

武庫川流域委員会 総合治水ワーキングチーム

森林の理水機能について

2005年8月13日 奥西一夫

第2回ワーキングチーム会議で建設技術研究所より資料 - 1に基づいて総合治水対策検討に関連する資料の説明がおこなわれた。しかしこれはあくまで参考資料であり、今後の討議は委員からの発議を材料として展開して行くことになった。そこで森林の理水機能に関して意見を述べる。森林の理水機能という言葉は古くから使われている言葉であるが、日本学実会議答申（平成13年11月：地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について）の第編第12章の「(4)水源涵養機能」に挙げられている洪水緩和、水資源貯留、水量調節、水質浄化を合わせたものとほぼ同等である。ただし、洪水緩和機能についてはより厳密、かつ詳細に取り扱われるのが普通である。以下では森林の理水機能のすべてに言及することは出来ないが、私が知る範囲で、当ワーキングチームに必要と思われる事項について意見を述べる。なお、上記(4)項は第2回総合治水ワーキング資料 - 1に全文収録されているが、同答申の第編から森林の多面的機能に関する部分を抜き出したものを参考資料 - 1として添付する。

1. 総論

生態系は、それを構成する動植物の行動の結果として、生態系自体を保全する効果を発揮することが多い。生態学ではそれを一種の「戦略」と称するが、森林という生態系はそれ自身を保全するために雨水を蓄え、過剰な雨水を排除する戦略機能を持っている。また同時に生態系にとって有害な土砂の急激な移動を防ぐという戦略機能も持っている。具体的には、林床下に成層した風化帯を作り、根の活動を活性化すると共に、風化帯は表層ほど透水性が高く、空隙が多いという特性を通じて多くの雨水をそこにため込み、風化帯下部から徐々に地中水（地下水など）を排水する。その結果、雨が終わってからも森林土壌は湿った状態に保たれ、また下層の未風化帯が地下水の作用で風化され、土壌化して行く。土壌は徐々に侵食され、栄養ミネラルが更新されるが、根の緊迫作用などのため、根こそぎ侵食されることはない。一方排水される地中水の量は土壌中に貯留された水の量が多いほど増えるので、半自動的に過剰な雨水貯留は起こらないようになっている。さらに降雨強度が大きい場合は、雨水は土壌層の深部まで浸透できず、降雨強度が大きいほど土壌層の浅い部分から側方に流れて排除される。第2回ワーキング資料 - 1（以下ではワーキング資料1と略称）などに書かれている治水と森林の関係は、上記のことを考えると比較的容易に理解できる。しかし、重要なことが無視されたり、些細なことが極度に強調されたりもあるので、以下に各論的に述べる中で指摘する。但し間違いのない記述についてはここでは重複を避ける。

2. 降雨に対する森林の挙動

ワーキング資料1の16ページに図 - 1と図 - 2を用いた説明があるが、一部に誤りがある。図 - 1では初期流量と最終期の流量は無林地でも森林地でも変わらないように描かれているが、通常は両方とも森林地の方が多い。図 - 2ではAの部分で洪水流量が無林地では森林地よりもわず

かに多くなるように描かれているが、実際ははるかに多い。そして B の大部分では森林地のほうがはるかに多く、無林地ではゼロに近い。C の部分で無林地のほうが流量が多くなるように描かれているのは、例外的に起こることを一般的であるかのごとく描いているもので不適切である。たしかに砂漠地域とか雨量の少ない花崗岩山地などで、無林地の土壌が砂質で浸透能が大きい場合は森林があってもなくても地下水涵養量はほぼ同じで、森林の蒸散によって森林地の湧水流量が無林地よりも少なくなる場合が知られている。しかし、日本の大部分では無林地では地下水涵養量が極めて少なく、森林地では水源涵養機能があるので、湧水流量は森林地の方がはるかに多いのが通例である。このことは住宅開発によって森林が無林地に変わることによって降雨時以外は川が完全に涸れてしまう事例で確認できる。

ワーキング資料 1 の 17 ページにある図 - 1 は水文学の多くの教科書と共通した内容で、森林における水の流れをよく表している。しかしこの図を使って、誤解を招きやすい解説がなされていることが多いので訂正しておく。学術会議の答申にある「治水上問題となる大雨の時には、洪水のピークを迎える前に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」という記述が誇大に言い換えられて、森林には大洪水を緩和する機能がないような印象を与えていることには特に注意する必要がある。大雨の時には確かに土壌層がほとんど飽和する。しかし地中における水の流れが止まるわけではない。上記図 - 1 から分かるように、森林内には絶えず水が流れているのであって、生物体に含まれる水を除けば、ダムや貯水タンクのように止水状態で貯留される水はない。したがってどんな場合でも、蒸発散で失われる水量を除けば、降った雨はすべて河川に流出するのである。それでは森林の洪水緩和機能はどのように発揮されるかという点、浸透雨水は最終的には根から吸われるか下方に透水して地下水流として川に出るものの、土中に一時的に貯留され、一時的に貯留効果を発揮し、洪水ピークを緩和するものである。それに加えて、中間流や地下水流を経て川に出る流出形態は表面流に比べて到達時間が大きく、「遅らせ効果」と地下水帯などにおける貯留効果によって洪水ピークを緩和する機能がある。土壌帯が飽和すると、これら 2 つの洪水緩和機能のうち前者は失われるが後者は失われないのである。武庫川の基本高水流量を算定するために採用された準線形貯留型モデルなどでは、基本的に地表流と地中流を区別しないので上記のような 2 種類の洪水緩和機能を正しく評価できない。中川委員が「流出計算によって見えてくるものと見えなくなるものがある」と指摘したことの一例がここにある。

3 . 森林の保水能力について

上述のように、森林の保水能力は洪水緩和機能の一部でしかないことをふまえて森林の保水能力の定量的評価を問題にする。ワーキング資料 1 の 18 ページに「最小で 70mm、最大で 500mm 前後」とされ、表 - 1 で地質別の平均値が示されている（武庫川の有馬層群の流紋岩は花崗岩類に、堆積岩は中古生層堆積岩類に対応すると考えられる）。保水能力 = R_{sa} ではないが、この値と比較すると、甲武橋集水域に対する R_{sa} を 65mm とした（第 9 回流出解析 WT 参考資料 1）のは余りにも小さすぎる。さらに武庫川流域の 100 年確率 24 時間雨量が 247mm であることを考えると、100 年確率の雨が洪水ピークを迎える前に武庫川流域の山林が飽和してしまうとは、無条件には言えない。

