し、また各区画をA₀、A₁、A₂、B・C層の4層に区分したモデルを考えます(図2)。

a)モデルの基本概念

- ・ 形状、土壌の土質、層構造が同一で、浸透能や貯水能、側方

浸透能など雨水の動態に関する諸性質が同一である斜面を5区分とし、斜面上方から、斜面上部、上～中部、中部、中～下部、下部とします。この各区をA₀層（地表面）、A₁層（A層上部）、A₂層（A層下部）、B・C層（中間土壌層+地下滞水層）とする。すなわち、ここでは、A層を2つに区分し、B層とC層については一つの層として括るとします。

- ・ 雨水はその降雨強度がA₁層の浸透能を上回る場合は、上回る部分は地表流となる。
- ・ A₁層の鉛直浸透能は、その貯水量（含水率）の上昇によって減少し、やがて、A₁層が飽和に近づいた場合、最終鉛直浸透能に落ち着く。
- ・ A₁層を鉛直に浸透する雨水は、その浸透強度がA₂層の浸透能を上回る場合は、上回る部分は、一部はA₁層の貯留水となり（貯水係数）、残りは斜面下方へのA₁層側方浸透流となる（貯留水の不飽和における側方流）。
- ・ A₁層の貯留水が飽和した場合、A₂層の鉛直浸透能を上回る部分はすべてA₁側方流となる。ただし、貯留水の一部は、飽和以前でもA₁層の浸透水として浸出する（浸出係数）。
- ・ A₂層及びB・C層の浸透能は、A₁層と同様に、その貯水量（含水率）の上昇によって減少し、やがて、A₂層及びB・C層が飽和に近づいた場合、それぞれの最終浸透能に落ち着く。
- ・ A₂層を鉛直または側方に浸透する雨水は、A₁層の場合と同様である。
- ・ A₂層及びB・C層の貯水についてもA₁層と同様である。
- ・ B・C層はその下層への浸透はなく、貯水されない雨水は斜面下方への側方浸透流となる。

b) 森林の皆伐や放置人工林の表土の流亡の影響についての仮定

森林の皆伐や放置人工林での表土の流出によって、表層土壌、例え

ば、ここではA₁層とA₂層の浸透能（鉛直透水係数）や飽和貯水量が低下する、しかし、貯水係数、浸出係数は変わらないとします（どのように変化するかという確かな資料がないことによります）。また、B層については影響が及ばないとします。これらを反映したモデルの係数値をA層劣化前後のモデル斜面に与えます（図3）。

c)上記のモデルを用いて、A層が劣化する前後の斜面において、2004年8月29～31日の川辺川流域の雨量観測点で測定された時間降雨を斜面全体に等しく与えて、斜面下部の全層流出及び表層流出（地表流+A₁流+A₂層流）、中間・地下滞水流(B・C層流)を計算した結果を図4に示します。

このモデル計算の結果は、b)の仮定に基づくならば、鉛直浸透能、貯水能（飽和貯水量）、貯水係数、浸出係数などを適当に変化させても傾向はほぼ図4と同じでした。また、A層の貯水係数や浸出係数はA層劣化後、貯水係数は小さく、浸出係数は逆に大きくなると一般的には考えられますが、このように設定しても、A層劣化後、貯水係数と浸出係数を逆に変化させても、図4の結果については大きな差異は見られませんでした。

図4が示す結果は、A層の劣化が斜面下部の全層流出のピークを大きく押し上げること、そしてそれが表層流（地表流+A層流）のピークの上昇に起因していることを示唆しています。また、A層の劣化が、表層流の総量も増大させていることも示唆しています。その理由としては、A層の鉛直浸透能だけでなく、貯水能も低下していること、そしてこれが斜面下部では増幅されることなどが考えられます。実際に、A層劣化後における表層流（または全層流）の累積増加量（32mm）はA層の貯水可能量（飽和貯水量－降雨開始時の貯水量）の減少量（50mm）の2/3を占めています。

さらに、表層流を（地表+A₁層）流と（A₂層）流に区分して、その斜面下部での流出過程を示したのが、図5です。図5が示すように、A層劣化後は

(地表+A₁層)流は増加しているのに対して、(A₂層)流は逆に減少しています。すなわち、表層流量の内訳がより上層流にシフトしていることが判ります。このことは概念モデルで指摘したことを裏付けています。

さらなる正確なメカニズムの解明には、小川(1983a,b)のモデルのような、より詳細な、より現実に対応したモデルの構成が必要と思われます。

それにしても、今回の解析結果(図4)から、一斉拡大造林、また現在の人工林の放置といった事態が流域レベルで起これば、同様な現象が流域レベルで発生し、洪水時の河川流量、特にピーク流量に少なからずの影響をもたらすことが伺えます。

引用した学術著書・論文

有光一登(1987) 森林土壌保水のしくみ。創文社、東京。199pp.

遠藤康裕・永山啓一・中根周歩(2001) 吉野川流域における針葉樹人工林と自然林の土壌浸透能の比較。吉野川流域ビジョン21委員会。102pp. 徳島市。

遠藤康裕・中根周歩(2004) 吉野川流域における針葉樹人工林の施行の違いによる土壌浸透能の比較。吉野川流域ビジョン21委員会。49pp. 徳島市。

Duan Q., Sorooshian S. and Gupta V.K.(1992) Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. Water Resources Research 28(4): 1015-1031.

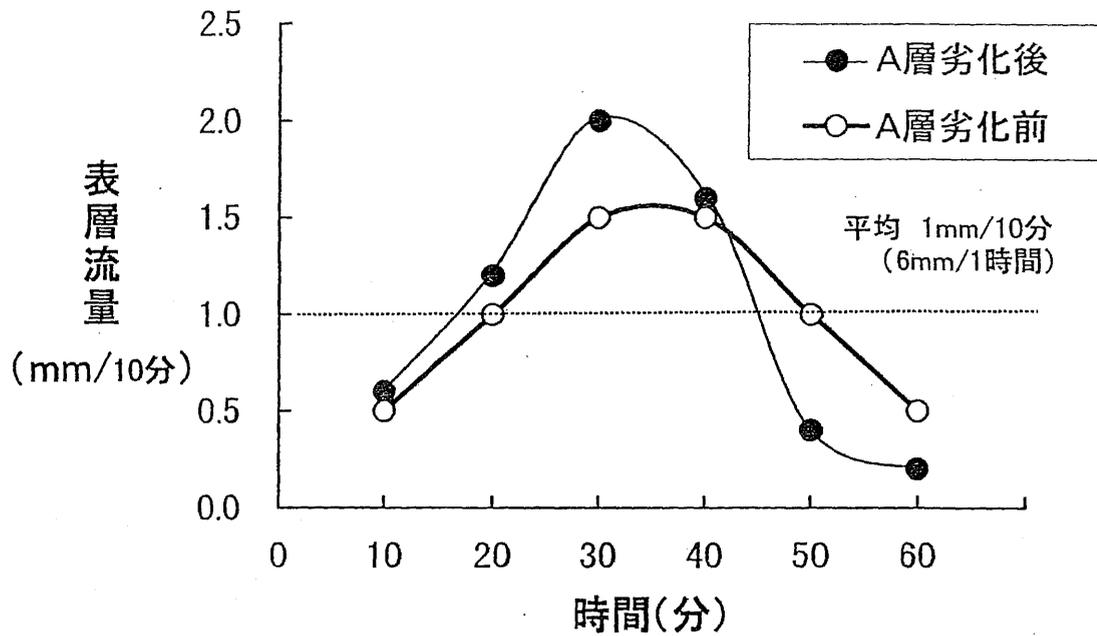
Duan Q., Sorooshian S. and Gupta V.K.(1994) Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models. Journal of Hydrology 158:265-284.

日浦啓全(2003) 梶原町での間伐効果の計測。「破壊から再生へアジアの森から」(依光良三編著), pp.248-254. 日本経済評論社。290pp.

鎌田 靖・三寺光雄・中根周歩(1984) 山火後数年間の水循環シミュレーション。日本生態学会第31回大会講演要旨集 p.64.

- 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壌孔隙率・最大容水量の比較研究. 吉野川流域ビジョン21委員会. 49pp.
- 小林繁男 (1982) 森林の皆伐にともなう土壌の変化. ペドロジスト 26 (2):150-163.
- Kusaka S., Nakane K., Mitsudera M.(1983) Effect of fire on water and major nutrient budgets in forest ecosystems. I. Water balance. Japanese Journal of Ecology 33:323-332.
- 松田誠祐・大年邦雄 (1997) 安定したタンクモデル定数の同定に必要な期間長とデータの精度について. 応用水文 1997(10):6-15.
- 村井 宏・岩崎勇作 (1975) 林地の水および土壌保全機能に関する研究 (第1報) 森林状態の差異が地表流下、浸透および侵食に及ぼす影響. 林業試験場報告 274:23-84.
- 中野秀章 (1976) 森林水文学. 共立出版. 280pp.
- 中根周歩 (1989) 広島県加計町、島根県浜田市の崩壊斜面に隣接する人工林と広葉樹林の土壌浸透能の比較. 日本林学会発表論文集 100:643-644.
- 中根周歩 (2004) 緑のダムの機能をどう評価するか. 「緑のダム」(蔵治光一郎・保谷野初子編著), pp.104-117. 築地書館. 260pp.
- 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. 吉野川流域ビジョン21委員会. 91pp.
- 小川 滋 (1983a) 山地林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 149:51-73.
- 小川 滋 (1983b) 山地林における水土保全機能の定量的評価について (II). 水利科学 150:10-23.
- 谷本 茂・中根周歩・三寺光雄 (1989) 山火跡地の斜面における土壌浸透水の挙動. 広島大学総合科学部紀要IV 14:13-29.

- 丹下英雄 (1997) タンクモデルに基づく山地河川の長期流出特性に関する研究—物部川水系永瀬ダム流域の事例研究—. 高知大学農学研究科修士論文.
- 林野庁公益的機能研究会 (1985) 森林のもつ公益的機能の計量的評価—間伐の保育の不実施の影響. 林業技術 525:13-16.
- 塚本良則 (1998) 森林水文学. 文永堂出版, 東京. 319pp.
- 山谷孝一 (1965) ヒバ林伐採跡地土壌の経年変化について (I). 日本林学会誌47(5):199-204.



(2004/8/29—2004/8/31)

図1. A層劣化前後における表層流(mm/10分)の流出パターンの変化。ただし、両方とも時間当りの流出速度は6mmで変わりはない

(A)

	斜面 下部	斜面 中～下間部	斜面 中部	斜面 上～中間部	斜面 上部
A ₀ 層					
A ₁ 層					
A ₂ 層					
B・C層					

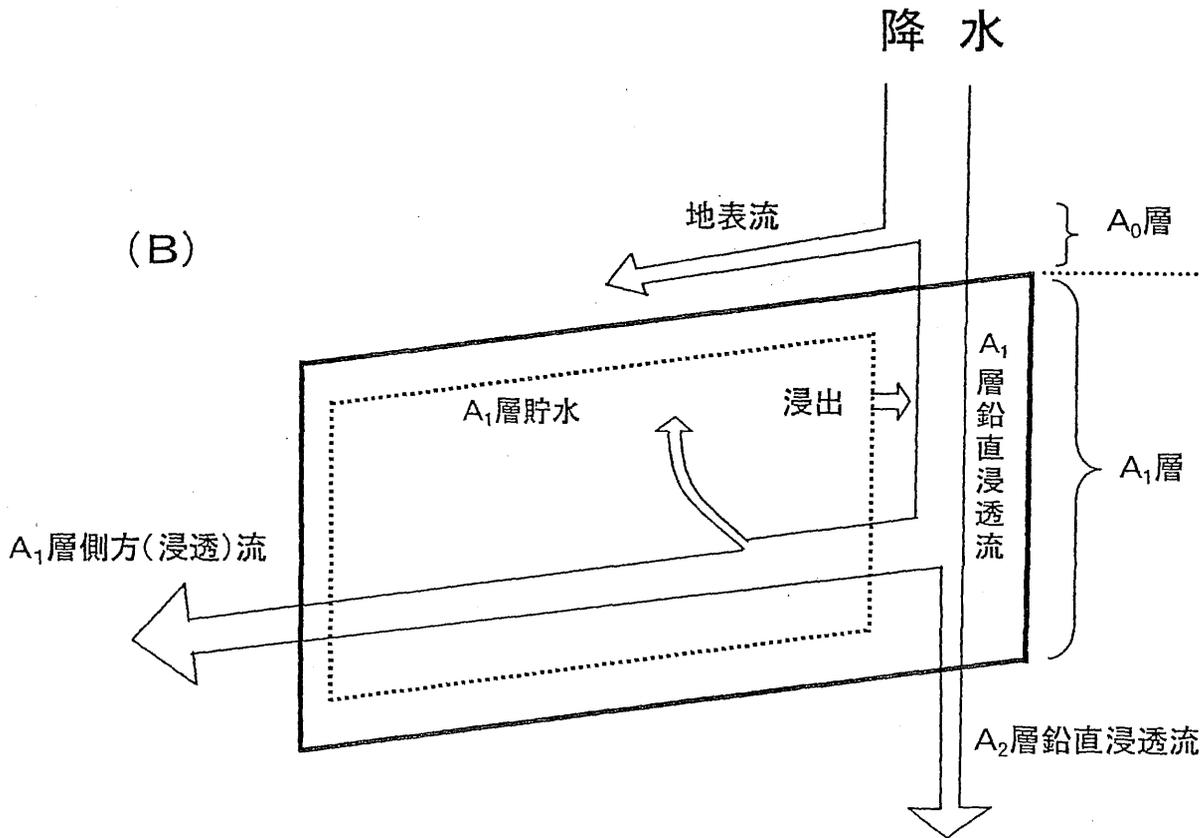


図2. 斜面における雨水の動態モデル

(A) 斜面上の位置(5区分)と土壌の層構造(4層)

(B) 降水の動態の概念

A層劣化前

	初期鉛直浸透能 (mm/hr)	飽和貯水能 (mm)	初期貯水量 (mm)	最終鉛直浸透能 (mm)	貯水係数	浸出係数
A ₀ 層						
A ₁ 層	80	50	10	40	0.7	0.2
A ₂ 層	40	70	20	20	0.8	0.1
B・C層	20	300	70	10	0.9	0.05

A層劣化後

	初期鉛直浸透能 (mm/hr)	飽和貯水能 (mm)	初期貯水量 (mm)	最終鉛直浸透能 (mm)	貯水係数	浸出係数
A ₀ 層						
A ₁ 層	50	20	5	20	0.7	0.2
A ₂ 層	30	40	15	15	0.8	0.1
B・C層	20	300	70	10	0.9	0.05