4．緑のダムとコンクリートダムの比較

ワーキング資料1の13ページに引用されているような「緑のダムが整備されればダムは不要か」などというばかげたプロパガンダが国交省から執拗に出されているし、専門家でそのような議論を真面目にしようとしている人も少なくない。このような議論がいかにも馬鹿げているかは、そういう論者がその対偶である「ダムが整備されれば森林は不要か」という設問を決して自らに発しないことから明らかである（現実にはダム建設と抱き合わせに森林を開発し、どうしようもなくなっている事例が少なくないのだが）。もちろん森林はダムの代替品として発生したものではないし、ダムも森林の代替品にはなり得ない。森林は地球表面の自然な姿であってそれ以外の何ものでもない。そして人類は森林に依存し、森林を改変してその生活の糧を得てきたわけであるが、その結果地球環境に大きな影響を及ぼす事態になっており、森林をどのような形で保全するかということは地球環境に対するだけでなく、人類の生き残りのためにも、真剣に考えなければならないことであって、森林をダムの代替品としか見ないことは森林に対する侮辱でさえある。森林の存在によって洪水が緩和され、土砂流出が安定化されることは、別添参考資料-1を読み直すまでもなく、森林の機能のごく一部であって、そのすべてではないことを十分に理解した上で、総合治水においてわれわれは森林に対してどのようなアプローチをすべきかを考えるべきである。

5．森林施業と森林の理水機能

森林は自然林（長年自然状態に置かれ、人為的干渉がないか、人為的干渉の履歴が消えた森林）であることが一つの理想であるが、武庫川流域には自然林はほとんどないようであり、今それを望むことは不可能である。されば、森林を望ましい状態にするための人為干渉が必要となる。ここでは便宜上これを森林施業の一部とみなすが、武庫川流域ではこのような努力が鋭意おこなわれており、兵庫県もこれを協力をバックアップしつつあることは喜ばしい。武庫川流域の森林の実態については不完全ながらワーキング資料1の29ページ以降に示され、これに関する討議を通じて上記の森林改善にかかわる理念がかなり明確になった。一方、森林の理水機能に関する研究は明治初年以來、嘗々と続けられているが、最近までは治水という観点からの研究は少なかった。国交省は森林の治水機能を否定するのに熱心なためか、ワーキング資料の20ページに引用された資料に代表されるように、問題を矮小化したり、有用な資料をわざと無視したりしているように見受けられる。森林の「緑のダム機能」に関する本格的な研究成果取りまとめは、吉野川流域ビジョン21委員会の「吉野川可動堰計画に代わる第十堰保全事業案と森林整備事業案の研究成果報告書」の第 部がほとんど唯一のものである（報告書の概要版は<http://www.daiju.ne.jp/vision21.htm>を参照）。これに対する賛否両論がワーキング資料1で文献として紹介されている。武庫川流域委員会ではここでの議論を参考にすることも必要であるが、上記ビジョン21委員会報告書の内容の具体的検討にもとづく審議が是非必要である。

最近是个別的な研究論文がかなり増えてきているが、前述のように、これについて国交省のホームページなどを頼りにするのは木に依って魚を求めるようなもので、自分で収集するしかないであろう。私自身、この問題に少しだけ関係する研究をおこなってきたが、この問題について組織的な文献収集をおこなっていない。本 WT での審議の進行に遅れないように、私が持っている

範囲で資料を提出して行きたい。取りあえずは最近知った研究成果の一つを参考資料 - 2 として提出する。この研究では武庫川流域の人工林で最も面積の多いヒノキ林を対象に、間伐によって樹木密度を低くすると下生え（下層植生）が豊富になり、洪水抑制効果が大いことを示している。この研究は河川源流部の小プロットでおこなわれているため、中間流出の一部と基底流出がカットされた水文データを取り扱っていることに注意する必要があるが、洪水ピークに寄与する成分について明確な結論が出されている。さらに注意すべきことは、植生の状態が流出過程に及ぼす影響というのは、本質的には森林土壌の状態が及ぼす影響だということである。そして森林土壌は植生状態の積分効果として変化して行くもので、森林施業によって植生状態が変わると、流出特性にはそれに対応して直ちに化する要素と長年月経たないと変わらない要素の両方がある。

6．森林の土砂流出抑制機能に関連して

砂防事業においては、土砂流出をコントロールするためには森林が第一義的に必要だとの認識から出発し、森林の土砂流出抑制機能を高めたり、それを補完したりするのに必要がある場合に人工構造物（砂防施設）を作ってきた。そのため、「森林が整備されれば砂防ダムは不要か」とか、「砂防ダムがあれば森林は不要か」といった不毛で馬鹿げた議論が起こることは皆無であった。

森林が土砂流出抑制機能をもつことは「1．総論」で述べたとおりである。もちろん森林は土砂流出をゼロにするものではない。山地からの土砂流出が本当にゼロになると流域はいろいろな面で大変なことになるし、森林生態系自体もダメになる。問題は土砂流出を適度なレベル（具体的にはいろいろな議論が必要である：洪水で河床がリフレッシュされないと鮭は産卵できないなど）に制御することである。治水上問題になる土砂流出は次の二つに分けて考えるのが適当であろう。ひとつは流域の限られた部分に集中して急激な土砂流出が起こる場合であり、もうひとつは流域全体に亘って山腹崩壊や土石流が多発し、水系のほとんどすべての部分に急に土砂が流出する場合である。現在の砂防事業のレベルでは、前者については多分に後追いの的ではあるが対応可能である。しかし後者についてはほとんど対応できていない。後者のような広域土砂災害は火山地帯や花崗岩地域で深刻な災害を引き起こしており、武庫川近辺では六甲山地の土砂災害が該当する。ここでは例外的に集中的な砂防事業を実施することにより、この種の土砂災害の制御にある程度成功している。しかし十分な安全を確保できていない。武庫川流域では地質的にこのような広域激甚土砂災害が起こる可能性はかなり低く（絶対ないとは言えないが）特定支流でのみ、砂防事業が実施されているが、その結果、斜面崩壊や土石流をきっかけに、良好な森林を持つ山地が広範な荒廃地に転じて行くようなことはまず起こらなくなっていると言うことが出来る。これは武庫川に限らず、地道に実施されてきた砂防事業の大きな成果である。しかし、過去に土砂災害が起こっていなくて砂防事業もほとんど実施されていない小支流の流域で、将来斜面崩壊や土石流が起こる可能性は排除できない（巨大規模のものは極めて起こりにくいとは言えるが）。

以上の考察から、武庫川において、森林や砂防事業の土砂流出抑制機能に期待できることと期待できないことが明らかになる。土砂流出が極めて激しい流域では洪水のたびに川がつけ変わってしまったたり、「淵瀬常ならず」と言う状態になったりする例は世界的、全国的には少なくないが、武庫川ではそう言うことはまずない。だからこそ現在の武庫川の姿を前提に、数十年以上の将来

を見据えた治水計画が可能になっていると言うことができる。しかし土砂流出の計画レベルを設定して、それ以下に抑制することを治山・砂防事業に期待しても、それは無理である。その結果、河道の基本形が変わるような土砂流出はないとしても、河床変動はかなりの確率で起こると考えるべき（実際起こっている）であり、それへの対応が信頼性のある治水計画の前提となる。すなわち、河床変動の実態を調査し、水位流量曲線が大幅に変わるような河床変動を地先で抑えるための河床掘削やその他の河道工事が常におこなわれることが必要である。それがないと、計画上川が溢れないことになっていても、河床上昇のために溢れて水害が起こったりして、治水計画が無意味になってしまう恐れがある。もちろん治水計画を離れても、河床変動は治水、利水、環境上有害である。

7．森林の水資源貯留、水量調節、水質浄化機能に関連して

この課題については他の委員からの意見を基に討議するのが適切と考えるので多くを述べない。ただ、森林の洪水緩和機能が治水と関係し、水資源貯留、水量調節、水質浄化機能が利水、環境と関連するという縦割りの考え方をしてはいけないということだけ強調しておきたい。上述のように、湯水に備えて水を蓄え、かつ過剰の水は排除するという森林生態系の戦略の結果として、良好な森林は河川流量を安定化させ、適度な時間変化を与えと言え。ここで「良好な森林」とか「適度な時間変化」というのは結果論的な言辞であって、数量的には森林生態系や河川生態系の環境変化に対する順応性とその限界を見据えて決められるべきものである。

気候的地質的原因によって植生が極めて貧弱な流域では河川の基底流出は極めて小さく、洪水流量は極めて大きい。必然的に川幅は大きく、低水敷きの両側に砂堆状の洪水敷きが生じる。このような河川でも河川生態系がそれに順応し、人間生活もそのような環境に合致していると、治水、利水、環境上、何の問題も生じない。しかし人口が増加したりして、川幅を狭めて人間生活を広げたり、より多くの水を使うようになると大きな問題が生じてくる。一方、武庫川のようにそれとは対極的な状態があり、生態系も人間生活もそれに合致しているが、急に山地の植生が貧弱になって川の流量が大きく変動するようになるとまた別の大問題が生じてくる。要するに流域の自然地理的条件と人文地理的条件がバランスしていないことから種々の問題が生じるのである（人為的に作られる条件をどのように位置づけるかはさておく）。治水の大綱というのはこのバランスをいかに取って行くかという方針であって、河川構造物、流域対策、被害防止対策などの対応策はその大綱に沿って策定されるべきものであり、それぞれが独走したのでは著しい不合理を生じるおそれがある。

ここではかなり特殊な側面、すなわち森林を良好な状態にすると治水上どんな効果があるかに限って言及する。武庫川流域のように、自然が持つ許容度を超えて人間が侵入し居座ってしまっているような所では、人間の側の退却線を考えることが重要であるが、それだけで良しというわけにはとても行かない。どうしても自然に働きかけたり、人工的なものを作ったりして条件を改善する必要が生じる。その一手段として森林の改良を実施すると、その結果として武庫川の自然に多面的な変化が生じる。例えば降雨時に森林により多くの水が貯留され、無降雨時にそれが排出されるようになると、洪水流量は減少し、地下水量と基底流量は増加し、水質は良くなる。こういう変化だけを取り上げて、上述のバランス点のシフトを総合的に検討すべきである。例えばダムに依拠して利水していたものを取水堰や地下水くみ上げにシフトすると、ダムを利水目的

から治水目的にコンバートすることが可能になる。もちろん、バランス点のシフトはこれに尽きるものではないであろう。

この項の最後に良い水質とは何かについて、素人考えを述べる。河川管理では水質類型とか水質指標を用いて良い水質、悪い水質が区別されているが、それは水道水源としての適性であったり、公害の原因になる溶解物質の濃度であったり、いずれにせよ生態系に目配りした上で人が求める水質とはかなり乖離したものになってしまっていると言わざるを得ない。一方、専門家がこともなげに「水は使えば使うほどきれいになる」と言うのを聞いて私などはびっくり仰天してしまうのであるが、「水を使う」ということの本来の意味を考えるとよく分かる。これは村岡委員が言われる「水循環の連続性」という概念などを入れるときちんと説明できるように思われるが、これは村岡委員にお任せして、少し論理が飛躍することをお許し頂きたい。大陸の大河の下流に行くと、日本人は「水が汚い」と感じてしまうが現地の人には決して汚いとは思っていない。そして公害は起こらず、生態系も豊かで、人間生活も豊かである(そうでないケースももちろんある)。このことだけを考えても、水をきれいな水から汚い水に一例に並べることが出来ず、大まかに言えば環境とバランスした水質が「良い水」だと言える。森林は水を浄化すると良く言われるが、森林に降る雨水はほとんど蒸留水に近い水であり、人為的原因によって雨水に含まれる有害物質が森林で除去される効果はあるが、森林は水に不純物を付加して河川水質を作り出す。一般に適用されている河川水の水質指標を適用するならば、森林は確実に水を汚している。森林が水に付加する物質は一般的に言うと、森林にとって不要となった老廃物や過剰になって廃棄すべき物質である。しかし、河川の生態系はそのような条件下で生まれ、そういう条件に適応しているので、現存する河川生態系にとっては、それは望ましい水質であって決して汚れた水ではない。河川生態系もまた、食物連鎖などを通じて河川水質を変えてゆくので、人為的影響がなくても河川水質は上流から下流にかけて変化してゆく、それに適応して河川生態系も上流から下流にかけて独特の変化を見せてゆく。結局どの場所で川を見ても水はきれいだということになる。人間による水利用も多少とも水質を変化させることは必然であるが、水循環の連続性を含めて、水利用に際してしなければならないこととしてはいけないことを心得れば決して水を汚すことにはならず、かえって水をきれいにすることになるのではないだろうか。もちろん今日の武庫川の水は間違いなく汚い。これを何とかしなくてはいけないのは当然である。しかし、水を使えば水は汚れるし、それは致し方ないことだ、ということをお前提にして考えていっても水問題は行き詰まるだけではないだろうか。