図3. A層劣化前後の「斜面における雨水の動態モデル」の係数値

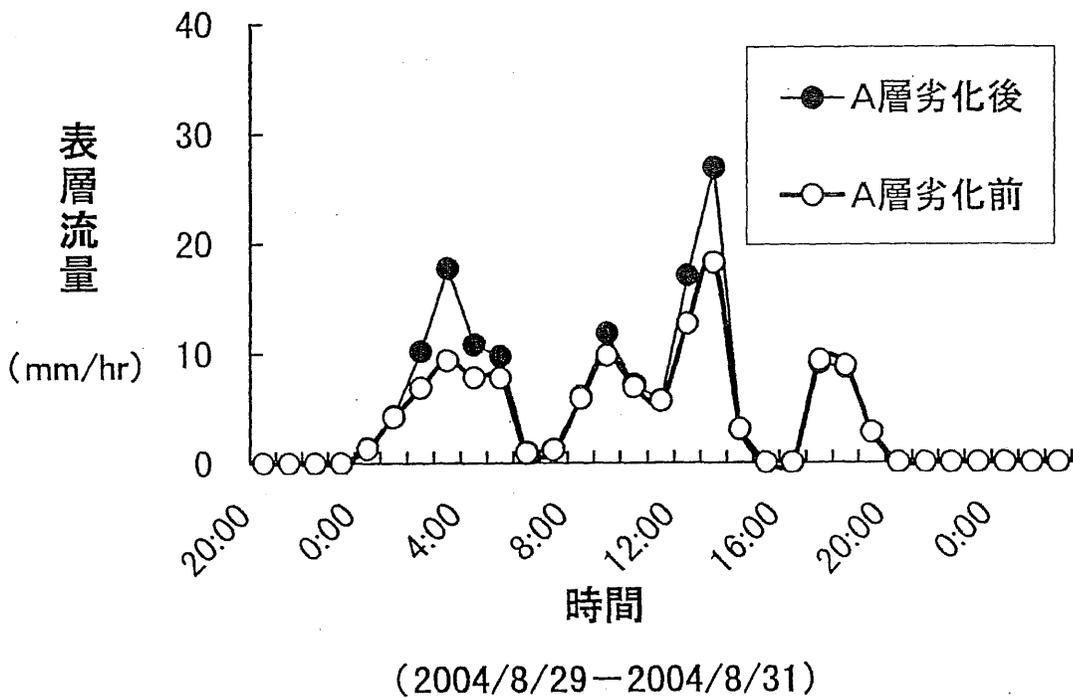
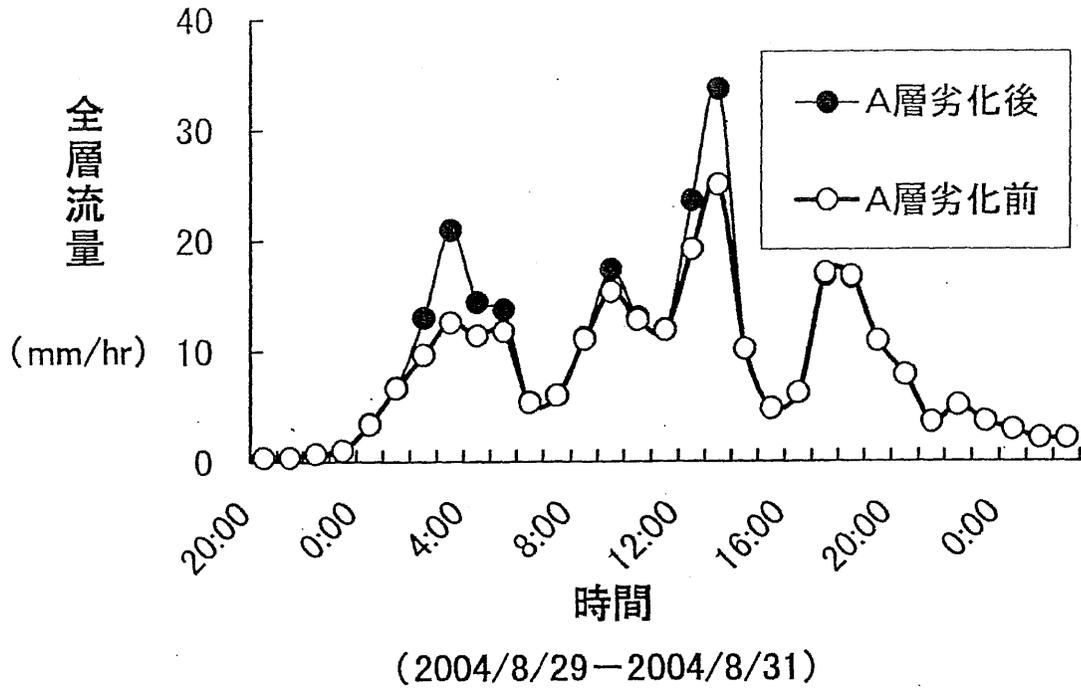


図4. 斜面土壌における雨水動態モデル(図2)を用いて予測した、森林林土壌の表層(A層)の劣化前後における斜面下部の全層流量及び表層流量(地表流+A₁層流+A₂層流)

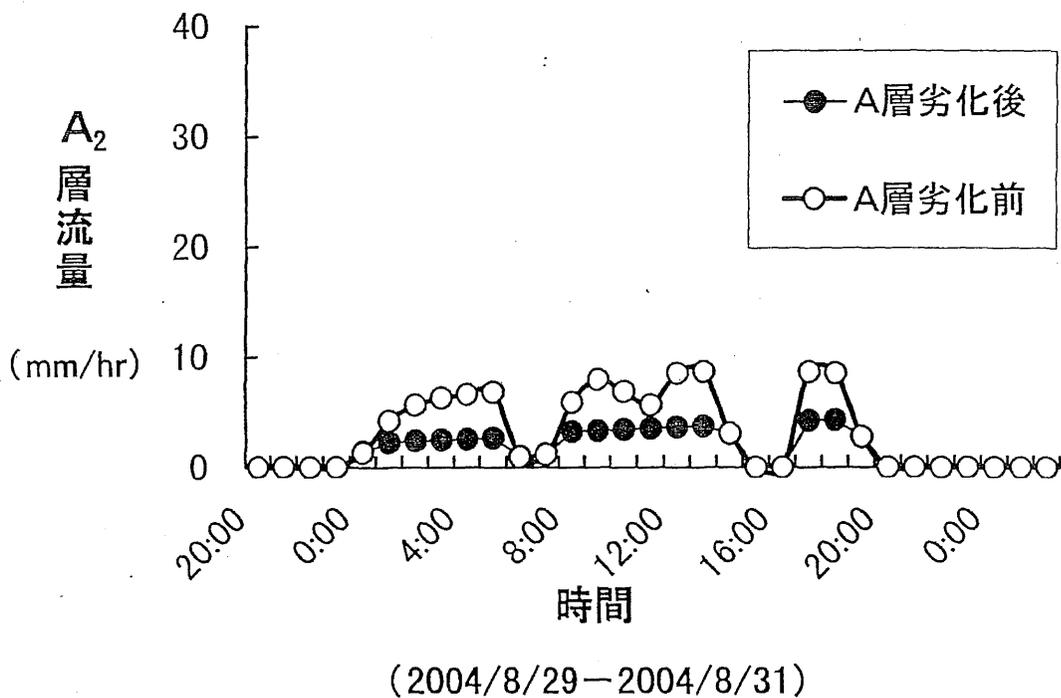
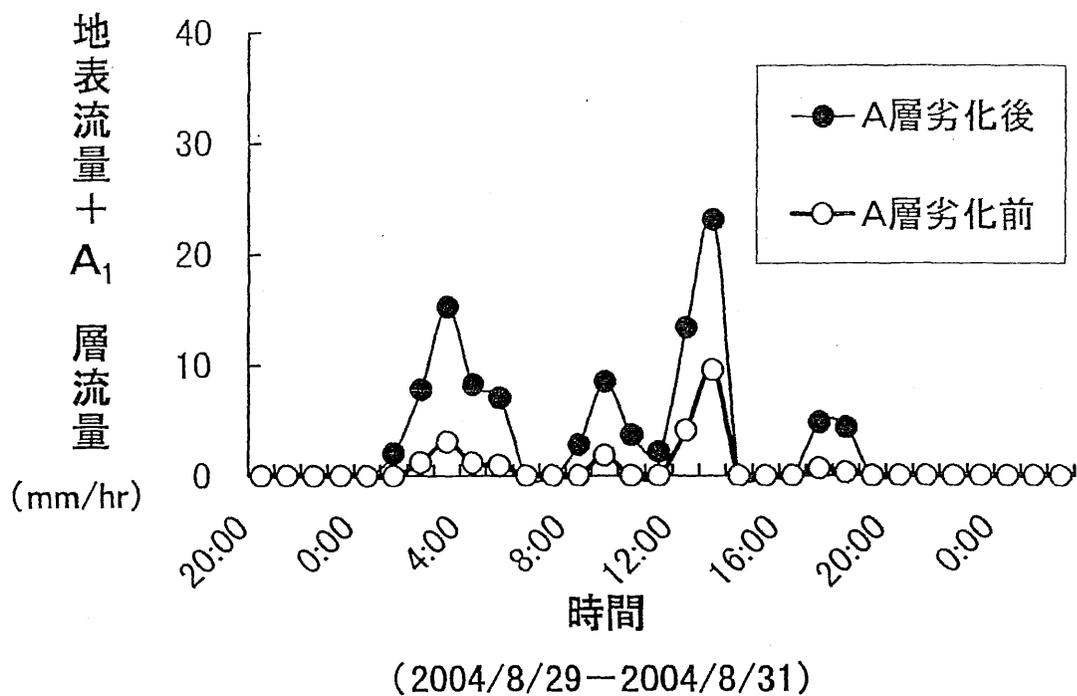


図5. 斜面土壌における雨水動態モデル(図2)を用いて予測した、森林林土壌の表層(A層)の劣化前後における斜面下部の(地表流+A₁層流)量及び(A₂層流)量

平成17年6月13日

熊本県地域振興部

次長 上野 信一 様

国土交通省九州地方整備局

河川部 河川調査官 光成 政和

資料の提出について

平成17年5月28日の「森林の保水力の共同検証等に関する協議 合意事項」に基づき、「表層流に関わるメカニズムについて」を別添のとおり提出します。

中根氏が主張する「A層側方流の増大」について

1. 伐採及び林分の相違による影響について

(1) 伐採による影響について

塚本ら(1992)は、「森林伐採は森林表層土の破壊をあまり起こさない点が、他の土地利用と大きく異なる。このため、森林伐採が直接流出に与える影響は、伐採による蒸発散の変化が、降雨流出の初期条件としての斜面土壤水分分布に影響を与えることにより起こる。一部は表面流の発生によって起こることもある。」と述べており、伐採が直接流出に与える影響は、蒸発散が変化し斜面土壤水分分布に影響を与えることにより起こるとし、一部はホートン型地表流(表面流)の発生によって起こることもあるとしています。

また、「図 132 は皆伐による浸透能の変化が表面流出を発生させるほど大きなものではないことを示しているが、前記の吉野地方の例や表 19 は、伐採時の地表管理の仕方によっては、表面流が発生する危険性のあることを物語っている。皆伐による地中水の流動速度の変化についてはデータは多くないが、大きな影響はないと判断される。」と述べており、皆伐によって、A層側方流などの地中水の流動には大きな影響はないことを指摘しています。

中野(1976)は「皆伐によりほとんどの降雨による直接流出量は一降雨量、降雨強度の大小にかかわらず増加した。直接流出のピーク流量も同様に増加した。このことは各試験結果に共通で例外がなかった。」とし、その原因として「皆伐による直接流出量の増加は、材木の伐倒、搬出作業による地表のかく乱、圧密によって土壤浸透能の減退した水みちを生じ、地表流出が増加すること、遮断と蒸散の減少のため出水時の初期損失が減少することによって起こると考えられる。」と述べており、皆伐による直接流出量の増加の原因として、材木の伐倒、搬出作業による地表のかく乱、圧密による地表流出の増加、及び遮断と蒸散の減少による出水時の初期損失の減少をあげています。これは塚本らの見解と同じです。

なお、有光(1987)は「土壤最表層のごく薄い部分で起こった孔隙組成の変化が、透水性の大きな変化をもたらすのである。最表層部の透水性が悪化すれば、降雨として林地にもたらされた水の、土壤中への浸透、流入に遅滞が生じ、地表流が多くなったり、土壤全体の水貯留、あるいは水の流出特性に当然大きな影響を与えるものと考えられる。」と述べています。これは、地表のかく乱、圧密により地表流出が増加するとの中野の見解を補強するものです。

このように、森林水文学では、伐採に伴い、土壤がかく乱、圧密され、ホートン型地表流(表面流)が発生する場合もあるとされていますが、中根氏の主張のように「A層側方流」が増大するとはされていません。

なお、川辺川流域では森林土壤が保全されており、過去、伐採によって、土壤が

大規模にかく乱、圧密され、洪水のピーク流量を大幅に押し上げるほどに Horton 型地表流が発生していたとは考えられません。

VII. 森林の変化が水循環に与える影響

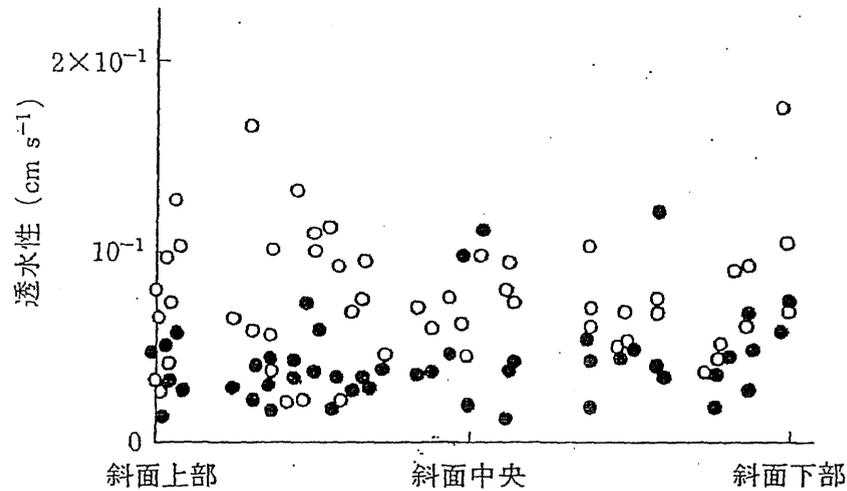


図132 斜面部位別の A 層土壌の透水性 (小林繁男, 1982原図のスケールを改変)
○…伐採前, ●…伐採後.

III. 斜面における水循環過程

表19 土地被履条件別の最終浸透能

(最終浸透レート mm h^{-1})

林地		伐採跡地		草生地		裸地			
針葉樹	広葉樹	軽度	重度	自然	人工	崩壊地	歩道	畑地	
天然林	人工林	攪乱	攪乱	草地	草地				
211.4	260.2	271.6	212.2	49.6	143.0	107.3	102.3	12.7	89.3
(5)	(14)	(15)	(10)	(5)	(8)	(6)	(6)	(3)	(3)
林地平均		伐採跡地平均		草生地平均		裸地平均			
258.2		158.0		127.7		79.2			
(34)		(15)		(14)		(12)			

注) () 内の数値は測定した地区数

(村井 宏ら, 1975)

(2) 林分の相違による影響について

有光(1987)は、尾鷲地方のヒノキの密植林地で行われた散水実験結果を踏まえ、「このように下層植生を欠く林地から大量の土砂が流出するということは、降雨によって林地の最表層部の、粗孔隙に富む土壤が失われるということで、浸透能は低

下し、表面流出水が増え土壤中に流入して貯留され、徐々に排出される水の量はそれに伴って減少するものとみられる。」と述べています。また、塚本(1998)は、「ヒノキ林で表面浸食が起こるのは、落葉が細片になりやすく、土粒子と同様に飛散されて衝撃力を吸収できないためと考えられる。」とし、表面浸食の発生過程については、「地表面衝突→雨滴の地表面での作用→表面クラスト層（雨撃層）の形成→浸透能の減少→表面流の発生→表面浸食の発生→面状、リル、ガリー浸食への発展」としています。このように、森林水文学では、ヒノキ林における「地表流（表面流出）」の発生は報告されていますが、中根氏の主張のように「A層側方流」が増大するとはされていません。

なお、昨年度、川辺川流域で、斜面勾配、土壌特性等の観点から手入れが悪い代表例とされた人工林において、自然降雨による地表流観察試験を実施し、その結果、治水計画で対象とするような降雨強度（約40mm/h）の際にも大規模なホートン型地表流の発生は確認されませんでした（別紙1）。

2. 「A層側方流増大」のメカニズムについて

5月28日の「森林の保水力の共同検証に関する協議」での中根氏の説明によれば、伐採や林分の相違によりA層全体の透水性が低下し、斜面方向の透水性が高い土壌の浅い部分に、より多くの側方流が発生するとし、「地表流やA層側方流、すなわち「表層流」を増大させ、結果的には河川ピーク流量を引き上げる」（別紙2）としています。

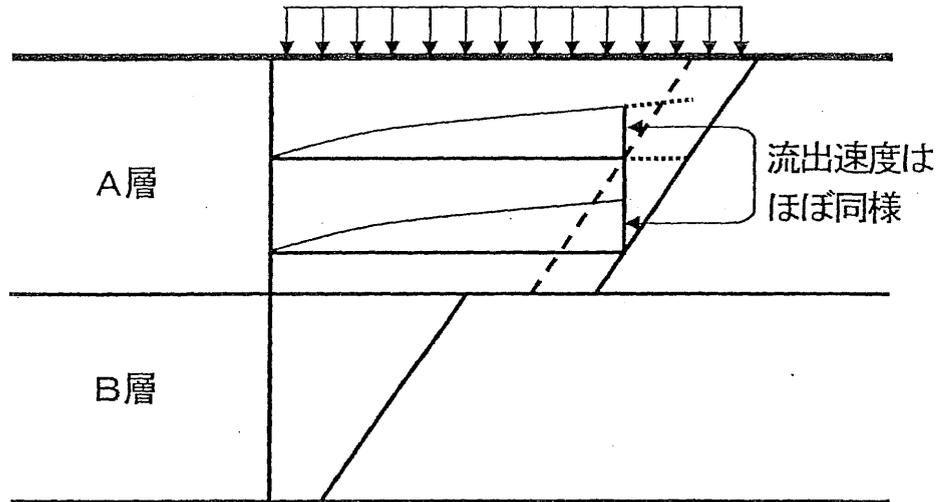
しかし、1. に示したように、伐採に伴う土壌のかく乱や圧密は地表面に発生する現象であり、また土壌の流亡も最表層部で発生する現象であることから、それらによりA層全体の透水性が低下することは考えられません。

また、土壌のかく乱や圧密、土壌の流亡による影響は地表面で最も大きく、土壌深部になるにつれて小さくなるため、この場合に、A層の透水性は地表面が最も小さくなると考えられます。したがって、この場合、発生し得るのはホートン型地表流であり、土壌の浅い部分により多くの側方流が発生することはありません。

また、中根氏は、伐採や林分の相違によりA層全体で透水性が低下して、側方流の発生位置が浅い部分になり、浅い部分の側方流が増大するとしています。しかし、仮にA層全体で透水性が低下しても、透水性の低下は鉛直方向のみならず斜面方向にも発生すると考えるのが自然であり、下図のように、A層の浅い部分も透水性が低下し、もとの深い部分と流出速度がほぼ同様となり、側方流も変わらないと考えられます。

以上から、中根氏の「A層側方流増大」のメカニズムは適切ではありません。

A層内の透水性模式図



【引用文献】

- 1) 塚本良則：森林水文学, 文永堂出版, 1992
- 2) 中野秀章：森林水文学, 共立出版, 1976
- 3) 有光一登：森林土壌保水のしくみ, 創文, 1987
- 4) 塚本良則：森林・水・土の保全, 朝倉書店, 1998

(別紙1)

記者発表資料

台風18号時における 地表流観察試験の結果について (速報)

- 国土交通省では、森林の保水力の共同検証を行うため、ダム反対側と協議して、9月6日から、川辺川流域の球磨郡五木村^{たんかいの}端海野地区において地表流観察を開始しています。
- 今回は、9月7日に熊本地方を通過した台風18号時における地表流観察の結果についてお知らせします。

平成16年10月 1日

< 問合せ先 >

国土交通省九州地方整備局川辺川ダム砂防事務所

調査設計課長 朝田 将 (内線351)

Tel: 0966-23-3174 (代)

— 今回の観察結果 —

- 人工林でも、自然林でも、降った雨のうち99%以上が、地中に浸透したり、樹木で遮断されています。地中に浸透したり、樹木で遮断された量は、人工林と自然林とでほとんど差はありません。

(地中に浸透したり、樹木で遮断された量)

★降った雨の総量(239mm)に対して、

99.75%(人工林)、99.93%(自然林)

★降雨ピーク時の1時間あたりの雨量(42mm)に対して、

99.28%(人工林)、99.94%(自然林)

- 降った雨のうち地表流となった量は、人工林でも、自然林でも、ごくわずかです。地表流となった量は、人工林と自然林とでほとんど差はありません。

(地表流となった量(雨量換算値))

★降った雨の総量(239mm)のうち、

0.597mm(0.25%)(人工林)、0.155mm(0.07%)(自然林)

★降雨ピーク時の1時間あたりの雨量(42mm)のうち、

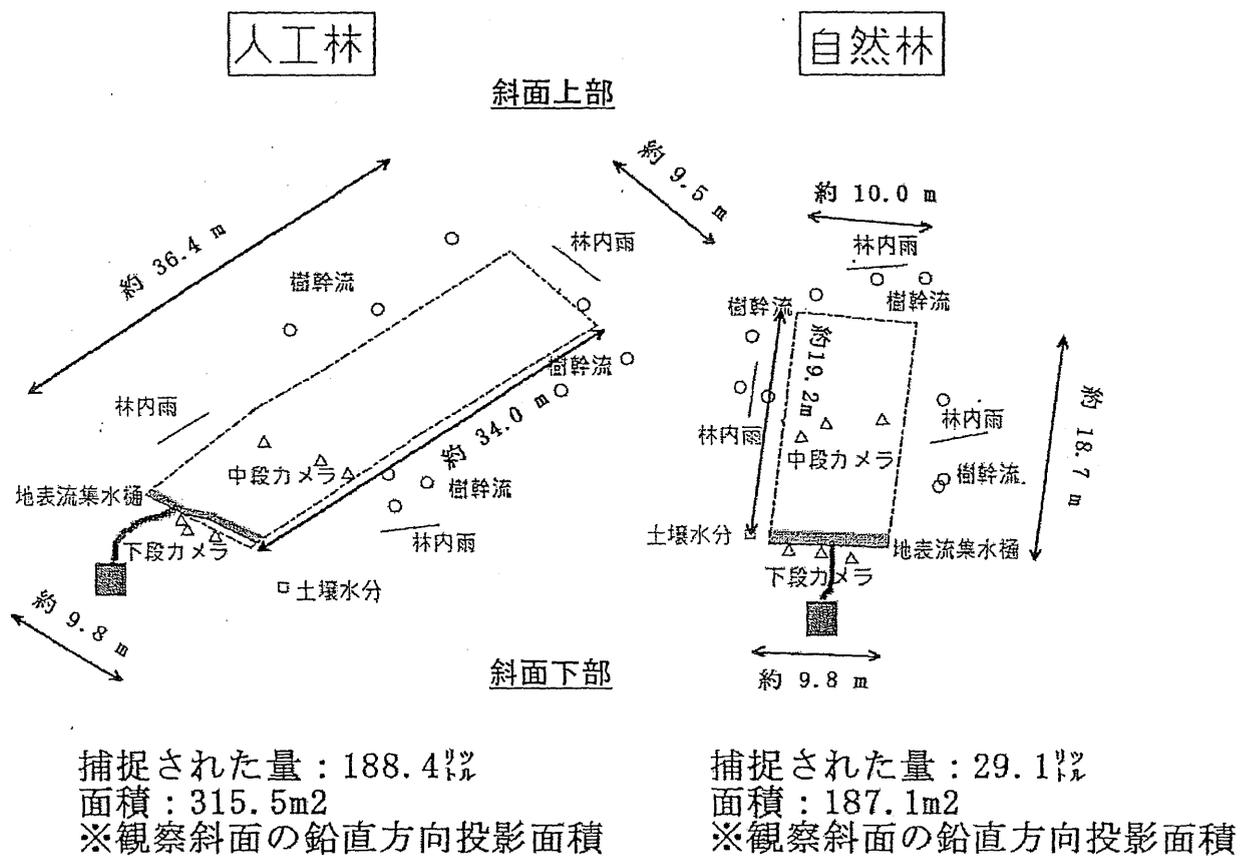
0.301mm(0.72%)(人工林)、0.024mm(0.06%)(自然林)

日本学術会議答申(平成13年11月)で述べられているように、森林はおもに森林土壌のはたらきにより、中小洪水においては洪水緩和機能を発揮しますが、治水上問題となる大雨のときには、流域は流出に関して飽和状態となり、降った雨のほとんどが河川に流出するような状況となります(参考-4、参考-5参照)。このような状況は、森林が人工林であろうと、自然林であろうと、ほとんど差はないものと考えられます。

- 台風18号の接近に伴い、熊本県職員の立会の下、9月6日(月) 12時頃に地表流観察を開始し、一連の降雨が終わったと判断された8日(水) 13時頃迄の約2日間にわたって、観察を継続しました。
- 斜面下部に設置された樋(とい)により斜面上を流下したであろう地表流の捕捉を行った結果、人工林で188.4ℓ、自然林で29.1ℓの量が確認されました。
- 一方、現地に設置された雨量計によると、この期間の総雨量は239ℓであり、この雨量のうち樋に捕捉されなかった量の割合は、人工林で99.75%、自然林では99.93%でした。(樋に捕捉された量は、人工林0.25%、自然林0.07%)
- また、降雨ピーク時でも、その時の時間雨量42mmに対し、その時間内に樋で捕捉されなかった量の割合は、人工林で99.28%、自然林では99.94%でした。なお、球磨川の治水計画(80年確率)で対象としている降雨のピーク時の時間雨量は41mmです。
- 樋に捕捉されなかった雨は、地中に浸透したか樹木で遮断されたものと考えられます。
- 今後は、得られたデータについて国土交通省、ダム反対側の双方で更なる分析を行い、森林の保水力の共同検証を進めることとなります。
- なお、地表流観察は、先日の台風21号通過時にも行っており、当面、台風の来襲が予測される期間中は引き続き行う予定です。

○ 観察実施箇所の状況

地表流観察実施箇所の概要は下図の通りです。人工林の観察実施箇所の面積は約315m²で、自然林の観察実施箇所の面積は約187m²です。



林外雨
○

図 地表流観察実施箇所の概略図

○ 総雨量で見た樋に捕捉されなかった量の割合について

総雨量239mmのうち、人工林、自然林において、それぞれ188.4%、29.1%の樋による捕捉が確認されました。この雨量に対して樋に捕捉されなかった量の割合は、人工林で99.75%、自然林では99.93%でした。(樋に捕捉された量は、人工林0.25%、自然林0.07%)

表1 総雨量で見た地表流観察の結果について

	人工林	自然林
観察範囲の面積 (*1-①)	315.5 [m ²]	187.1 [m ²]
観察期間の総雨量 上段：実測値-②	239.0 [mm]	239.0 [mm]
樋に捕捉された量 上段：実測値-③ 下段：雨量換算量 (*2-④)	188.4 [%] 0.597 [mm]	29.1 [%] 0.155 [mm]
総雨量に占める割合 上段：捕捉されなかった量： $(②-④) / ② \times 100$ (下段：捕捉された量： $④ / ③ \times 100$)	<u>99.75 [%]</u> (0.25 [%])	<u>99.93 [%]</u> (0.07 [%])

観察期間：9月6日(月) 12:00~9月8日(水) 13:00

※1：観察斜面の鉛直方向投影面積

※2:④ 雨換算量[mm] = ③ 樋に捕捉された量[%] / ① 観察範囲の面積[m²]

○ 降雨ピーク時の雨量で見た樋に捕捉されなかった量の割合について
 降雨ピーク時(7日9~10時、時間雨量42mm)の1時間において、人工林、自然林で、それぞれ94.9%、4.4%の樋による捕捉が確認されました。その時間内に樋で捕捉されなかった量の割合は、人工林で99.28%、自然林では99.94%でした。(樋に捕捉された量は、人工林0.72%、自然林0.06%)

表2 降雨ピーク時の雨量で見た地表流観察の結果について

	人工林	自然林
観察範囲の面積 ^(※1-①)	315.5 [m ²]	187.1 [m ²]
降雨ピーク時の時間雨量 実測値-②	42.0 [mm]	42.0 [mm]
樋に捕捉された量 上段：実測値-③ 下段：雨量換算値 ^(注1-④)	94.9 [%] 0.301 [mm]	4.4 [%] 0.024 [mm]
降雨ピーク発生時の 時間雨量に占める割合 上段：捕捉されなかった 量： $(②-④) / ② \times 100$ (下段：捕捉された量 ： $④ / ② \times 100$)	<u>99.28 [%]</u> <u>(0.72 [%])</u>	<u>99.94 [%]</u> <u>(0.06 [%])</u>

※ 降雨ピーク発生時間：9月7日(火) 9:00~10:00

※1：観察斜面の鉛直方向投影面積

※2：④雨量換算量[mm] = ③樋に捕捉された量[%] / ①観察範囲の面積[m²]

(別紙2)

の流出過程を、塚本(1998)は、「各段のタンクが具体的に表面流出(この場合は地表流と同義語)、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となる」と説明しています。すなわち、第一タンクからの流出は地表流と中間流の最上層部の側方流(中根教授が定義する「表層流」)に対応することを示唆しているわけです。しかも、この第一タンクからの河川流出がピーク流量に大きく寄与していることは言うまでもありませんし、それを定量的に示すことも可能です(中根・嶋津 2002; 中根 2004)。

また、小川(1983)は、「森林土壌の特性を考慮に入れて地表面、A層、B層、C層に分けて、各層位からの流出成分を表面流出、A層流出、B層流出、C層流出とする流出モデル」を提案しています。ここでいう表面流出とA層流出とを合わせたのが中根教授が定義する「表層流」に、B層流出が「中間流」に、C層流出が地下滞水流におおよそ対応することになります。

以上、中根教授が定義する「表層流」は、従来のいくつか概念として提案されている雨水の斜面上の動態の概念に基づきながら、その括りを地表流と土壌最上層側方流(小川(1983)が言う、A層流出など)とを合わせたもので、地表流はもちろん、A層流出など「表層流」を構成する流出はすでに森林文学において用いられているものです。さらに、現地での調査結果やタンクモデルの解析結果から、このような「表層流」としての括りが、洪水時の河川流出過程におけるピーク流量と密接に関連していることが示唆されているように、きわめて有効なもの(括り)と言えます。

3. 表層流発生メカニズムについて物理法則等に則り明らかにされたい。

表層流の一部である、地表流の発生メカニズムと、もう一つの表層流を構成する中間流の最上層部の一例としてのA層側方流の発生メカニズムについては、塚本(1998)が記述するように以下のように説明できます。

「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(土壌空間に保持可能な貯留雨量)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。」

4. 伐採等人為的改変や林分の違い(例えば、人工林、自然林)等が、表層流の発生に与える理由を、上記メカニズムを踏まえて上で、科学的根拠に基づき明らかにされたい。

中野 (1976) は我国および世界各地の森林理水試験流域における伐採の影響を調べた結果から、「皆伐によりほとんどの降雨による直接流出量は一降雨量、降雨強度の大小にかかわらず増加した。直接流出のピーク流量も同様に増加した。このことは世界の各試験結果に共通で例外がなかった。」と報告しています。

この伐採による河川ピーク流量の上昇のメカニズムについては、伐採前後での表層土壌の調査結果が有効な示唆を与えています。山谷 (1965) は、ヒバ林の調査から、皆伐後経年的に落葉層 (A₀層) と A 層の厚さと形態の変化、そして有機物の減少がみられ、こうした土壌表層の変化は降水の浸透を難しくすることを指摘しています。また、小林 (1982) はヒノキ林の伐採前後で A₀層と最上層土壌 (A 層) の形態や理化学性を調査して、伐採後、斜面全体で A₀層や A 層の厚さが減少し、同時に有機物量 (炭素量) も減少し、その結果最上層土壌 (A 層) の粗孔隙量も減少し、透水係数が大きく低下したことを報告しています。さらに、伐採時や搬出時の表層土壌の攪乱 (圧密) も粗孔隙量の減少、透水係数の低下に少なからず影響していることも指摘しています。

このように、伐採後、A 層などの「最上層土壌の透水係数 (浸透能) が低下して、降雨の土壌への浸透、流入に遅滞が生じる」(有光 1987) ことが、地表流や A 層側方流、すなわち「表層流」を増大させ、結果的には河川ピーク流量を引き上げることとなります。

谷本ら (1989) も山火跡地と残存森林地での浸透能を測定したところ、山火跡地で浸透能が半減していること、そして山火跡地の斜面上部で A 層の側方流が増大していることを報告しています。浸透能の低下は A₀層の焼失とそれによる A 層の透水係数の低下が原因していると思われませんが、それが、河川流出量を山火跡地で増大させ (Kusaka et al. 1983)、洪水時のピーク流量を 2~3 倍上昇させる結果をもたらしたと思われ (鎌田ら 1984)。

林分の違い等による、「表層流」の発生量への影響については、前述した村井・岩崎 (1975) の散水実験が示唆を富んだ結果を報告しています。スギ林→アカマツ林→アカマツ→コナラ林→広葉樹林と順に表層土壌の透水係数が大きくなるほど、地表流と A 層側方流、すなわち「表層流」が、散水量の 37→36.2→33.3→23.8%と減少していることです。これは、表層土壌が透水しやすいほど、表層土壌における浸透水量が増え、それだけ表層土壌の側方流が減少することになると考えられます。

また、有光 (1987) は、赤井竜男氏らが実施したヒノキ壮齡林で下層植生を欠く密植林と下層植生をもつ非密植林での散水実験の結果、前者の方が流出土砂量が 15~27 倍多いことは、「降雨によって林地の最表層の粗孔隙に富む土壌が失われることであり、浸透能が低下し、表面流出 (表層流出) 水が増え土壌

中に流入して貯留され、徐々に排出される水の量はそれに伴って減少する」と述べています。同様に、「手入れの悪い一斉人工林も林内が暗くなり、林床植生が消失し、表層土壌の粗孔隙量が著しく低下して、降雨の土壌中への浸透が悪くなる」ことも指摘しています。さらに、「こうした保育作業をしない人工林が大きな面積を占めるようになると、水保全機能は著しく低下し、洪水ピーク流量が増え、濁水流量は減る」とまで言及しています。林野庁公益的機能研究会(1985)は、以上の人工林の間伐など、手入れが森林の水土保全機能の維持に及ぼす効果を定量的に評価しています。