8 . 武庫川流域委員会における総合治水の検討について

ワーキング資料1の準備作業に対して敬意を表するものであるが、その説明を聞いて全員が感じたと思像するが、やはり出来合いの「総合治水」をポンと持ってきて武庫川に当てはめようとするのはとても無理な話である。労力がかかるが、みんなで武庫川の総合治水を手作りで作り上げてゆく他はないであろう。そしてそのような手作りのなかで、この資料は貴重な検討材料として活用されると信じる。

(総合治水WT参考資料)

地球環境・人間生活にかかわる農業及
び森林の多面的な機能の評価について

(答申)

(第Ⅲ編の抜粋)

平成13年11月

日本学術会議

(抜粋作業：ページ番号は編集後に打ったものであり、原資料のページ番号とは一致しない。章、節の番号と見出し、および本文は変えていない。但しpdf形式からdoc形式に変換する際にレイアウトやフォントが変わっている)

Ⅲ 森林の多面的機能

森林の多面的機能要旨（略）

- 1 森林の現状と多面的な機能（略）
- 2 森林の原理（略）
- 3 森林の多面的な機能の種類と意味

森林の多面的な機能は以下のように分類される。

- 1 生物多様性保全機能
- 2 地球環境保全機能
- 3 土砂災害防止機能／土壌保全機能
- 4 水源涵養機能
- 5 快適環境形成機能
- 6 保健・レクリエーション機能
- 7 文化機能
- 8 物質生産機能

それぞれの機能の意味は以下のものである。

まず、(1) 生物多様性保全機能は、通常、遺伝子の保全、生物種の保全、生態系の保全を意味し、従来の鳥獣保護や天然記念物の保護、あるいは野生動植物の保護を含む、森林の本性である生物性そのものにかかわる概念である。特に新しい生物多様性保全の概念においては、多様な生物の生育を可能とする生育地を含めた生態系の多様性の保全を含む。本機能は将来の種資源・遺伝子資源の利用を保障すること、あるいは木材を含めた生物資源の価値、森林景観の価値を高め、ひいては森林が人々の感性に訴える価値をも高めるという実用的な意味も持っている。また、森林の生物多様性をモニタリングすることによって、自然環境の現状・動態を知ることができる。さらには、生物の進化の一つの到達点であり、4億年にわたる陸域生態系の進化の結果として生まれた人類の“ふるさと”である「森林」が多様性を維持することは、生物進化の歴史を踏まえた現状を、その環境も含めて維持し、その将来を保障する根源的な意味を持っている。したがって、この機能を見捨てることは、生物あるいは地球環境の進化の方向を見捨てることであり、人類の存在ばかりでなく生物の存在の否定にもつながる倫理的な意味も持っている。

1 地球環境保全機能、(3) 土砂災害防止機能／土壌保全機能、(4) 水源涵養機能は、いずれも森林が自然環境の構成要素として機能していることから発揮される物理的な機能であり、人類の生命・財産の保護、生活の維持に必要な本質的機能と言え。すなわち、森林生態系の活動に伴う二酸化炭素の吸収と放出、蒸発散作用は、炭素循環や水循環を通して地球規模で自然環境を調節するもので、日本の森林もその一翼を担っている。一方、土砂災害防止機能や土壌保全機能は、表層土の移動にかかわる地域環境の構成要素として森林が機能するものであり、後者は森林の養分循環を通して生産力の維持に関わる。さらに、水源涵養機能は、洪水の緩和や水質の浄化など、森林が水循環に関わる地域環境の構成要素として機能した結果、発揮されるものである。

2 快適環境形成機能も、大気浄化や気温の緩和など、森林が大気やエネルギーの循環にかかわる地域環境の構成要素として機能することにより発揮されるものであるが、都市での騒音防止やアメニティー維持のために積極的に利用される部分を含む。したがって、機能の大部分は生活の向上に必要な物理的機能と言え。

3 保健・レクリエーション機能は人々（個人）の肉体的、精神的向上にかかわる機能である。諸機能の発現は森林空間の物理的特性や森林の視覚的特徴、森林の化学性にかかわるほか、精神的向上に効果があるのは、日本人が森と接してきた民族からなること（次項）も関係する。

4 文化機能は、人々（個人、民族）の精神的、文化的、あるいは知的向上を促す機能であり、か

つての森の民・日本人の歴史性・民族性・地域性に関わる機能である。日本の気候・風土は豊かな地域性を生み出してきたが、地域性の形成には風土とともに文化的要素が深くかかわっていることは否定できない。したがって、森林は風土の構成要素としても、歴史性・民族性に大きく影響する要因としても地域性の形成に特に重要な役割を果たしている。また、本機能の存在は、森林が単なる“もの”として有用なだけでなく、“こころ”に対して大きな影響を与える存在だという根拠となっている。

最後に、(8) 物質生産機能は、森林の利用に関わる主に経済的な機能である。しかし、この機能を発揮させるためには、物質を森林生態系から系外に取り出す必要がある。したがって、一時的にせよ森林生態系の活動が発揮する環境保全機能等を損なう可能性がある。すなわち、環境保全機能等とトレードオフの関係にある。環境保全機能等を損なわない利用法、言い換えれば、森林の環境容量の範囲内で当該森林を利用することが「持続可能な森林の利用・管理」であり、(7) までの機能とは異質の原理に基づく機能といえる。

4 森林の多面的な機能の特徴

さらに、環境保全機能などで森林のみが単独で作用する現象が少ないことから分かるように、他の環境の要素と複合して発揮される機能も多い。また、森林の異なる部分、例えば、樹冠と土壌層では作用が異なることもある。これらは、機能の重複発揮性とともな、森林の機能の評価を難しくしている特徴でもある。

なお、森林の機能には、管理のために重視する順番のようなものも存在し、森林の機能の「階層性」と呼ばれている。すなわち、生物多様性保全機能や土壌保全機能、バイオマス生産機能などが基礎的な機能であるのに対し、水源涵養機能や快適環境形成機能、木材生産機能などは前者の機能の発揮を前提として発揮されることが多い。さらに、文化機能や地球環境保全機能の発揮は、上述した多様な機能の発揮や広域にわたる森林の存在を前提として発揮される機能であると言することができる。

5 機能の価値の歴史性と地域性 (略)

6 農地・農村との関係、都市との関係 (略)

7 経済のグローバル化と林業 (略)

8 21世紀社会の展望と森林 (略)

9 林業経済学における森林の評価 (略)

10 多面的な機能の評価の新しい視点

1) 評価の基本姿勢

これまでの議論を総括して、森林の多面的な機能の評価に対する基本姿勢を整理する。

まず、森林の原理やその多面的な機能の意味についての説明で述べたように、森林は人類や地球の生物にとって、あるいは日本人にとって、不可欠なもの、かけがえのないものであり、全体としては、単に定量評価の対象とするよりもより「根源的な意味を持つもの」として認識しなくてはならない。

具体的には、生物多様性保全機能や文化機能は、人類や生物にとって、あるいは日本人にとって「森林の根源性」に基づいて発揮される機能であり、本質的に既往の定量評価には耐え得ない機能である。したがって、これらの機能に関しては、その全体的意味を説明し、具体的事例を挙げてその価値に対する理解を図ることが適当である。しかも、このような機能が存在するということは、森林の多様な機能の中に仮に定量的評価が可能な機能があったとしても、それらは多面的な機能の一部を評価したにすぎないことを示している。

森林の機能は、総合的に発揮されること、あるいは、環境保全機能などでは他の環境の要素と複合して発揮されること、文化機能などでは人間の精神的・文化的、あるいは教育的活動と複合

して発揮されること等の基本的特性をもっている。したがって、森林の価値を個々に評価し単純に集計するなどの行為自体が森林の本質を歪曲して伝えることになる可能性がある。しかも、ある機能の評価した場合、往々にしてそれ以外の機能が無視される傾向がある。このことは森林の多面的な機能の個別評価の際に、実際に最も危惧される点である。

2) 定量的評価の指針

しかしながら、森林の多面的機能の一部について、定量的評価が行われていることも事実である。例えば、森林で覆われた丘陵地を開発して宅地を造成する場合などに設置が義務付けられている防災調節池の容量計算は、ほぼ森林の洪水緩和機能の定量的評価とみなせるが、既に30年以上の実績がある。また、気候変動枠組条約の締約国会議で議論されている二酸化炭素の「森林吸収分」の計算は、森林の多面的機能の定量評価のホットな実例である。ほかにも、とくに物理的な機能には定量化が可能なものはあろう。そこで、定量化に当たっての問題点を整理する。

1 森林は立地条件等の違いにより発揮する機能の種類も大きさも異なる。したがって、国土保全、水源涵養、物質生産などの機能では、日本全国の森林を対象とするマクロな評価においても、(定性的評価においても、)原則的には類似する林分ごとの機能の評価を積み上げて行うべきである。しかし、実際にはデータが未整備であるという壁がある。つまり、評価結果はデータの精度に依存する。

(2) また、特に人工林では、伐採や更新、成長の過程(年齢)により森林の状態が著しく変化するので、時間的な平均の状態を想定したり、平均できる地域の

規模を特定する必要がある。しかし、林木の成長は長期間にわたるので、その間に、第5節で述べたように、価値そのものが変わる可能性が大きい。したがって、ある時点、すなわち、現時点で評価する方がよいとする意見がある。

2 各種機能の評価にあたっては、基準referenceをどこに置くかを明確にしなければならない。これまでの評価では、漠然と森林のない状態(裸地)を基準とするケースが多いが、原生林の状態(潜在植生)が想定されている場合もある。さらには、人間の努力によってもっと高いレベルが想定可能であるとも言われる。しかし、人間の営為によって遷移が停止・安定した二次林(里山など)では、「放置したら」、すなわち管理を放棄したら何が悪くなるかを明確にして、現在の状態を選ぶべきである、と言う意見もある。

原則的には「最初に安定的な森林があった」という意味の現存植生が基準となろう。森林があることにより発揮されていた機能が、何らかの作用を受けて森林が消失あるいは変質した場合、当該機能がどの程度変化したかは原状と比較するのが最も明確だからである。しかし、それを表現する場合は、一般的には森林がない状態を基準にする方が理解され易い。すなわち、日本でもかつて森林のない状態を経験しており、途上国では現に森林がない状態が存在する。他方、水質浄化機能のように、開発によって森林が農地化あるいは都市化される場合を想定し、それら他の土地利用と比較すると理解されやすい場合もある。

結局、各機能一律に基準を設定することには無理があり、“人々が各機能を正確に理解する”ことを優先すべきであるので、個別機能ごとに最も理解されやすい基準を明示して評価するのが妥当のようである。このことは、基準が異なる評価結果を積算することの無意味さを示唆している。

1 一部では評価法を明示して貨幣評価が行われている。しかし、貨幣評価の現状は、「適当な代替物を見出し得ない」、「どうい真の価値評価に至らない」、「どのような評価結果であっても、結果が一人歩きしてしまう恐れがある」等の表現で示される段階である。つまり、現状では貨幣評価を行い得る機能とそうでない機能を峻別して価値の意味づけを深化させていく必要がある。したがって、定量的評価、特に貨幣評価を行う場合は、森林の多面的な機能の本質を十分理解し、評価に関する諸々の事情や評価法に関わる諸特性をも十分理解した上で、評価の際の仮定と基準を明示して行うことになるであろう。

2 一方、現在の物理的定量評価などの現状を見ると、評価の精緻化が必要である。その場合、①地域の細分化により評価結果の向上を図る（データの整備が先決）、②機能発揮メカニズムの解明促進により評価結果の向上を図る、③評価法の開発・改良により評価結果の向上を図る、④複数の評価法を適用する、等が考えられる。

11 今後の課題（略）

12 森林の多面的な機能各論

第3節に示した分類に従い、それぞれの機能について、「内容と機能発現のメカニズム」及び「定量的評価の可能性及び機能の価値を理解するためのコメント」を示す。

（1）生物多様性保全機能

遺伝子保全

生物種保全

植物種保全

動物種保全（鳥獣保護）

菌類保全

生態系保全

河川生態系保全

沿岸生態系保全（魚つき）

樹木を中心とする生物群集とそれを取り巻く無機的環境からなる森林生態系は、地球上で最も大規模で複雑な生態系で、多数の植物種、動物種、菌類が生存している。また、無機環境の相違に応じたさまざまなタイプの森林が存在する。これらが遺伝子レベル、種レベル、生態系レベルの生物多様性を保全している。また、そのような森林の存在は、流域の水循環や物質循環を通して、河川生態系や沿岸生態系の形成・保全にも役立っている。

森林には、人間活動の影響をほとんど受けていない天然林、伐採などの人間活動の結果でできた二次林、もっぱら木材生産のために単一の樹種を植栽した単層・複層の人工林など、さまざまな種類があるが、それぞれが保有する生物群集は固有のものであり、「生物多様性の保全」のためにはこれら多様な森林をそれぞれ維持することが大切である。すでに長い時間的経過（歴史）を持つ里山の二次林は天然林では見られない新たな生態系を生み出した。スギやヒノキの人工林は、「拡大造林」の時代に無節操に奥山の天然林を伐採して造成されたものがあるため、その限りでは天然林の生物多様性を減少させた。しかし、たとえ単層の人工林といえども、植栽時に一時的に低下する生物多様性のレベルも高齢林では天然林に近いレベルに回復すること、そして、他の土地利用、例えば農耕地に比べると、はるかに生物多様性は高いこと等も認識する必要がある。