中根(1989)および遠藤ら(2001)は同一斜面上の放置人工林と隣接した自然林で、浸透能(深さ10cmまでの鉛直浸透能)を測定して、前者が1/2.5にすぎないことを報告しています。また、遠藤ら(2001)と同一の調査地で表層土壌の孔隙率と最大容水量を測定したところ、放置人工林では表層土壌の孔隙率と最大容水量が有意に低下していることも報告されています(金行・中根 2003)。しかし、このような放置人工林でも適正に間伐することによって、下層植生が進入し、繁茂するころには、浸透能が大きく回復し、自然林と遜色のないほどとなることも示唆されています(遠藤ら 2004)。このように表層土壌の浸透能や透水係数が樹種や人工林の場合、間伐の有無によって大きく左右されることは、当然「表層流」の大小にも影響していると考えられます。実際に、日浦(2003)は、流域の人工林を適正に間伐することによって、間伐前と比較して、洪水時の河川流出量が大きく減少することを報告しています。すなわち、間伐によって表層土壌の浸透能や貯水力が回復して、「表層流」が大きく減少することを裏付けているとも言えます。

引用した学術著書・論文

- 有光一登(1987) 森林土壌保水のしくみ. 創文社, 東京. 199pp.
- 遠藤康裕・永山啓一・中根周歩(2001) 吉野川流域における針葉樹人工林と自然林の土壌浸透能の比較. 吉野川流域ビジョン21委員会. 102pp. 徳島市.
- 遠藤康裕・中根周歩(2004) 吉野川流域における針葉樹人工林の施行の違いによる土壌浸透能の比較. 吉野川流域ビジョン21委員会. 49pp. 徳島市.
- Duan Q., Sorooshian S. and Gupta V.K.(1992) Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-rannoff models. Water Resources Research 28(4): 1015-1031.
- Duan Q., Sorooshian S. and Gupta V.K.(1994) Optimal use of the SCE-UA global

2005年8月16日

「表層流」に関するコメント

九州大学名誉教授

大学院農学研究院特任教授

小川 滋

先般依頼のあった「表層流」に関するコメントについて報告致します。

要約:

1. 「表層流」の考え方として、「地表流」と「地中流」(最上層土層中流れ)とは、発生場、発生メカニズムと流れの物理的特性から明確に区別しなければならない。
2. 洪水の支配的要因である洪水到達時間について、「地表流」は、非線形の特徴を持つが、「地中流」は、「均質土壌」ではダルシ一則で線形である。つまり、洪水の非線形性は、「地表流」によって説明される。
3. ただし、「地中流」であっても、「不均質土壌の飽和」に伴ってパイプ流、大孔隙の流れが増大することによって、次第に地中流の流下速度が増加することで非線形性の現象が説明できる。ただし、地表流と地中流では、流下速度には、オーダー的な差異がある。
4. A層側方流の発生は、B層への余剰浸透水によって、B層直上で飽和に近い地中流が発生することによる。
5. 伐採及び林分の相違によるA層側方流への影響は、基本的に土壌の物理性の差異や変化を示す「土壌水分特性曲線」を用いた「飽和-不飽和浸透解析」によって評価する必要があり、単に、浸透能の相対的比較による議論では、不十分である。
6. ただし、この基本的なデータは、伐採や林分の相違に対して整備されているとは言い難い。また、降雨パターンなどを考

慮した浸透水の挙動を検討することが重要である。

7. A層側方流の増大のメカニズムは、基本的にA層への浸透水の増大、A層側方流の流速の増大とB層への浸透水の減少などが考えられる。これまでの知見では、森林施業に伴う土壌劣化は、地表面付近で浸透能の低下、大孔隙の減少、土層厚の減少が起こることが、報告されており、A層側方流の増大をもたらす要因とはなっていない。

8. ここで定義されている「表層流」は、地表流と地中流に分けて、それぞれの流れの動態を整理して、議論することが一般的で、議論の混乱を少なくすると考えられる。

1. はじめに

今回のコメントに際して、あらかじめ、以下の点について、理解しておいて頂きたい。

①森林山地からの降雨一流出は、非均質場において、時間的には非定常の出水現象であることを理解しておくことが重要である。森林地斜面では、とくに、非均質な地表面、土壌層、地形のもとで、時間的に降雨一流出が大きく変動することを考慮しておくことが最も重要である。

②降雨一流出のモデルは、降雨一流出現象の観測、計測、実験等によって、現象の支配的要因とその関係を説明するためのものであり、モデルが現象そのものを現すものではない。モデルは、あくまでもモデルである。

③しかしながら、降雨一流出のメカニズムを、だれもが納得するような理解のために一般化する必要がある。そのためには、観測データなどに基づく物理的な説明が必要である。単なる概念的なモデルによる説明は、議論を混乱させるだけである。現象を本質的に理解するには、流出機構の一般性を失うことなく(物理性を踏まえた上で)、個別的な流域特性を考慮して説明していく必要がある。

④また、斜面スケールでの現象を単純に加算すれば、流域スケール

ルでの現象になるわけではない。つまり、スケールアップによって平均化、あるいは、非線形的な現象が起こる可能性がある点も注意しておかねばならない。

⑤また、森林の「緑のダム」機能は、自然的要因が大きく関与しており、人為的にコントロールできる要因は限られていると理解すべきで、これを理解した上で、「緑のダム」を選択する場合は、これに伴う洪水や渇水災害のリスクを負うべきであると考え。また、構造物によるダムについても、本質的には、自然的要因が大きく影響しており、同様の災害のリスクがあることを十分理解しておくことが重要である。

2. 「表層流」の考え方について

「ダム反対側が主張する「表層流」という考え方について、森林水文学の専門家としての意見をいただきたい。」とのことであるが、まず、「表層流」の定義について、整理する。

(1) 「表層流」の定義

「表層流」の定義を図-1のように、「地表流と中間流でも最上層土壤中の流れ(側方流)を合わせたもの」と定義することに、問題はない。

しかしながら、地表面を流れる「地表流」と地表面下を流れる中間流である「地中流」は、図-1で整理されているように、「区別」しなければならない。その理由は、流れが発生するメカニズムとその流れの性質が異なるからである。「地表流」は、地表面を流れる現象でホートン型地表流、復帰流、飽和地表流として、流れの発生メカニズムが定義さ

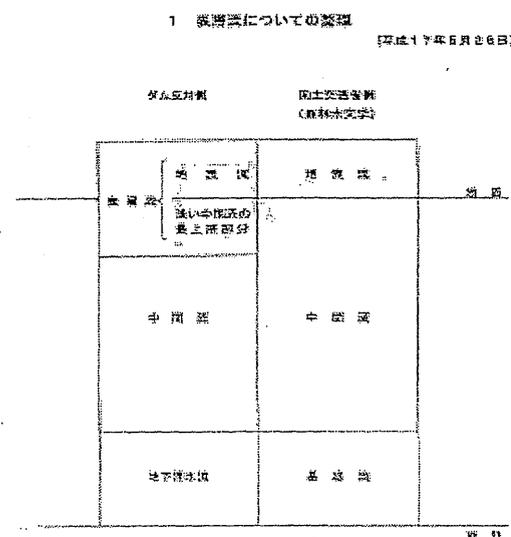


図-1 表層流についての整理

れている。また、地中流は、地表面から浸透した雨水が、土壤孔隙中を流れる現象として定義されている。つまり、この生起する現象の場と発生メカニズムが異なると理解するのが一般的である。

この定義には、本質的に、流れの性質、つまり、流れの速度(抵抗則)が異なることによって、降雨一流出現象に与える影響が全く異なるということが理解されねばならない。

(2)「地表流」の発生メカニズム

地表流には、ホートン型の地表流と飽和地表流、復帰流があるとされており、普通、多くの調査、観測、実験から山林地では表面の浸透能が大きく、斜面全体にわたって、ホートン型地表流は発生しないと考えられている。また、復帰流は、土壤上層を短距離流れて地表に復帰した浸透水で、一般には、これに伴い発生する飽和地表流が重要とされている。飽和地表流は、斜面下流部でおこり、流出のソースエリアを形成するとして理解されている。したがって、森林地では、ハゲ山裸地斜面のような場所を除いて、ホートン型の地表流は、起こらないと考えられている。

(3)「地中流」の発生メカニズム

森林地では、地表面に到達した雨水は地中に浸透し、鉛直浸透が起こる。一般に降雨前の土壤層は不飽和状態であり、浸透水は、大きな表面張力(毛管吸引力)をもつ小さな孔隙へ浸透し、重力による移動が困難な水分(保水)となる。次第に、浸透水分量が増加すると、小さな表面張力をもつ大きな間隙へ浸透して、重力による移動が可能になる水分量が増加し、斜面方向への水分移動が始まる。さらに、水分量が増加し、土壤が不飽和から飽和になると、大孔隙からの流出(飽和の側方流)が起こる。また、連結したパイプ状の孔隙を流れるパイプ流が生じる場合もある。

(4)「地表流」と「地中流」の流れの性質とピーク流量への影響

降雨一流出で特に重要な流れは、地表流であり、ホートン型地表流(浸透余剰地表流)、飽和地表流(土壤が飽和したところで発生する地表流)が、ピーク流出波形へ大きな影響を与える。

「地表流」は、水理学的には開水路の流れとして、平均流速式とし

ては、チェジー式やマニング式で示される表面の水深の増加に伴う非線形の流れである。地中流は、土壌孔隙中を流れる飽和—不飽和の流れで、不飽和の流れは表面張力によるサクシオンを受けた流れで、流速は水分量によって変化する不飽和透水係数によって示される流れで、飽和の流れは、飽和透水係数による線形の流れ(水深によって流速が変化しない流れ)である。

この流れの抵抗則の相違は、降雨—流出に大きな影響を与える。降雨—流出は、とくに、洪水では、非線形の現象、つまり、降雨が累加すると共に流出の増加が加算(線形、増加率が1)として現れるのではなく、増加率が増える(非線形)現象である。この流出の非線形のメカニズムは、流れの性質に基づいている。

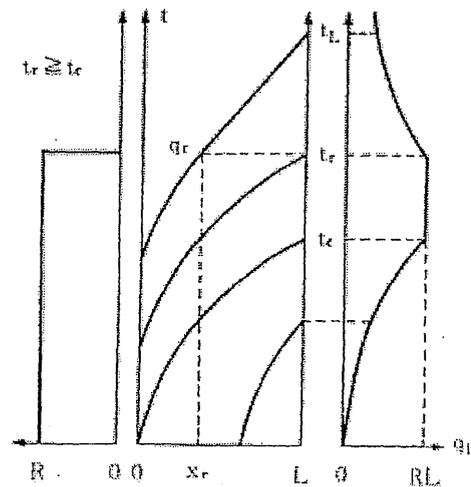
地表流が、洪水のピーク流量に大きく寄与するということは、ピーク流量が洪水到達時間内平均降雨強度によって形成されるという合理式で説明できる。

(参考) ピーク流量は、斜面からの流出が河川へ到達する時間が短く、その量が大いほど増大する。合理式では、ピーク流量を形成する要因は、洪水到達時間、ピーク流出係数、流域面積である。洪水到達時間は、ピーク流量の形成要因を全体として表現したものである。この到達時間 (t_p) は、斜面が、洪水流量の形成に支配的であるとき次式で示される。

$$t_p = KL^p / re^{1-p} \quad (1)$$

ここに、 L : 斜面長、 re : 洪水到達時間内の平均有効降雨強度、 K 、 p : 雨水の運動に関する定数である。到達時間は、有効降雨強度に反比例、斜面長に比例し、この比例の大きさは雨水の運動(流下速度)に関係している。

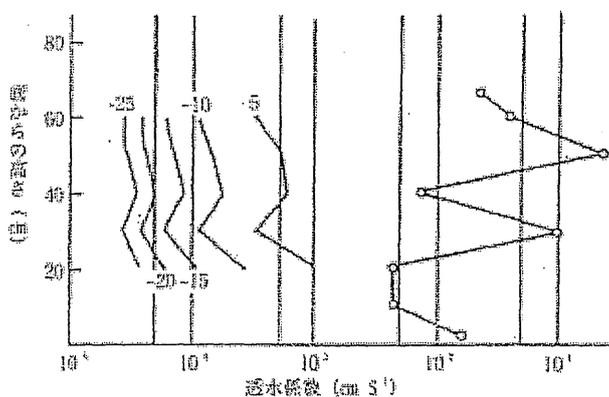
図一2に示すように、斜面上(L)を地表流が上流から下流に向かって雨水を集めながら流下する時、水深が増加し流速が非線形的に加速される(マニング式で水深の2/3乗で増加)。斜面では、上流端から下流端までの雨水の流れの到達時間内



図一2 斜面における到達時間

の平均降雨強度がピーク流量を形成することになるので、到達時間が短くなれば(流速が速くなると)、降雨イベント中で、平均降雨強度の大きな降雨による流量を形成し、ピーク流量が増大する。つまり、地表流の流れは、到達時間が非線形的に短くなる結果として、ピーク流量が非線形的に増大することになる。

それに対して、「地中流」は、地中に浸透した雨水が、最も表面張力の大きな小さな孔隙へ侵入し重力による移動が困難な水となる。次第に、浸透水分量が増加すると、重力による移動が可能になり、不飽和の透水係数が増加する。つまり、水分量によって流速が増加する(このことで、非線形的な流れが生じることになるが、不飽和の流れは、遅い降雨一流出応答を示す)。浸透水による水分量が増加すると最終的には、ダルシー則による飽和透水係数による一定の最大流速となる。つまり、最大流速(飽和流)以上の流速にはならず、水深が増加しても流速は変化せず、線形の流れとなり、洪水の到達時間は一定である。つまり、降雨イベント中の一定の到達時間内平均雨量強度によって形成される流量が



不攪乱森林土壌(九重山)の飽和および不飽和透水係数の鉛直分布
 図中の数字は圧力水頭値 (cm) ○: 飽和透水係数
 (大手ほか, 1989)

ピーク流量として一義的に 図-3 飽和透水係数と不飽和透水係数 決定される。ただし、土層の飽和によって、大間隙、あるいはパイプ流へと土層の不均質性により、飽和の流れが生じる場合には、透水係数が増加することで、非線形性の流れが生じることになる。

この不飽和での透水係数と飽和透水係数の差異については、不攪乱資料による実験値を図-3に示す。透水係数にオーダー的な差異があることが分かる。

(参考) ここで、地表面流と地中流の流速の相違を試算してみる。

マニング式で、1 cm (10mm) の水深、斜面勾配30度、等価粗度係数0.4の場合、8 cm/s、一方水みちを含んだ飽和の流れとしても、地中流の速度は1 cm/s程度であり、一定である。地表流は、水深の増加によってさらに流速が加速する。また、均質な森林地の土壌中の地中流は、図-3より、0.1 cm/s以下であることが分かる。

また、地表流と地中流の相違については、図-4に示す花崗岩ハゲ山の砂防植栽地と裸地区との比較において、図-5の流出ハイドログラフから、塚本(森林・水・土の保全:1998)は、「貧弱でも森林に覆われ、薄くとも透水のよい表土らしきものが存在して、雨水が地中流になるとき、それが、地表付近の表土中を流れたとしても、裸地の地表流に比較して流速が極めて小さくなることを示している」と述べている。つまり、地中流は、地表流に比較して、オーダー的に低い流速をもつ

図-5 裸地と植栽地にハイドログラフと理解され、明確に「地表流」と「地中流」は区別する必要がある。

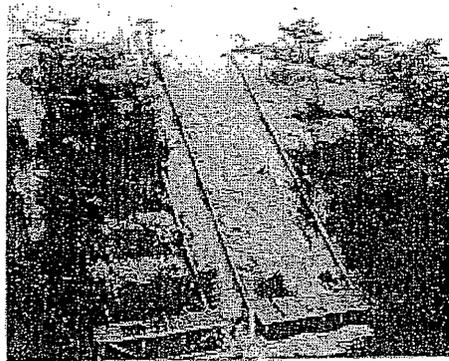
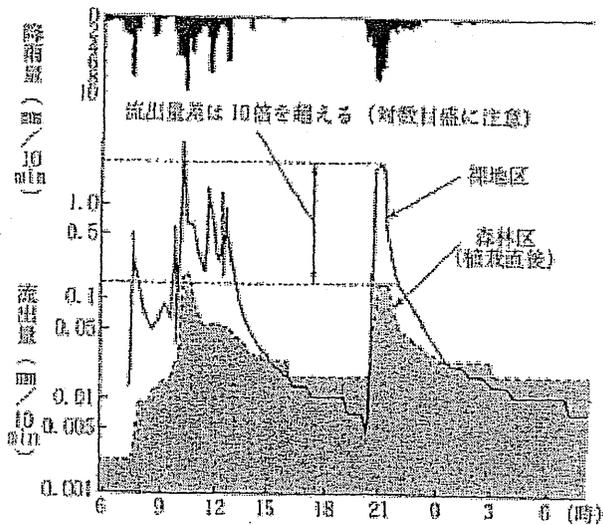