また、いわゆる天然記念物には森林に関わるものが多く、具体的に「地域性」の創出に貢献している。

現在までに野生生物の種数は世界で約180万種が知られているといわれる。全生物の種数の推定値となると5,000万種という記述もある。植物を例にとると、世界で30万種、日本では約5,500種が見られるという。これらの数字は文献によりまちまちであるが、森林はその大半を保有していると言われている。また、絶滅危惧種の種数や個体数、あるいは、ある種の動物の個体数は一部調査されており、この意味で生物多様性保全機能の種レベルでの定量的評価が全く不可能ということはない。

しかし、生物の多様性は、地球上に生命が誕生してから生物が進化して多くの種に分化し、それらが複雑な相互関係を持ちながら生きている様子を実際に示しているものである。そして、その価値には、現在その価値が認められていない種であっても将来人類に必要と認識されるようにな

る可能性が含まれている。また、森林は長い地球の歴史を通して形成されたものであって、その存在そのものが、人類が歴史的な存在であることの証となっている「かけがえのない存在」である。

したがって、森林の生物多様性保全機能の全体は、生物進化や人類生存の意味、さらには現自然環境の意味にもかかわる根源的な機能である点も含めて、特に現在という時点で貨幣評価を行うことは不可能であるといえる。

しかしながら、植物種のあるものは園芸品種の原種として、また、植物に限らず、いろいろの種や遺伝子が薬品開発の原材料として注目され、市場価格を形成することがままある。さらに、多くの絶滅危惧種や希少種の保存にかかる費用は、それらの個体数の減少に反比例して増加し、場合によっては多額の費用と大きな努力が費やされることはトキやアホウドリの例でよく知られている。

(2) 地球環境保全機能

地球温暖化の緩和

二酸化炭素吸収

化石燃料代替エネルギー

地球気候システムの安定化

緑色植物である樹木は、大気中の二酸化炭素を吸収して光合成を行い、大気中に酸素を放出するが、一方では呼吸により二酸化炭素も放出する。また、土壌微生物も有機物を分解して二酸化炭素を放出する。その結果、「極相」と呼ばれるような安定した森林では、二酸化炭素に関しては、吸収と放出が均衡する状態に到達する。すなわち、二酸化炭素が森林に吸収・固定されるのは、森林が全体として成長過程にあり、蓄積が増加している期間(吸収が放出より多い)だけである。当該森林の木材生産を考慮する場合は、その森林から生産され、人々が使用中の木製品が保持している炭素量も含めて、炭素の貯蔵量が増加している期間が対象になる。

しかし、地球の森林の多くが過去に伐採され、あるいは放牧等で衰退したため、そのような場所に残存する森林や新たに植栽された森林は、現在、先進国を中心にむしろ蓄積を増加させている。したがって、そのような森林では、成熟期に至るまでの間は二酸化炭素吸収機能を発揮し得る。

二酸化炭素は温室効果ガスであり、大気中の二酸化炭素濃度の増減が地球の気温を上下させるメカニズムはよく知られている。そして、森林の二酸化炭素吸収効果が高く評価されるのは、もともと大気中の二酸化炭素の総量が少なく、その微小な増減が気温を大きく変動させるため、森林の取扱いによって変化する二酸化炭素の量が無視できないからである。したがって、伐採によって減少する場合も、植栽・成長によって増加する場合も評価の対象となる。

一方、酸素は大気中に21%近く存在し、今のところ森林からの放出量が影響する地球規模の自然現象は知られていない。したがって、ここでは地球環境保全機能としての酸素供給機能は採りあげなかった。森林が酸素を放出しているのは事実だが、それを容易に高純度の酸素として利用することができず、他の面でも大きな役割は期待できないからである。

ところで、森林バイオマスが燃料として使われる場合、市場価値を持つ燃料としての価値のほかに、化石燃料エネルギーを代替することによる価値を認めてよい。すなわち、森林バイオマスエネルギーの消費は、新たな森林の光合成によって取り戻せる循環型エネルギーの消費であり、その分、化石燃料を消費させないことによる二酸化炭素放出防止効果が期待できる。

上述のような地球温暖化緩和機能のほかに、森林にはあまり知られていない地球環境保全機能がある。すなわち、森林の林冠はその地域のアルベド(反射率)を小さくし、樹冠遮断蒸発と光合成にともなう蒸散作用によって地域の蒸発散量を大きくする。したがって、森林の広がりは大気大循環にも影響を及ぼし、地球気候システムの安定化に役立っている。温暖化は将来の話であり、しかも本質的には化石燃料の消費に起因する話であるが、森林の消失による気候システムの不安定化は現在の話であり、注意を要する。

日本の森林の二酸化炭素吸収量は森林の成長量、国産材の消費量等から定量評価が可能である

う。化石燃料代替分としての森林バイオマス消費量も推定可能であろう。このうち、林野庁は、森林の成長量をもとに二酸化炭素吸収量を97,533千トン/年（1995年時点）と推定している。一方、日本は列島状の島国なので、周囲の海面の影響が大きく、地球気候システムの安定化に対する日本の森林の効果は小さい。

（3）土砂災害防止機能／土壌保全機能表面侵食防止表層崩壊防止その他の土砂災害防止
落石防止
土石流発生防止・停止促進
飛砂防止
土砂流出防止
土壌保全（森林の生産力維持）
その他の自然災害防止
雪崩防止
防風
防雪
防潮など

森林土壌は孔隙（間隙）に富む上、落葉落枝や林床植生が土壌の表面を保護するので、雨水はほとんど地中に浸透する。そのため、地表流が発生する裸地面に見られる「表面侵食」はほとんど発生しない。また、日本の森林の大部分は山腹斜面上に存在するが、そこでは樹木の根系が表層土を斜面につなぎ止めることによって「表層崩壊」を防いでいる（基盤岩や厚い堆積層が崩れる深層崩壊は防げない）。しかも、豪雨の際に発生する崩壊はほとんど表層崩壊なので、「森林には侵食防止機能がある」と言われる。さらに、平地の少ない日本では斜面の下部が生活の場となっていることが多く、森林は土砂災害防止機能を持っていると言える。

地形学的にみると、これらの侵食現象は土地の隆起と平衡しているとみられ、森林（植生）は侵食形式を表面侵食タイプからマスマーブメントタイプに変えているにすぎないとも指摘できるが、人間の寿命や、かつて森林が荒廃し土砂災害が多発した数十～数百年の時間スケールで考えると、森林は土砂災害防止機能を持つと評価してよい。