図-4
裸地と植栽地の水と土壌の流出試験区(滋賀県上山)
左が山麓植栽区、右が裸地区

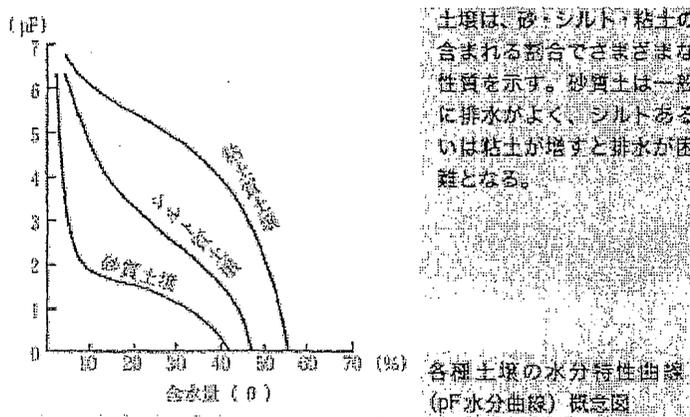


(5) A層側方流の発生メカニズム

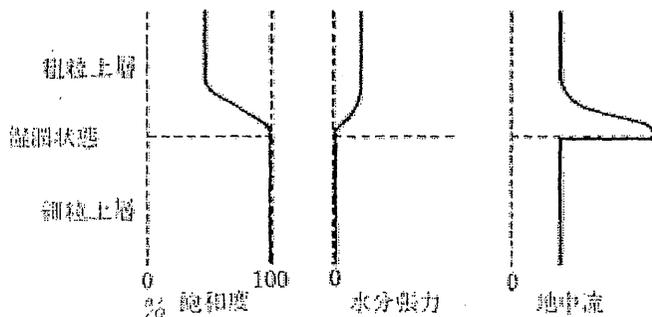
普通の森林地では、 Horton型の地表流は、発生しないので、「表層流」で示されている浅い中間流の最上層部分、つまり、A層流として生起している地中流の発生するメカニズムについて整理する。

土壌には、層位があり、土壌の物理性が異なる層がある。流出に関して言えば、この物理性は、図-6に示す「土壌水分特性曲

線」によって現すことができる。この土壤水分特性曲線をもとに、降雨浸透による不飽和一飽和水分量を計算し、土壤水分フラックスを計算することによって、斜面方向の流れの発生を調べることができる。このモデルシミュレーションは、各層の斜面方向の飽和透水係数と斜面と垂直方向の透水係数を与えることによって、いろいろなケースを計算でき、どの層の境界で地中流が発生するか検討することができる。例えば、図一7に、粗粒土層をA層、細粒土層をB層とすると、その境界の直上で飽和に近い地中流が形成されていることが示されている。つまり、A層からB層へ浸透できない(余剰浸透水)がA層の水分量を増加させ、斜面方向の水分フラックスが形成されることが分かる。このように、地中流の形成は、土壤層の土壤物理性の異なる層の境界で形成される。



図一6 土壤水分特性曲線



図一7 A層流の発生

3. 伐採及び林分の相違によるA層側方流へ

の影響について

(1) 影響評価の考え方

A層側方流の発生メカニズムで示したように、基本的には、伐採や林分の相違によるA層土壌の土壌水分特性曲線の変化や差異をもとに、A層の浸透流出を解析する「A層土壌層の不飽和一飽和の浸透流出解析」によって、影響を評価するのが適切である。しかしながら、伐採、林分の相違による孔隙組成、土層厚、土壌水分特性曲線の変化や差異については、十分なデータはなく、また、いろいろな降雨パターンとの関係において影響を評価しなければならない。また、これらのデータが十分ではないことに加えて、樹種や間伐などの森林施業の違いによって起こる変化が、あまり大きな変化ではないため、気象、地形、地質などによる影響が大きく、明確な影響評価ができない場合が多い。

また、林分の違いによるA層側方流の相違を議論する場合は、浸透能の相対的な大小で評価するだけでは、不十分で、土壌水分特性曲線等の土壌の物理性をもとに、土壌中の水分動態を解析して評価を行う必要がある。つまり、これまでの知見によると、大孔隙や小孔隙の組成の差異によって、降雨パターンに対する応答が異なるからである。

(2) 地表流の発生によるA層側方流への影響

伐採による地表面の重度攪乱によっては、地表面流の発生の危険があることは、多くの観測で示されている。また、下層植生を欠くヒノキ林放置林では、雨滴衝撃—表面クラスト層形成—表面流の発生が実験や観測で知られている。このような地表面の変化によって、ホートン型の地表流が発生すれば、A層側方流は減少する考えるのが普通である。

4. A層側方流の増大のメカニズムと土壌劣化

「A層側方流増大」は、流量を形成する浸透強度の増大、流

下速度の増大（到達時間の減少）と水深の増加，下層への浸透強度の低下が考えられる。水深の増加は，土層の厚さの増加であり，ここでは，土壤劣化に対応して土層の厚さの増加は想定していない。

（１）浸透能の増大

浸透能の増大によって，浸透量が増大し，A層側方流が増加することが考えられるが，これまでの観測調査等の知見によると伐採等による土壤劣化として，地表面付近，最上層土壤において，全孔隙量は同じでも粗孔隙が減って細孔隙が増加することで，浸透能の低下が起こり，地中への浸透量は減少すると考えられる。なお，伐採後の浸透能の低下によっても，浸透能は降雨強度に対して十分大きく，皆伐による浸透能の変化が表面流出を発生させるほど大きなものではないとされている。

（２）流下速度の増大

流下速度の増加によって，斜面方向の流出成分が増加するメカニズムを考える。地中流の斜面方向の最大速度は，飽和流であり，ダルシー則であれば，斜面において一定速度である。A層の側方流の速度を規定するのは，斜面方向の透水係数であり，この透水係数が大きくなれば，速度は「増大」する。この増大は，土壤の大孔隙組成の増加（抵抗係数の減少）であり，地表流成分が抑えられA層流成分として流出すること（この場合は，地表流が減少するため，表層流としては，減少する）や，斜面上流端から下端までの速度が速くなることによって，より大きな降雨による浸透強度の浸透水を集めることによって流量が増加することが考えられる。これは，地表流の速度増加による流量増加と同じである。

しかし，A層の土壤孔隙組成が劣化（孔隙量の減少）した場合，大孔隙が減少するので，A層側方流成分は，減少し，地表流が増大すると考えるのが普通である。

この場合は，地表流よりもA層側方流の流出速度は遅く，ピ

一ク流量へのA層側方流の影響は、地表流よりも少なくなると考えるのが適当である。つまり、土壤劣化によってピーク流量に影響を与えるのは、地表流の増大によるのが普通である。この土壤劣化は、伐採などによる地表面の攪乱、特殊にヒノキ放置林の雨滴浸食による裸地化などによって、地表流が起こると考えるのが普通である。

(3) B層への浸透強度の低下

A層側方流の増大は、下層への浸透強度（鉛直浸透）の極端な低下によって生じることが考えられる。森林施業等による土壤劣化は、地表面付近におきることからB層の浸透強度が大きく低下することは観測調査によって知見として得られていない。したがって、B層の浸透強度の劣化も考えにくい。

(4) パイプ流の発達

飽和側方流によって、斜面方向の流速が加速されるのは、パイプ流が考えられるが、土壤が劣化して大孔隙の連結であるパイプ流が発達するという事も知見として得られていない。

以上多くのケースを検討してみたが、土壤劣化によって、A層側方流が増大することは考えにくく、土壤劣化によって、浸透能の低下、大孔隙の減少、土層厚の減少により、地表流成分、とくに飽和地表流（復帰流による飽和地表流の発生を含む）が多くなると考えるのが自然である。

補遺：「表層流」モデルについて

表層流モデルの基本概念は、飽和一不飽和の水分の挙動を概念的に表現しようとしたもののようであるが、とくに、A1層の貯水及び浸出は、その水分動態を土壤孔隙組成に基づく物理的な説明がないと理解が困難である。

概念的には、やはり、土壤水分特性曲線による飽和一不飽和の浸透流解析によって水分フラックスの動態を説明するのが最もわかりやすいと思われる。つまり、一般的な物理則に裏付けられた現象の説明であれば、理解が容易である。また、浸透能

の変化，タンクモデルに見られる相対値や比較のための値の設定は，その根拠が明確ではない限り，単なる仮定の議論となり，混乱を引き起こす可能性が大きい．さらに，物理定数は絶対値のオーダーが現象支配の問題となるので，できるだけ絶対値，あるいは，オーダー的な物理定数値の説明は必要である．

また，もともと，森林土壌は，A層の浸透能（透水係数）がB層の浸透能（透水係数）より大きく，その孔隙組成によって飽和の側方流であれば，A層側方流成分が，B層側方流成分より大きいのが通常である．降雨パターンによってこれが変化する場合（B層側方流が大きくなる）ことがあるが，前述のとおり，A層の浸透能の低下によって，A層の側方流が低下前に比較して，増大することは通常考えられない．

さらに，1989年の100回日林論の中根教授のタンクモデルによる表層流の説明が多くのところ示されている．ここで，「第一層の表層流」とされているタンクのa1, a2の流出孔は，「地表流出」と説明されている．（この図-2は，人工林と広葉樹がミスプリントされている）この時点では，「浸透能の良さは，・・・地表流量を減らし，中間流を増大させる」と説明されており，ここでコメントした説明と内容的には同じである．つまり，

「表層流」は，モデル的な近似をすれば，基本的に「地表流」の特性をもつ流れとして理解するのが自然であると考えられる．

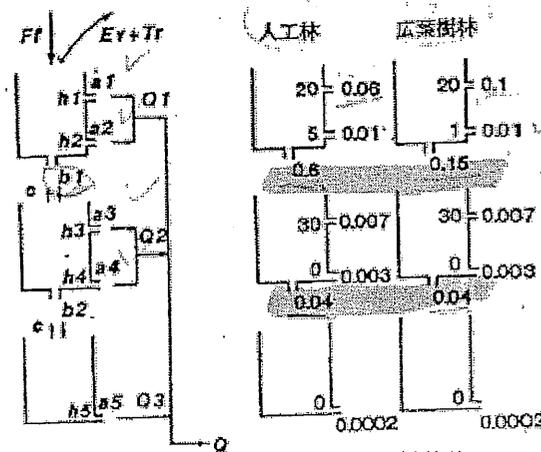


図-2. タンクモデルと計算に用いた，その係数値
 Q: 河川流出量, Ff: 林内雨量+樹幹流下量, Ev+Tr: 蒸発散量
 a1, a2: 地表流出, a3, a4: 中間流出, a5: 基底流出係数
 b1, b2: 土壌浸透係数, 以上, [mm/30min.]
 h1, h2, h3, h4, h5: 流出パイプ高, [mm]

なお、小川のモデルは、あくまでも、各土壌層の側方流は飽和流として近似しており、各層の斜面方向の透水係数が異なることによって、流出の非線形性を物理的に示すことができ、さらに、各土壌層の物理性を現地実験調査、あるいは、観測データ等によって、求めることができるということに意味がある。

以上

森林保水力共同検証に関する専門家会議 合意事項

日 時：平成17年11月25日（金） 午後1時～午後4時5分

場 所：熊本県庁 行政棟本館 1階 101会議室

議 題	合意事項
地表流観察試験について	<ul style="list-style-type: none"> ○観測結果の整理（データ及び結果の評価）に関し、公表案を国土交通省が作成し、12月9日（金）までに県あて提出し、ダム反対側は、国土交通省の見解とは別に自らの考え方を12月28日（水）までに県あて提出する。 ○観測結果の公表に当たっては、ダム反対側及び国土交通省側の考え方を並記する。
共同検証の終了について	<ul style="list-style-type: none"> ○国土交通省は、地表流観察試験の実施により共同検証の成果は得られ、共同検証を終結したいと申し入れた。ダム反対側は、双方合意のうえでの共同検証であることから、やむを得ず終結を了承した。

平成18年3月10日

熊本県地域振興部

総括審議員 上野 信一 様

子守唄の里・五木を育む清流川辺川を守る県民の会
(ほか52住民団体) 代表 中島 康

「森林の保水力」現地検証（地表流観察試験）の結果について

平成16年～17年に行われた、地表流観察試験の結果について、以下のように評価いたします。

<概要>

平成16年～17年、熊本県川辺川流域の端海野において、隣り合う人工林と自然林について地表流の発生の有無・大小を調査しました。その結果、国土交通省が否定していたホートン型地表流が明確に観測され、その地表流の発生頻度は人工林の方が自然林よりもはるかに多いこと（分散分析で有意差あり）が判明しました。地表流の発生量については、測定方法と測定運用上に重大な欠陥が、特に平成17年の測定時にあったため、更なる観測の継続が必要ですが、平成16年の測定では人工林での発生量が自然林よりもかなり大きい結果が得られました。このように、流域の植生の変遷や管理が流域の治水機能（河川流量）に影響を及ぼさない根拠として、自然林であれ、人工林であれ、手入れがされようがされまいが、森林土壌の浸透能は大きいので、斜面中部や上部では地表流は発生しないと国土交通省の論拠は破綻しました。

また、平成17年に、同じ川辺川流域の清楽の幼齢人工林のみにおいて、地表流観察試験が実施されましたが、隣接する比較対照とする自然林や伐採前の人工林での観察がされていないため、結果の評価はできませんでした。

1. 地表流観察試験の論点（目的）

この地表流観察試験の目的は、国交省が、「森林の土壌浸透能は十分に大きいため、それが伐採されようが、また人工林化し、さらに手入れがされようがされまいが、たとえ豪雨であってもホートン型（土壌の浸透能を越える降雨強度による）地表流が斜面上部や中部で発生することは無い（極めて希である）。よって、1950年代から今日まで、川辺川流域の森林面積に変化があまり見られないから、流域の保水力に変化はない」と主張されることが実際に妥当であるかどうか検討することです。

これに対して、ダム反対側は「森林土壌の浸透能は現地での測定値よりは遙かに小さく、ある一定程度以上の降雨強度で地表流は発生する。すなわち、ホートン型地表流が発生しており、伐採や人工林化、手入れの程度による土壌表層の変化、すなわち表層土壌の浸透能および貯水能の変化によって、有意にその地表流量（これを含む表層流量）の大小をもたらし。」と主張してきました。

以上のように、今回の地表流観察試験は、地表流と流域の河川流量（特にピーク流量）との定量的な因果関係を求めるためではなく、地表流が斜面上部や中部で発生するか、いなかを検証しようというものです。それは、この地表流量の大小とピーク流量の大小との関係は、少なくとも、斜面底部において、飽和型、ホートン型の両地表流を含む表層流量を知ること無しには不可能だからです。

以上の論点を現地検証する意味は、現在の球磨川人吉における基本高水流量（80年に一度の洪水時の最大予測ピーク流量）が流域の森林が一斉拡大造林などで荒れていた時期の雨量と河川流量との関係データから推定していることに対して、得られた結果は過大評価であるとするダム反対側の主張と問題ないとする国土交通省との主張のどちらが妥当であるかを検証するということです。今回の検証はその第一歩です。

2. 試験地および試験方法

- 1) 対象地 熊本県川辺川上流域の端海野の人工林と自然林が隣接している斜面の中腹です。隣接した林分を選定した理由は、比較対照とした両林分は、もともとの土壌がほぼ同一で、地形的にも類似して、植生の違いだけの影響を観察するのに適しているからです。

2) 測定方法

① 地表流発生確認

人工林、自然林とも、斜面上部と中部に各3台、計6台ずつのビデオカメラを設置しました。

② 地表流量

対象林分の斜面中部に地表流集水用の雨水樋（屋根付）を設置し、自動記録装置付転倒マスを通りかかして地表流量を計測。さらに、その通過水を転倒マス下部の200Lポリタンクに導入し、その水位を自動計測しました。この報告書では原則としてこのポリタンクの水位変動量から求めた地表流量を使用しました。ただし、ポリタンクの水位変動量データのチェックに転倒マスによる計測値も使用しました。

③ 降雨量

林外に自動記録装置付き雨量計を設置しました。

④ 土壌水分飽和度

深度を変えて3基の土壌水分計を人工林と自然林の斜面中部にそれぞれ設置しました。

3. 観察結果

3.1 ホートン型地表流が観察された！

平成16年と17年の5回にわたる観測で、そのすべてで、ホートン型の地表流が斜面中部で発生していました。

端海野の人工林、自然林とも地表流が発生（雨水樋による捕捉、またはカメラによる観察）しましたが、その時の土壌は上（浅）層はもちろん、深層においてすら雨水によって飽和していません（飽和度が1に達していない）。すなわち、飽和型地表流ではなく、ホートン型地表流でした（図1）。

→ 国土交通省の主張は否定され、ダム反対側の主張が立証されました。

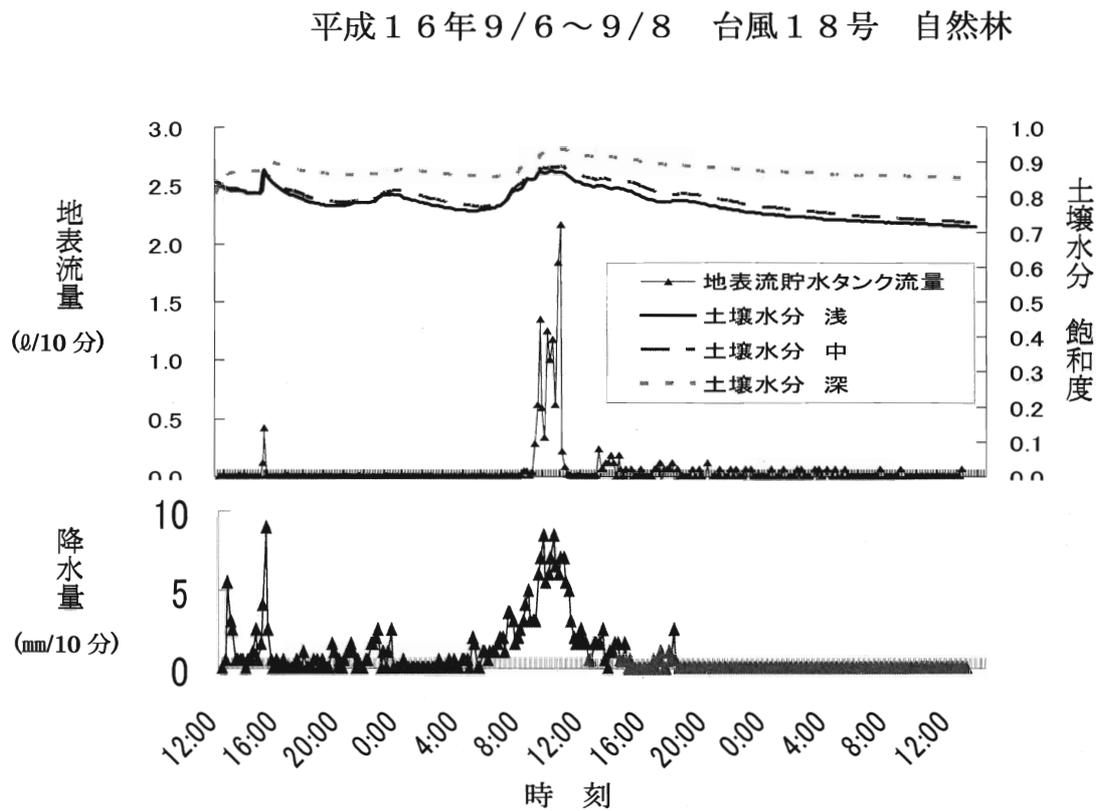
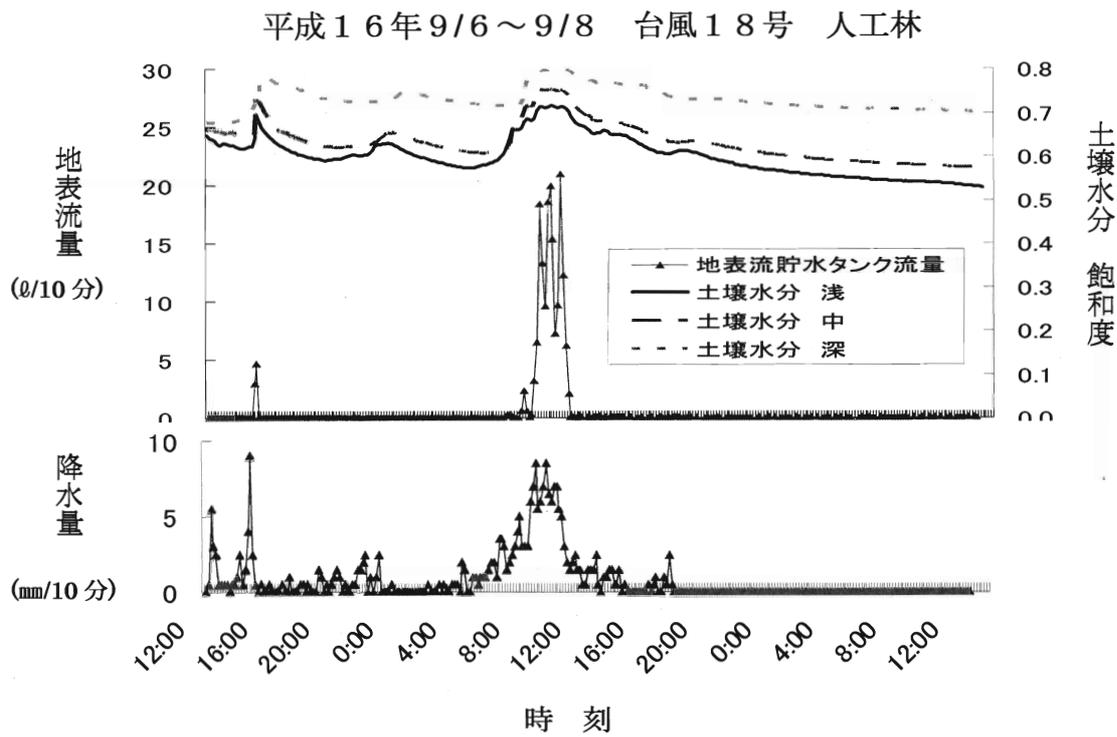
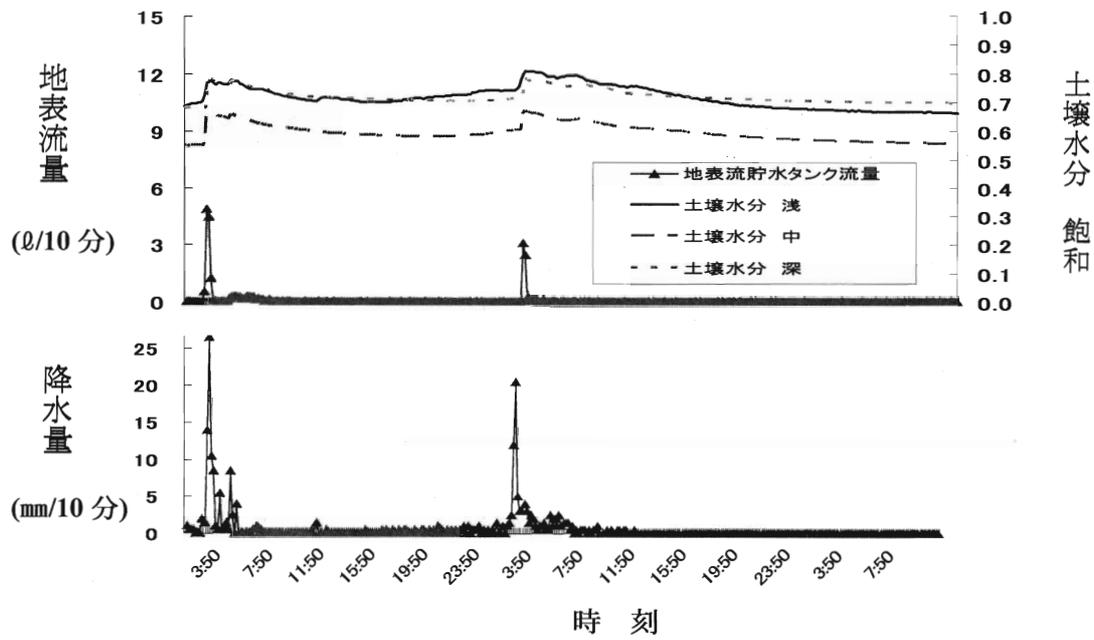


図 1-1 平成16年台風18号時の人工林と自然林における地表流発生時の土壌（浅、中、深層）水分の飽和度の推移（土壌水は飽和していない）

平成17年7/5～7/7 人工林



平成17年7/5~7/7 自然林

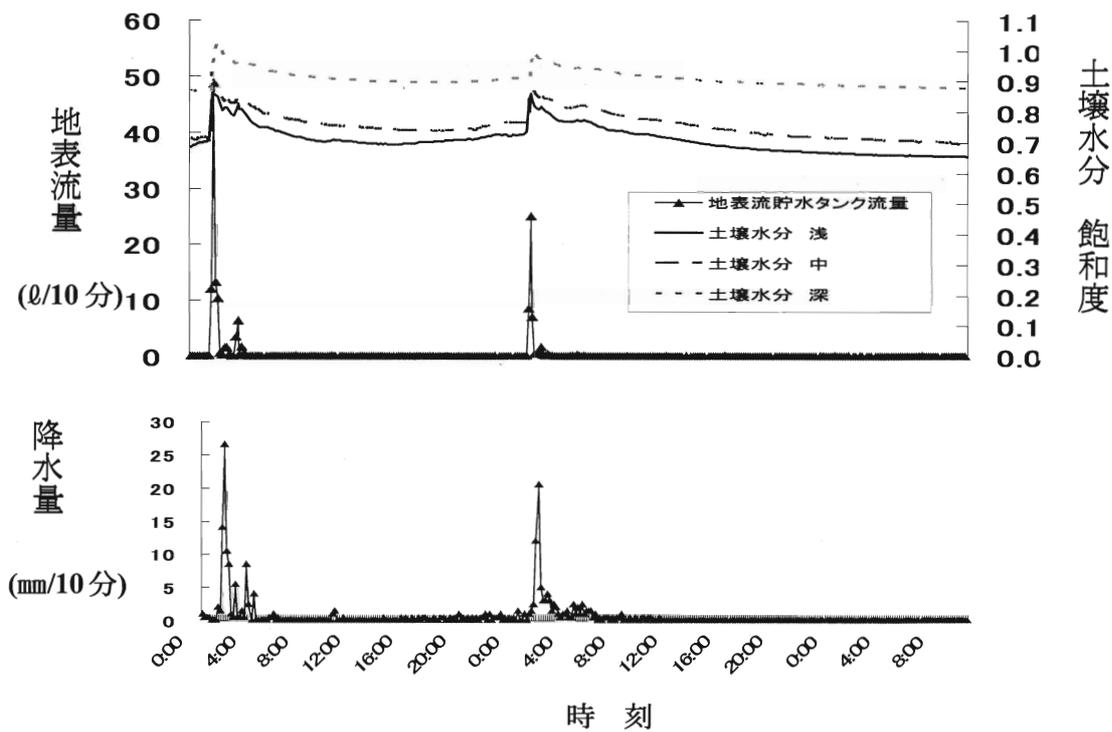


図1-2 平成17年7/5~7/7の豪雨時の人工林と自然林における地表流発生時の土壌(浅、中、深層)水分の飽和度の推移(土壌水は飽和していない)

3.2 地表流の発生頻度に人工林と自然林では差異が見られた！

平成 17 年の 7 月 9 日（時間降雨 42.5mm）のカメラによる地表流観察において、人工林ではカメラ 6 台（1 台の観察範囲は 1.5m×1.5m 程度：計 13.5m²）による観察で、少なくとも 12 カ所で観察されています。それに対して、自然林では、6 台のカメラでわずか 2 カ所に過ぎませんでした。これらの差異は統計的にも有意でした（表 1）。また、斜面上部でも人工林では地表流が観察されました。

以上のことは、豪雨時には、人工林では 13.5m² で 12 カ所（1 ヘクタール当たり 9,000 カ所）の頻度で、それに対して自然林では 2 カ所（1 ヘクタール当たり 1,000～2,000 カ所）と、手入れされていない人工林では地表流の発生が頻繁にとなっています。植生や手入れの違いで、土壌の保水力に差異が見られることが判りました。

→ 国土交通省の主張は否定され、ダム反対側の主張が立証されました。

表 1 端海野の人工林と自然林におけるカメラによる地表流観察結果

		発生個所数	
		斜面上部	斜面中部
人工林	地点①	1	2
	地点②	2	3
	地点③	1	3
自然林	地点①	0	1
	地点②	0	1
	地点③	0	0

人工林と自然林における地表流発生頻度の検定結果

地表流発生頻度は

人工林 ≧ 自然林

でした。（ $p < 0.01$ ：人工林と自然林の一元配置分散分析、

$p < 0.001$ ：斜面の位置を加えた二元配置分散分析）

3.3 平成16年は地表流の発生量に人工林と自然林では差異が見られた！

平成16年は、端海野の隣接する人工林と自然林で、平成17年はこれらの森林に加えて、清楽での幼齢林で地表流を斜面中部の土壌表面で捕捉する観測がされました。しかし、清楽は対照とする、隣接した自然林などで測定されていませんので、伐採や植林による影響を比較する基準がありません。そのため、結果の評価はできません。

また、平成17年の測定では、特に人工林では大量の土砂が雨水樋を通して、地表流測定機器（転倒升の測定装置）に流入し、正常な測定ができなかったため、これを評価の対象外としました（詳細は以下に述べます）。

平成16年の端海野の測定結果（貯水タンク水位による測定値で、人工林と自然林の地表流量の測定対象面積の違いを補正した値）について評価します。

平成16年の3回にわたる測定結果では、時間降雨量、または10分間降雨量との関係では、人工林は自然林よりも地表流量が多いことが示されました（図2、3）。

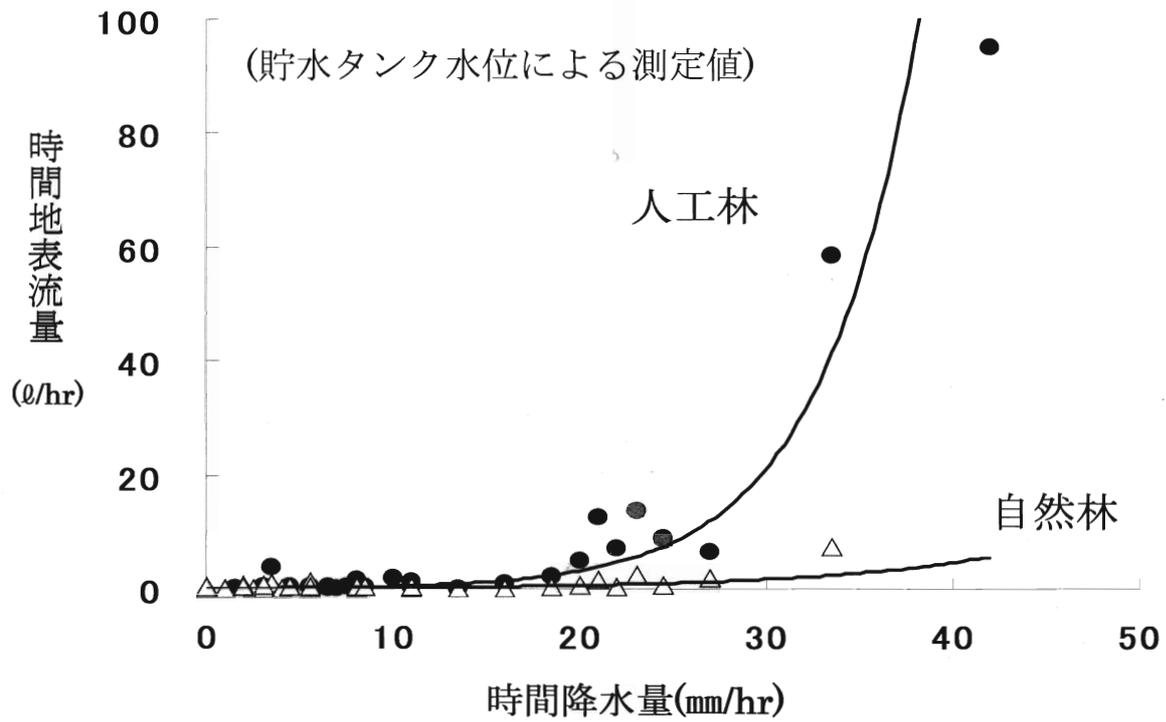


図 2. 人工林と自然林における 1 時間の降水量と地表流量の関係

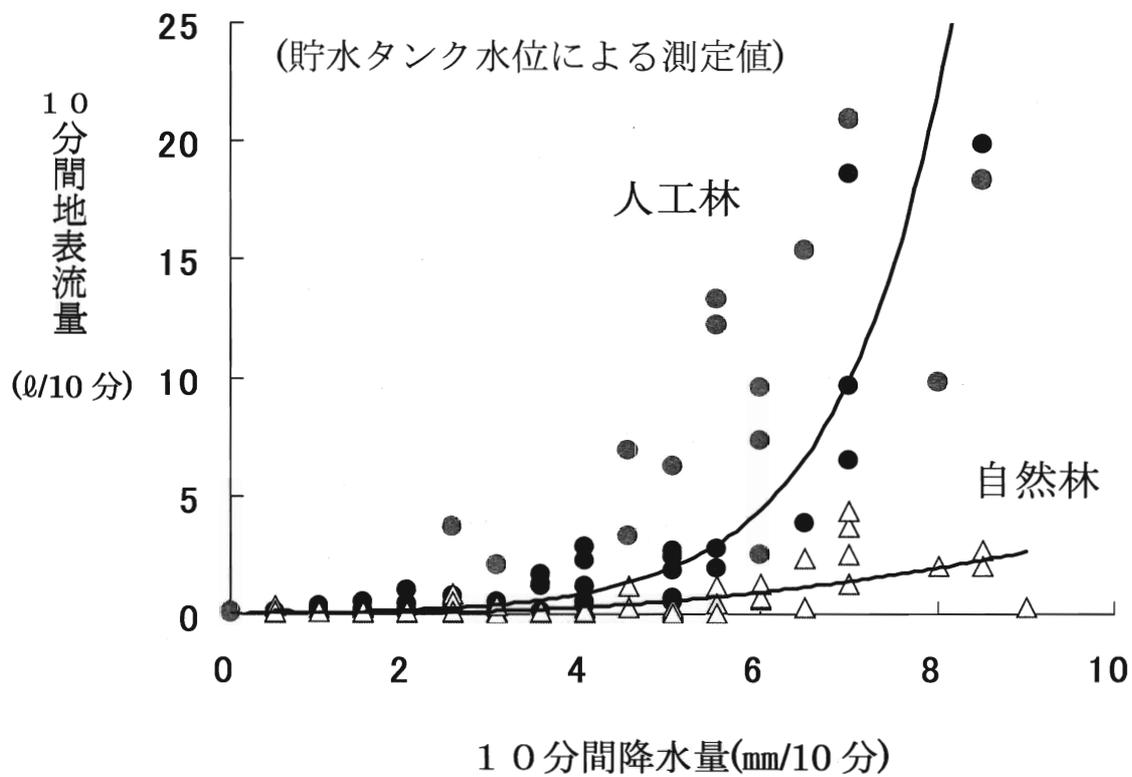


図 3. 人工林と自然林における 10 分間の降水量と地表流量の関係

4. 国土交通省による測定方法、測定運用上の重大な欠陥

端海野の相互に隣接する人工林と自然林では、平成 16 年に引き続き、17 年の 2 回の降雨において、地表流のカメラ観察と雨水樋による地表流捕捉測定がされました。