森林は、条件がよければ落石や土石流の防止、海岸での飛砂の防止も可能である。また、侵食された土砂が下流に流出すると河川の氾濫や濁水などの被害をもたらすので、土砂流出防止も重要な機能である。しかし、流出土砂量が極端に減る時期が続けば、河床低下や海岸侵食も起こる。

以上は森林の侵食防止機能を災害防止の観点から評価したものであるが、表面侵食防止に代表される表層土の保全は有機物に富む土壌層が流出するのを防ぐものであり、森林の生産力の維持に極めて有効である。したがって、森林生態系において極めて重要な養分循環の観点から、森林の「土壌保全」機能を別個に評価することができる。

森林にはその他の自然災害防止機能として、雪崩防止や防雪、防風、防潮等の機能がある。雪崩防止林、防雪林、防風林等はこれらの機能を積極的に利用して災害を防ごうとするものであり、防災林と呼ばれる。これらはむしろ人間が森林に強く働きかけることによって生まれる機能といえる。

なお、土砂災害防止機能とその他の自然災害防止機能、さらに水源涵養機能は、併せて森林の「国土保全機能」と呼ばれる。

本機能は全体的に物理的メカニズムによって発現される機能なので、データの量と精度に応じた定量的評価が可能である。表面侵食防止機能や表層崩壊防止機能の場合、評価は健全な天然林を基準として行うのが妥当であるが、適切に管理された人工林でもほとんど変わらない（健全な天然林でも表層崩壊は多少発生する）。機能の最大ポテンシャル量は風化土層の量であろうが、例えば、既往最大崩壊発生面積率は最大でも10%程度（数十km²の流域レベルで）なので、荒廃山地で発生した土砂災害による崩壊土砂量や流出土砂量の調査結果、あるいは現地斜面での観測データから

推定するほかないだろう。

なお、林野庁は、地質区分ごとの有林地・無林地別侵食土砂量の差から日本の森林の表面侵食防止量（林野庁資料では「土砂流出防止量」と表現）を51.61億m³/年、また、単位面積あたり有林地・無林地別崩壊面積率の差から日本の森林の表層崩壊防止面積（一部、その他の崩壊を含む）を96,393ha/年と計算している。

（４）水源涵養機能洪水緩和と水資源貯留水量調節水質浄化

森林は、おもに森林土壌のはたらきにより、雨水を地中に浸透させ、ゆっくりと流出させる。そのため、洪水を緩和するとともに川の流量を安定させる。また、森林から流出する水は濁りが少なく、適度にミネラルを含み、中性に近い。このように、森林の存在が川の流量や水質を人類社会にとって都合がよいように変えてくれるはたらきを森林の水源涵養機能という。

洪水緩和機能は、森林が洪水流出ハイドログラフのピーク流量を減少させ、ピーク流量発生までの時間を遅らせ、さらには減水部を緩やかにする機能であり、おもに雨水が森林土壌中に浸透し、地中流となって流出することによって発現する。すなわち、森林がない場合に比べ、山地斜面に降った雨が河川に流出するまでの時間を遅らせる作用である。しかしながら、大規模な洪水では、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になるので、このような場合、ピーク流量の低減効果は大きくは期待できない。

水資源貯留機能は、上述の機能を水利用の観点から評価したもので、無降雨日に河川流量が比較的多く確保される機能、言い換えれば、森林があることによって安定な河川流量が得られる機能である。一般にわが国の河川は急流であり、貯水ダムも容量も小さい。このため、洪水流量の大部分は短時間に海まで流出する。そこで、森林が流出を遅らせることは、無効流量を減少させ、利用可能な水量を増加させることを意味し、水資源確保上有利となる。

以上の機能は森林流域からの流出と森林を消失した荒廃流域（代替流域として都市化流域が用いられる）からの流出を比較したとき明瞭に示され、森林を「緑のダム」と称する根拠となっている。しかし、流況曲線上の渇水流量に近い流況では（すなわち、無降雨日が長く続くと）、地域や年降水量にもよるが、河川流量はかえって減少する場合がある。このようなことが起こるのは、森林の樹冠部の蒸発散作用により、森林自身がかんりの水を消費するからである。

一方、水質浄化機能は、森林を通過する雨水の水質が改善され、あるいは清澄なまま維持される機能である。これらは、森林土壌層での汚濁物質濾過、土壌の緩衝作用、土壌鉱物の化学的風化、飽和帯での脱窒作用、さらにはA₀層（落葉落枝及びその腐植層）や林床植生の表面侵食防止効果等によって達成される。

このように、森林の水源涵養機能の仕組みは、森林のはたらきを森林土壌のはたらきと樹冠部のはたらきに分離してみると理解しやすい。また、降雨が河川に流出するまでには地形条件や地質条件の影響を受ける。それらを森林の作用と誤解しないように注意する必要がある。さらに、森林は水を生み出すわけではないこと、渇水流量が減少する場合もあること、しかしながら、水資源確保上有利であること等、一見矛盾する事実を含めて、森林の水源涵養機能を正しく理解することが必要である。結局、私たちが知っている森林の水源涵養機能は、降水量が多く、急流河川の多い日本の自然条件下でのみ成り立つ部分でもあるのである。

なお、森林の水源涵養機能の限界に関して、以下のような認識が了承された。

森林の洪水緩和機能の定量化は、森林の有無の対比や森林伐採等の前後において降雨に対するピーク流量や降雨からピーク流量発生までの時間差を比較する方法でなされており、少なくとも調査対象流域においてはピーク流量の減少や時間的な遅れが見られるなど、洪水緩和機能の存在が実証されている。また、治水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、降った雨のほとんどが河川に流出するような状況となることから、降雨量が大きくなると、低減する効果は大きくは期待できない。このように、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。

なお、治水計画、利水計画は森林の機能でカバーし得ない流況変動に対して、ある水準までは

安全・安定を確保したいとする要求への対応計画である。治水・利水計画の策定にあたっては、実績の流量ハイドログラフが用いられており、森林地を広範に含む土地利用から流れてくる流量データを用いて洪水や渇水の頻度を解析し、被害の軽減を図る形で計画が立てられている。したがって、あくまで森林の存在を前提にした上で治水・利水計画は策定されており、森林とダム両方の機能が相まってはじめて目標とする治水・利水安全度が確保されることになる。治水・利水の水準は時代が求めるものであり、その高度化に伴い、森林のもつ静的な、あるいは自然的調整と、ダム貯水池等による動的な、人工的調節が、その機能分担を果たしながら車の両輪として進むことになろう。