しかし、そこにおいて、以下のように国土交通省が代行した観察、捕捉作業に重大な欠陥（ミス？）があったことが判明しました。

4.1 カメラの解像度の劣化

ダム反対側はカメラ撮影に於いて、1 画面 40 万画素以上で撮影・記録することを仕様書で求めました。そのために、3 台のカメラの映像を 1 台の記録器（ビデオデッキ）で記録する場合、画像分割ではなく、時間分割で地表面の撮影の解像度を劣化させないように求めました。ところが、実際に国土交通省のカメラ撮影は時間分割ではなく、画像分割で録画したため、画像の解像度は 40 万画素の 3 分の 1 以下に劣化しています。そのため、地表の詳細が不鮮明で地表流の識別が極めて困難となりました（40 万画素のカメラでの撮影と比較すれば、今回の画像の解像度の悪さは一目瞭然です）。

今回、カメラ撮影結果について評価したのは、平成 17 年の 7 月 9 日の降雨についてです。平成 16 年の 3 回の観察降雨はすべて、台風時であって、落葉枝が地表面に堆積し、カメラでの観察は不可能でした。平成 17 年の 7 月 5～7 日の降雨は、録画時間が真夜中で、照明ライトの反射と上記した解像度の悪さで識別が不可能でした。

4.2 雨水樋による地表流捕捉システムの運用欠陥（ミス？）

国土交通省が提案した地表流捕捉システムは、地表流を捕捉し、これを雨樋で地表流量測定器を通して貯水タンクに導くシステムとなっています。ところが、地表流が地表流量測定器（転倒升による測定）に導入された際、直径 3cm 程度のフィルターを通過させますが、それが土砂や落葉などで目詰りしたり、完全にふさがった場合、地表流はあふれてしまいます。その場合でも、地表流量測定器をあふれた地表流がその下の貯水タンクに流れこみ、地表流量の測定に支障がないように本来は設計されていました。ところが、あふれた地表流が貯水タンクに導入される通路が実際は封鎖され（運用ミス？）、貯水タンクにそ

の大部分は導入されず、元の雨樋を逆上して、そこから野外に流出することが判明しました。

実際に、人工林では平成 17 年 7 月 5～7 日の降雨の際、このフィルターが土砂などで完全に目詰りし、その後、地表流量測定器は完全に作動しなくなりました（地表流が全く転倒升に導入されなくなったためです）。また、完全に地表流の導入が阻止されなくても、フィルターの目詰りで、導入量が制限された場合、大部分のあふれた地表流は、貯水タンクに導入されること無しに、野外に排出されることとなります。それ故に、特に平成 17 年の人工林の地表流測定値には、このあふれた地表流が含まれておらず、またその量も皆目わからないため、得られた値は全く信憑性がないと言えます。

その結果、図 4 に示すように、平成 16 年と 17 年では人工林の地表流量には大きな変化が生じてしまいました。

ところが、その時の自然林の地表流測定器にはフィルターが設置されておらず（運用ミス？）、人工林とは異なり、土砂が流れ込んでもフィルターによる目詰りが生じないことより、雨樋から導入された地表流の大部分は地表流測定器を通過して、貯水タンクに流れ込んだと思われます。その結果、自然林では平成 17 年の方が、平成 16 年よりも地表流量が増大している傾向が見られます（図 5）。このことは、平成 16 年の測定においても、17 年ほどではないにしても、雨樋によって捕捉された地表流の一部が下の貯水タンクに導入されず、外部に排出してしまった可能性があることも示唆しています。

以上のことは、地表流量の絶対的な評価は今回の調査からは困難で、平成 16 年の調査においても、せいぜい人工林と自然林の地表流量の大小という、相対的な比較がやっとで、それぞれの地表流量が降水量の何パーセントを占めるかどうかといった評価はできないし、すべきではないでしょう。

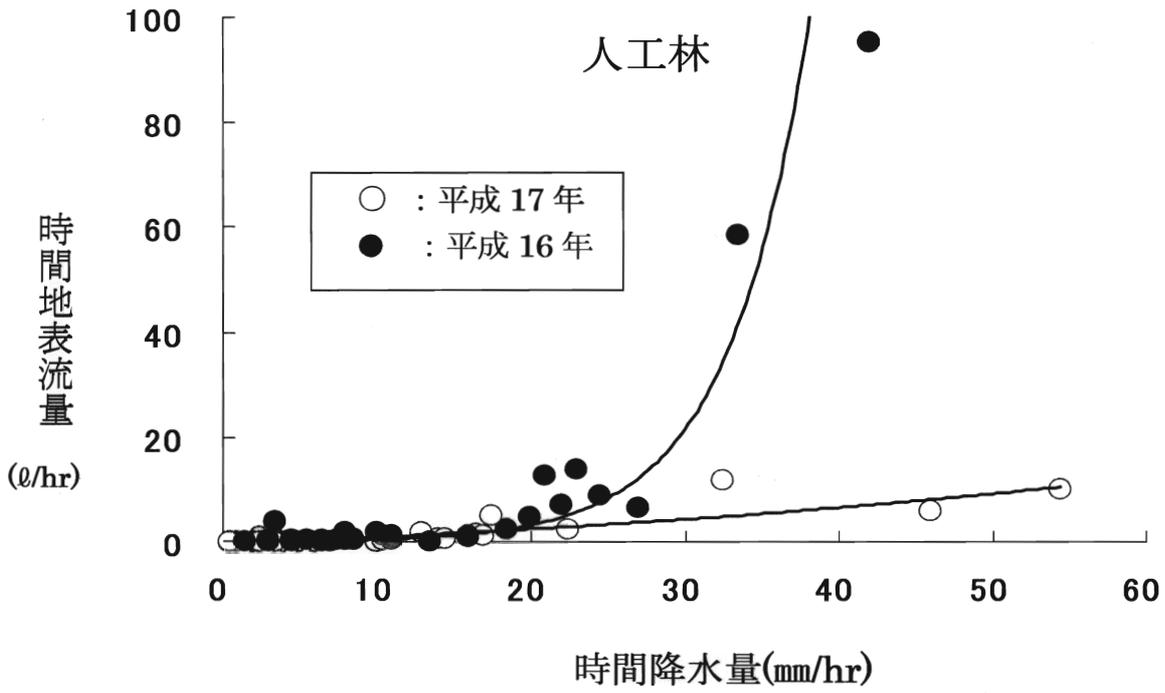


図4 人工林(端海野)における H16 年度と H17 年度の時間降水量と時間地表流量との関係

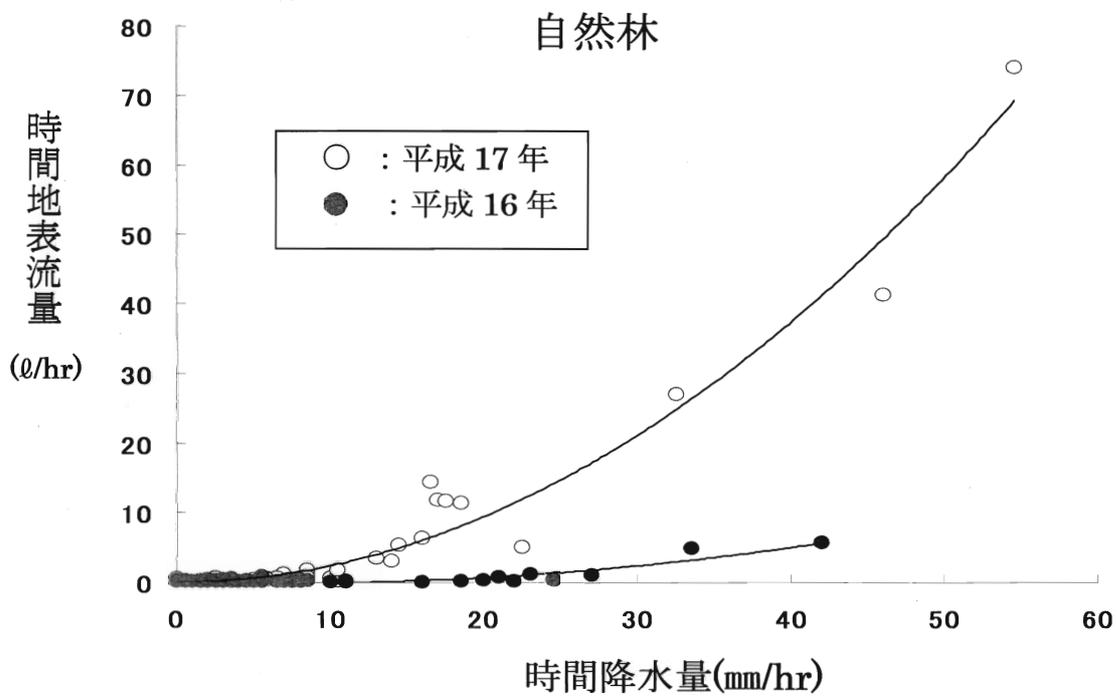


図5 自然林(端海野)における H16 年度と H17 年度の時間降水量と時間地表流量との関係

4.3 地表流捕捉地点における屋根の設置ミス (?)

平成 17 年における観測で、特に人工林で土砂が大量に流入した原因として考えられることは、地表流を最初に斜面中部の地表面で捕捉する際、地表面に設置した薄いトタン板で捕捉しますが、そのトタン先端の上部前面 20cm 以上に屋根が設置されたため（仕様書では屋根はトタンの先端直上までに限定）、平成 16 年の設置から 17 年の測定までの約 1 年間、その屋根の下の表土が雨水に直接触れることはありませんでした。そのため、表土は乾燥し、その物理的性質（特に粘性）が劣化し、流亡しやすくなっていたと思われます。そこに、晴天続きの後の豪雨（7 月 5～6 日、7 月 9 日）が到来したため、大量の地表流と土砂が一時に雨樋に流れ込んだと思われる。

平成 17 年の測定再開時に、ダム反対側の指摘でその屋根を縮小しましたが、縮小工事の直後の最初の降雨がこのたびの測定対象とした豪雨（7 月 5～6 日、7 月 9 日）でしたので、その土壌の物理性が回復する時間がなかったと思われます。

以上、カメラの解像度の劣化、地表流測定装置の運用ミス（あふれた地表流の貯水タンクへの導水阻止、自然林におけるフィルターの不設置）、地表流捕捉トタンの過大な屋根といった、国土交通省側の数々のミス(?)がこのように重なることは、単なる偶然とは考えにくいと言えます。このようなミスがなければ、地表流観察試験の結果は上記した傾向をより鮮明に裏付けることができたでしょう。

5. 結論

森林斜面においても、ある一定程度以上の降雨強度で地表流は発生します。その地表流は斜面中部、上部においては、土壌が雨水で飽和してから発生するというよりは、降水強度が土壌の浸透能を上回ることによって発生する Horton 型地表流であることが実証されました。そして、手入れの悪い人工林では、自然林と比較して有意に地表流の発生頻度が高いことが裏付けされました。それは、伐採や人工林化、手入れの程度による土壌表層の変化、すなわち表層土壌の浸透能および貯水能の変化などによって、もたらされていると思われま

す。
以上のことは、国土交通省の主張の根拠、基本的な考え方が否定されたことに他なりません。

すなわち、一斉拡大造林時期やその後の植林、そして森林の成長など、流域の森林の状態によって、その保水力が変化し、それが洪水時の河川流量に影響をもたらしていることを指摘する、ダム反対側の論拠が裏付けられたと言えます。

よって、基本高水流量については、流域の森林の状況を考慮して推定する必要があり、現在の基本高水流量は過大評価されている可能性があり、最近の洪水時データの解析や、さらに流域森林の保水力調査などを行うなどして、再検討すべきです。

調査区(端海野)
ビデオ撮影区

	A	B	C	D
1				
2				
3				
4				

16区画

林分	斜面位置	撮影区	地表流観察区画	観察確認時間	備考	
人工林	中	①	1) B2-C2	15:55~	B2からC2にかけて地表流が流れている。	
			2) B2-C2	15:55~		
			1) C2	15:51~		
	②	2) B2	15:51~			
		3) A3	15:54~			
		1) B2-B3	15:50~			
	③	2) B3	15:53~			
		3) B3	15:53~			
		上	①	B2-C2	15:52~	画面左上から右下にかけて、16時23~25分サワワガニが横切るが、その輪郭がぼやけて、以下に解像度が悪いが、示唆して る。 画面が全面を覆い識別が困難であるが、画面中央の雨滴の滴下が見られ、地表を流れる雨水の一部が枝を伝わって流れている。
	②	1) B3		15:50~		
		2) C3		15:53~		
	自然林	中	③	D2-D3	16:10~16:15	太枝の上又は下を伝わる雨水がその下方へと流れている。 画面右隅の地表流が林床が明るくなる16時10分ごろから識別できるようになる。
①				B3-B4	15:50~	
②				A2-A3	15:53~	
③		0				

調査区(端海野)

ビデオ撮影区

	A	B	C	D
1				
2				
3				
4				

16区画

林分	斜面位置	撮影区	地表流観察区画	観察確認時間	備考	
人工林	中	①	B2-C2 B2-C2	15:55~ 15:55~		
		②	C2 B2 A3	15:51~ 15:51~ 15:54~		
		③	B2-B3 B3 B3	15:50~ 15:53~ 15:53~		
	上	①	B2-C2	15:52~		
		②	B3 C3	15:50~ 15:53~		
		③	D2-D3	16:10~16:15		
	自然林	中	①	B3-B4	15:50~	
			②	A2-A3	15:53~	
			③	0		

調査区(端海野)

ビデオ撮影区

	A	B	C	D
1				
2				
3		1) ⋮		
4		2) ⋮		

人工林斜面中部
①

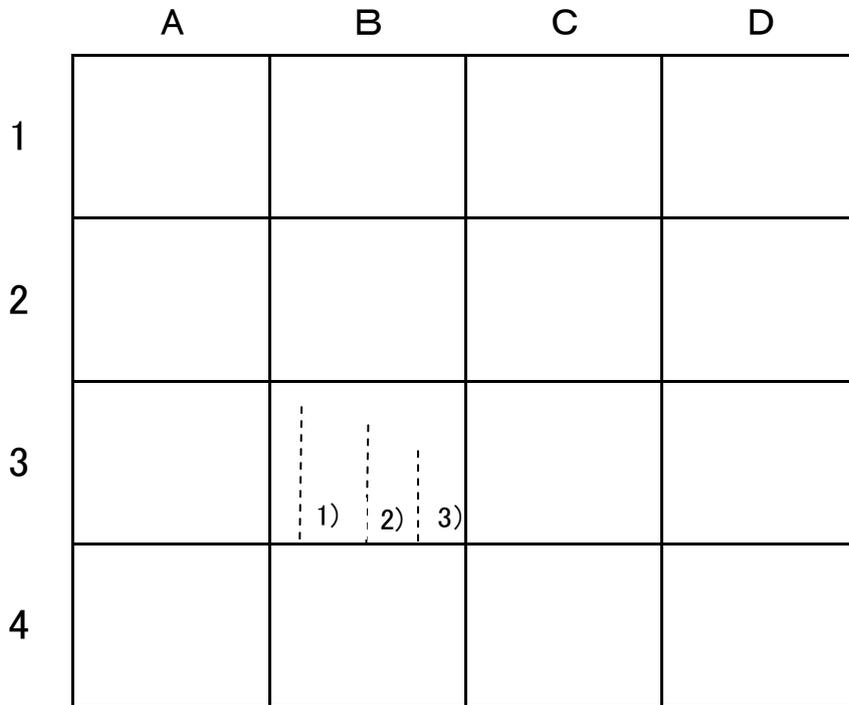
	A	B	C	D
1				
2		2) ⋮	1) ⋮	
3	3) ⋮			
4				

人工林斜面中部
②

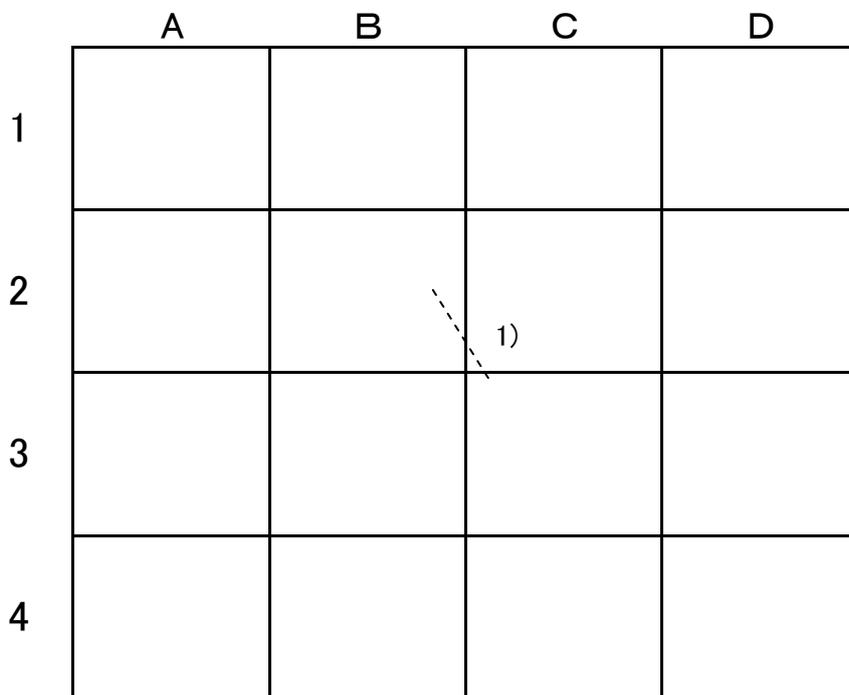
16区画

調査区(端海野)

ビデオ撮影区



人工林斜面上部
③



人工林斜面上部
①

16区画

調査区(端海野)

ビデオ撮影区

	A	B	C	D
1				
2				
3		1) ⋮		
4				

自然林斜面中部
①

	A	B	C	D
1				
2				
3	1) ⋮			
4				

自然林斜面中部
②

16区画

資料-14

平成18年1月25日

熊本県地域振興部

次長 上野 信一 様

国土交通省九州地方整備局

河川部 河川調査官 光成 政和

資料の提出について

平成17年11月25日の「森林保水力共同検証に関する専門家会議合意事項」に基づき、観測結果の整理（結果の評価）に関し、別添資料のとおり提出します。

「森林の保水力の共同検証」について

国土交通省九州地方整備局

1. 経緯等

「川辺川ダムを考える住民討論集会」（以下「住民討論集会」という。）は、平成13年11月に「川辺川研究会」が「約70億円で、街の川沿いに壁を立てることや、球磨川上流部の優良農地を遊水地化することにより「川辺川ダムに代わる治水対策が可能である」との記者発表を行ったことを契機として始まりました。そして、ダム推進側、ダム反対側及び熊本県の三者が進め方について協議しながら、「球磨川流域の治水対策として具体的に妥当な選択肢足りうるものが何か」について、対論形式で真剣に科学的な議論を行いました。その結果、住民討論集会の契機となった街の川沿いに壁を立てるなどの「川辺川研究会」の70億円の治水代替案は撤回されましたが、ダム反対側の中根周歩氏の「緑のダムは、・・・保水力が向上し、洪水時の川の流量を減らします」、「球磨川上流域の緑のダムの育成こそ、最も火急、有効な現実的手段」との主張については、“緑のダムは、保水力が向上し、洪水時の川の流量を減らします”の根拠が示されないままになっていました。

このような中、平成15年12月の第9回「住民討論集会」において、熊本県から「森林の保水力については、双方の学者、国交省も含めて、やり方の方法、保水力の共同検証について協議をしよう（第9回「住民討論集会」議事録P93）」との提案がなされました。これをうけて、九州地方整備局は、中根氏がそもそもどこにその主張の根拠を置いているのかの確認を含め、中根氏の主張について科学的な議論を行う必要があると考えてこれを了承しました。そして、その後2

年間にわたり、九州地方整備局、ダム反対側及び熊本県の三者で検証方法について相談しながら共同検証を実施してきました。検証にあたっては、事前に三者間で確認の方法について協議、調整を行い、三者が了解した方法で実施してきました。

以下に、ダム反対側の中根氏の主張、九州地方整備局の見解及び共同検証の中で明らかになった事実を示します。

2. 中根氏の主張について

中根氏の“緑のダムは、保水力が向上し、洪水時の川の流量を減らします”の主張の詳細は次のとおりです。

- ・ 伐採跡地の幼齢林や人工林では土壌表面の浸透能が低下しており、「洪水時には地表流が増え、河川に一時に雨水が流出してくるので、ピーク流量がそれだけ跳ね上がります」（第4回「住民討論集会」ダム反対側資料議事録P28）。
- ・ 今火急に求められるのは、流域の治山・治水機能のさらなる改善のための球磨川上流域の70%を占める人工林の手入れ、間伐であり、そうして針広混交林化され「流域全体の浸透能が一斉拡大造林以前のレベルに戻れば、現在のピーク流量をさらに約30%ほど削減すると予測されます」（第5回「住民討論集会」ダム反対側資料議事録P70）。

森林水文学の定説に照らすと、伐採跡地の幼齢林や人工林であっても、表層土壌の浸透能の低下により発生し得るのはホートン型地表流であり、中根氏の主張する「地表流」はホートン型地表流と解釈されます。しかし、その後中根氏は、この地表流にはA層側方流も含まれ、伐採跡地の幼齢林や人工林では土壌表面の浸透能が低下し、洪水時にホートン型地表流だけでなくA層側方流も増大し、これにより洪水のピーク流量が増大すると主張しています。

3. 九州地方整備局の見解について

九州地方整備局の見解は次のとおりです。なお、この見解は森林水文学の従来からの学説を根拠としています。

- ・ 森林土壌の浸透能は、樹種や樹齢によって大きくは変わらない。
- ・ 伐採跡地の幼齢林や人工林であっても、森林土壌の浸透能は治水計画で対象とするような降雨強度（球磨川の治水計画では約40mm/h）と比べて非常に大きい。このため、森林では（森林土壌が存在すれば）、通常、ホートン型地表流は発生しない。発生した場合でも局所的である。
- ・ また、森林水文学では、伐採跡地の幼齢林や人工林であっても表層土壌の浸透能の低下によりA層側方流が増大するとはしていない。
- ・ 森林の洪水緩和機能は主に森林土壌が存在するかしないかによっており、ハゲ山でなければ、すなわち森林土壌が存在すれば、森林の樹種や樹齢が異なっても、森林の洪水緩和機能に大きな変化はない。
- ・ 川辺川流域では、伐採跡地の幼齢林や人工林であっても、森林土壌の保全に努めてきており、森林の洪水緩和機能は昔からほとんど変わっていない。
- ・ 森林の機能は大きく、保全の努力は重要である。一方、森林保全による森林の洪水緩和機能の向上には限界があり、現状を大きく上回る効果を期待することは困難である。

4. 共同検証で明らかになった事実について

共同検証の一環として、川辺川流域で、5回の地表流観察試験を行いました。また、同じく共同検証の一環として、九州地方整備局、ダム反対側及び熊本県の三者の合意に基づき、中根氏の主張する地表流について、森林水文学の専門家である小川滋九州大学名誉教授からコ

メントをいただきました。これらの結果明らかになった事実は次のとおりです。

(1) 伐採跡地の幼齢林や人工林で、土壌表面の浸透能が低下して洪水時にホートン型地表流が増大するかどうかについて

・地表流観察試験の結果、代表的な人工林斜面や幼齢林斜面において、降雨の99%以上が地中に浸透したり、樹木で遮断された。地表の流れとして樋に捕捉された水量は、次のようにきわめてわずかな量であり、ホートン型地表流の増大は見られなかった。※

● H16台風18号時人工林：0.30mm/h （降雨強度42mm/hの0.71%）

● H17梅雨時幼齢林：0.021mm/h （降雨強度53mm/hの0.04%）

・ダム反対側の提案によるビデオカメラによる撮影で、いずれの降雨時においても、またいずれの斜面（人工林、自然林及び幼齢林）においても、地表流は見られなかった。

・また、小川滋九州大学名誉教授から、「森林地では、ハゲ山裸地斜面のような場所を除いて、ホートン型の地表流は、起こらないと考えられている」との意見をいただいた。

(2) 伐採跡地の幼齢林や人工林で、土壌表面の浸透能が低下して洪水時にA層側方流が増大するかどうかについて

・小川滋九州大学名誉教授から、「森林施業に伴う土壌劣化は、地表面付近で浸透能の低下、大孔隙の減少、土層厚の減少が起こることが報告されており、A層側方流の増大をもたらす要因とはなっていない」との意見をいただいた。

・また、「林分の違いによるA層側方流の相違を議論する場合は、浸透能の相対的な大小で評価するだけでは不十分」との意見をいただいた。

5. まとめ

共同検証の中で、「伐採跡地の幼齢林や人工林で、土壌表面の浸透能が低下して、洪水時にホートン型地表流やA層側方流が増大することは見られなかった」という事実が明らかになりました。この事実は、「伐採跡地の幼齢林や人工林では土壌表面の浸透能が低下しており、「洪水時には地表流が増え、河川に一時に雨水が流出してくるので、ピーク流量がそれだけ跳ね上がります」という中根氏の主張と異なっています。このため、中根氏の“間伐により森林が針広混交林化され、浸透能が戻り、現在のピーク流量をさらに約30%ほど削減する”との主張は根拠がありません。また、中根氏は、「緑のダムは、・・・保水力が向上し、洪水時の川の流量を減らします」という自らの主張を根拠づけるデータを示していません。

さらに、中根氏の主張は、「治水上問題となる大雨のときには、洪水のピークを迎える以前に流域は流出に関して飽和状態となり、降った雨はほとんど河川に流出するような状況になることから、降雨量が大きくなると、低減する効果は期待できない。」との日本学術会議の答申（平成13年1月）や森林水文学の定説と異なるなど学会の中でも認められているものではありません。

九州地方整備局としては、

- ・森林土壌の浸透能は、樹種や樹齢によって大きく変わらない。
- ・森林の機能は大きく、保全の努力は必要
- ・森林保全による洪水緩和機能の向上には限界があり、現状を大きく上回る効果を期待することは困難。

など、九州地方整備局の見解の根拠である森林水文学の従来からの学説があらためて確認されたことから、森林の保水力の検証については十分成果が得られ、地表流観察試験を継続する必要はないと考え、平成17年11月25日に、この旨をダム反対側に申し入れたところ、終結が了承されました。このため、共同検証については、九州地方整備局、ダム反対側及び熊本県の三者が合意の上終結することとなりました。

平成17年1回目 端海野地区人工林における観測データの取り扱いについて

平成17年1回目の端海野地区人工林の観測において、7月7日の現地調査で、転倒ます雨量計に土砂の詰まりを確認しました。

このデータに関する取り扱いについては、以下のとおり考えております。

- ①7月5日2:20までのデータは、降雨に応じて転倒ますの流量が正常に反応している
 - ・降雨の波形に、転倒ます流量の増減が一致
- ②同日2:30以降のデータは、降雨に対して転倒ますの流量が正常に反応していない。
 - ・降雨ピークと転倒ます流量ピークが一致していない (別紙参照)
- ③7月6日の降雨時には、転倒ます流量の値が示されていない。(別紙参照)

以上のことから、観測開始より7月5日2時20分までは観測機器は正常に作動しており、観測データは正常な値であると考えております。
 なお、それ以降の観測データについては、正常な値ではないと考えられます。

【正常な値ではないと考えられる期間】

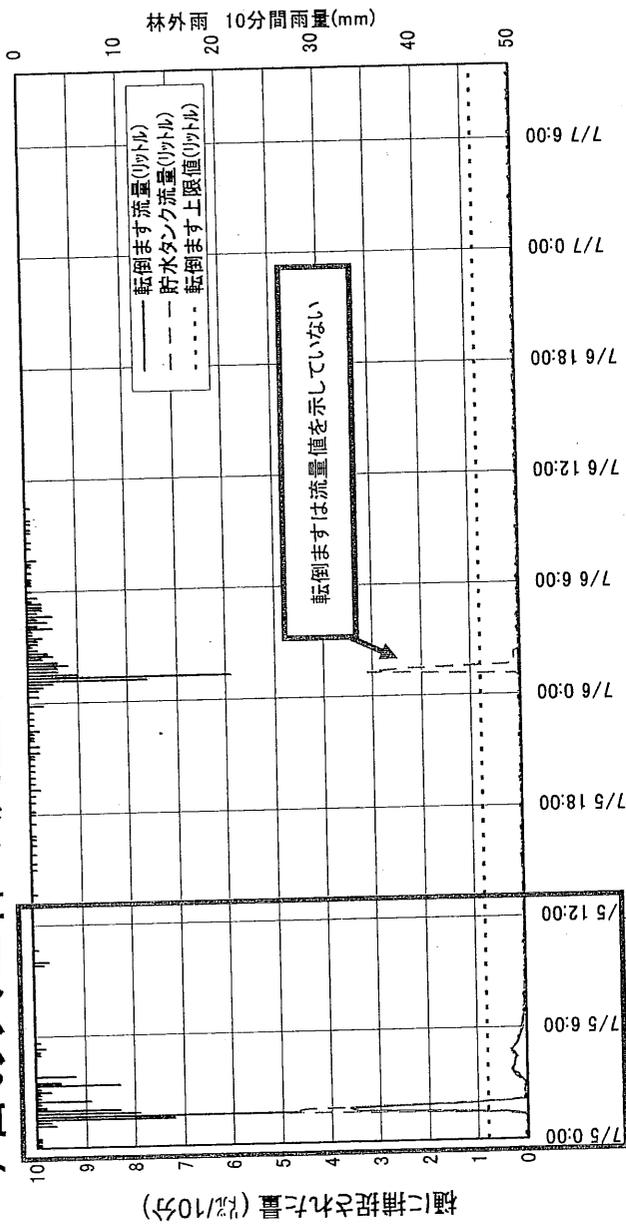
・平成17年7月5日午前 2時20分～7月7日午前10時00分

時刻	林外雨 (mm)	転倒ます流量 (l)
2005/7/5 0:00		
2005/7/5 0:10	0.5	0
2005/7/5 0:20	0.5	0
2005/7/5 0:30	0.5	0
2005/7/5 0:40	0.0	0
2005/7/5 0:50	0.0	0
2005/7/5 1:00	0.0	0.0157
2005/7/5 1:10	2.0	0
2005/7/5 1:20	1.5	0.0157
2005/7/5 1:30	14.0	0.3925
2005/7/5 1:40	26.5	3.454
2005/7/5 1:50	10.5	3.5953
2005/7/5 2:00	8.5	1.1461
2005/7/5 2:10	1.0	0.0314
2005/7/5 2:20	0.5	0.0471
2005/7/5 2:30	5.5	0.0314
2005/7/5 2:40	0.5	0.0471
2005/7/5 2:50	0.5	0.0314
2005/7/5 3:00	1.5	0.0157
2005/7/5 3:10	0.5	0.0471
2005/7/5 3:20	8.5	0.1256
2005/7/5 3:30	2.5	0.157
2005/7/5 3:40	0.0	0.2826
2005/7/5 3:50	4.0	0.2826
2005/7/5 4:00	0.0	0.2355
2005/7/5 4:10	0.0	0.2355
↓		
2005/7/7 10:00	0.0	0

正常なデータ

観測機器の不具合があったと考えられる期間

7月5日～7日の人工林の流量(転倒ます雨量計)のデータ



7/5 2:20～2:30
以降の降雨に対して転倒ます流量が正常に反応していないため、土砂の詰まりが影響していると考えられる。