森林で覆われた丘陵地を開発して宅地を作る場合などに設置を義務づけられている防災調節池の容量計算は、ほぼ森林の洪水緩和機能の定量的評価の例と見てよい。つまり、小流域規模の定量的評価は行政的に実施されている。したがって、マクロなレベルでも何らかの方法で定量化が可能であろう。

水資源貯留機能についても何らかの指標を定めて計算すればよい。いくつかの指標による総合的評価が理想的である。水文特性に従って全国を地域区分し、評価するアイデアが紹介された。水質浄化機能に関しては、比較の対象が他の土地利用（例えば、農耕地や都市化流域）になろう。流出水の水質レベルを区分して計算する方法も考えられる。

なお、林野庁は、日本の森林の洪水緩和量を1,107,121m³/sec、水資源貯留及び水質浄化の評価の基礎となる森林への降水浸透量を1,864.25 億m³/年と試算している。しかし、これらは文字どおり試算の域を出ず、必要なデータを得、評価法を工夫するなど早急な評価の精緻化が必要であろう。

- (5) 快適環境形成機能（略）
- (6) 保健・レクリエーション機能（略）
- (7) 文化機能景観（ランドスケープ）（略）

Erosion on Different Conditions of Forest Hillslopes
Characteristics of Surface Runoff Generation and Soil Surface

ヒノキ林の山地斜面における表面流出および土壌侵食
に関する研究

Masayasu Ueno*, Takashi Gomi**, Roy C. Sidle*,
Syusuke Miyata***, Kenichiro Kosugi***, Sidle*,
Syusuke Miyata***, Kenichiro Kosugi***

*Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University
**Japan Science and Technology Agency
***Graduate School of Agriculture, Kyoto University

日本森林学会第116回大会(2005年3月)でポスター発表

3. Study Sites

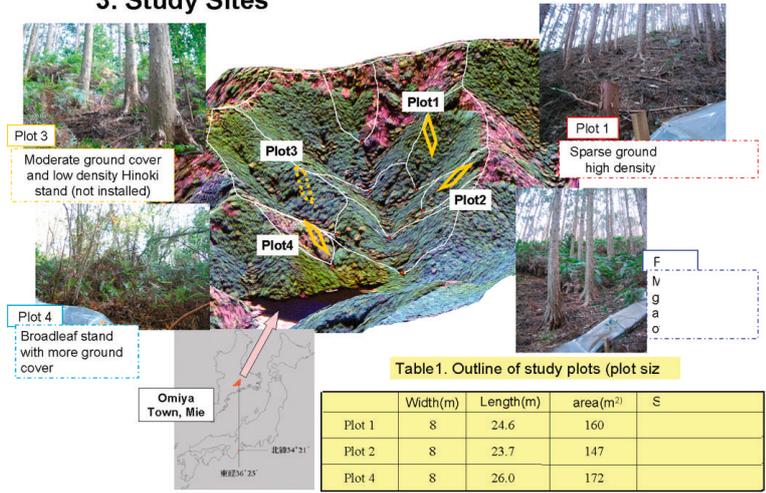
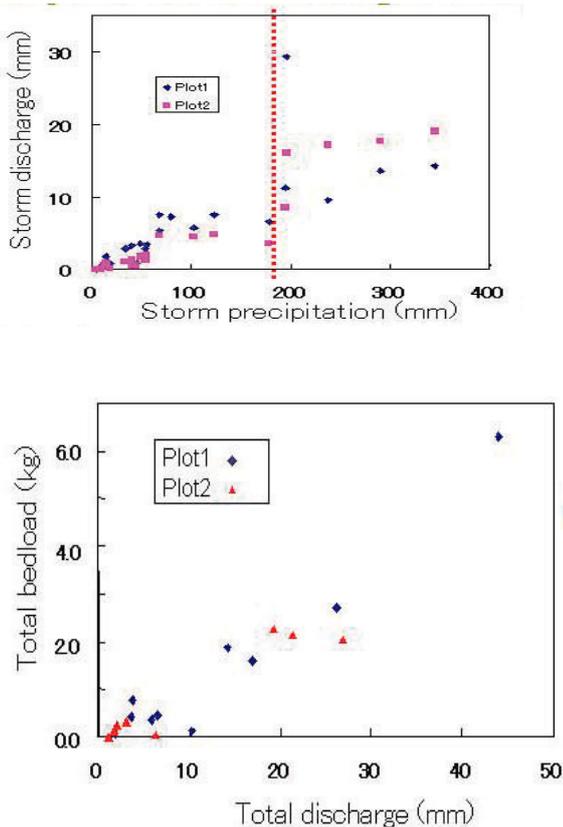
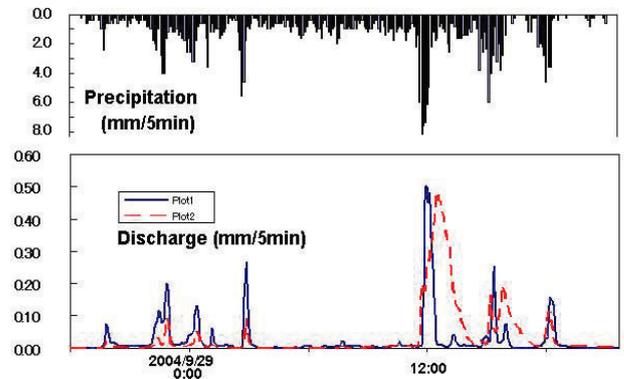
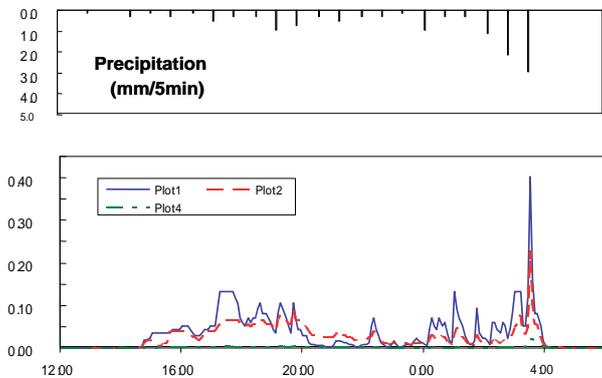


Table 1. Outline of study plots (plot size)

	Width(m)	Length(m)	area(m ²)	S
Plot 1	8	24.6	160	
Plot 2	8	23.7	147	
Plot 4	8	26.0	172	

Figure 1. Birdseye view of the study site (5.5ha)



API₇ (7-day antecedent rainfall)

