

マイクロフィルム用資料

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第3679号

土木研究所資料

樹林の砂防学的効果に関する研究の現状

平成12年1月

建設省土木研究所
砂防部砂防研究室
砂防部地すべり研究室

Copyright©(2000) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

樹林の砂防学的効果に関する研究の現状

砂防研究室 室長 南 哲行
地すべり研究室 主任研究員 富田 陽子

要 旨

樹林または樹木を活用した砂防関係事業を展開する上で、樹林・樹木の有する機能・効果に関する情報は必要不可欠である。これらについては、過去・現在において多くの研究者、研究機関が調査・研究に取り組んでおり、学会や機関誌等で公表されているところであるが、砂防学的観点から体系的にまとまったものがないために現場の砂防担当者が活用しにくい状況である。

そこで、過去10年間（1988～1998）に公表された調査・研究成果を、砂防に関連して体系的にまとめ、研究の現状を整理した。

キーワード：樹林の砂防学的効果

まえがき

樹林または樹木を活用した砂防関係事業を展開する上では、現場の砂防担当者が樹林・樹木の有する機能・効果に関する適切な情報を入手することが必要である。しかしながら、過去・現在において多くの研究者、研究機関が調査・研究に取り組み、公表している成果は、学会誌または機関誌としての発表形態をとっているため、たとえば「表層崩壊防止機能」について論じている研究成果であっても、研究者やその所属学会が異なれば複数の学会・機関誌で公表されており、砂防学的観点から体系的にまとまったものがないために現場の砂防担当者が活用しにくい状況となっている。

そこで、過去10年間（1988-1998）に公表された調査・研究成果を、砂防学的観点から「主に山地に存在する樹林」の機能とその効果の発現に主眼を置き、山地樹林の機能及び効果の発現形態を「防災」と「環境保全」に分類し体系的にとりまとめ、研究の現状を整理した。

上述の整理の過程及び結果を以下のように記載している。

「1. 樹林の砂防学的効果の項目分類」では、既往の樹林の機能、効果の分類を参考に、砂防学的観点から改めて分類、定義した。

「2. 文献収集」では、樹林の機能、効果に関する研究成果の収集範囲及び収集方法について解説した。

「3. 樹林の効果に関する研究の分類・整理」では、収集した研究成果をもとに、樹林の機能、効果に関する研究の現状を項目分類毎に体系的にとりまとめ、各研究成果の内容を概略的に紹介した。

「4. まとめ」では、樹林の機能、効果に関する研究の現状を総括した。また、各機能、効果の活用案、及び関連する研究成果を表にまとめた。

本資料の作成にあたっては、現場の第一線で調査・計画を担当している技術者が、樹林の効果に関連した以下の疑問に対する答えを見いだせる内容とする事を念頭に置いている。

- ①樹林の存在によって、砂防学的観点からどのような効果があるのか。
- ②それらの効果について現段階でどの程度の評価が可能になっているのか。
- ③どのような条件下でどの程度の効果を発揮するのか。
- ④ある程度の効果が期待できるとしたら、どのように砂防事業に取り込めばよいのか。
- ⑤①～④について、詳細に知りたいが、どの文献に記載されているのか。

①については「1. 樹林の砂防学的効果の項目分類」、②③については「3. 樹林の効果に関する研究の分類・整理」、④については「4. まとめ」に記載した。

⑤については「3. 樹林の効果に関する研究の分類・整理」の体系図や、「4. まとめ」の樹林の効果の活用案表に記載した文献番号から、「2. 文献収集」の文献一覧表により該当する文献が検索できる。

現段階の研究成果では、樹林を活用した砂防関係事業の実施による事業効果を定性的に評価すること、現場条件が研究条件と合致すればほぼ定量的に評価すること、が可能であると考えられる。本資料が事業計画策定の際に有効に活用いただければ幸いである。

なお、本資料で体系図をまとめるために行った研究成果の分類・整理については、可能な限り原文著者の意図を忠実に解釈して行っているが、実際に参考資料として活用する場合には原文を入手した上で検討することとされたい。

樹林とは：本資料では、「樹林」という言葉を単に樹木の集合体として用いている。なお、「森林」とは「林地、林木からなる降水（土壌水）と生育期の気温に恵まれた地域にのみ存在する動植物・微生物・土壌の集合体である。」（造林学、朝倉書店、1992）と定義されている。

目 次

1. 樹林の砂防学的効果の項目分類	1
1-1. 砂防における樹林の効果についての項目分類	1
1-2. 各機能の定義	4
2. 文献収集	10
2-1. 検索対象	10
2-2. 検索・抽出方法	11
2-3. 検索・抽出結果	11
2-4. 収集文献の効果・機能別整理	12
3. 樹林の効果に関する研究の分類・整理	19
3-1. 防災に関する効果	24
3-1-1. 土砂災害防止効果	24
3-1-1-1. 表層崩壊防止機能	24
3-1-1-2. 表面侵食防止機能	31
3-1-1-3. 土砂流出抑制機能	38
3-1-1-4. 溪岸侵食防止機能	42
3-1-1-5. 土石流堆積促進・発生抑制機能	46
3-1-2. その他の防災に関する効果	49
3-2. 環境に関する効果	52
3-2-1. 水資源保全効果	52
3-2-1-1. 水量調節機能	52
3-2-1-2. 水質浄化機能	61
3-2-2. 生態系維持効果	67
3-2-3. 大気浄化効果	71
3-2-4. 気象緩和効果	72
4. まとめ	75
4-1. 樹林の効果に関する研究の現状	75
4-1-1. 樹林の効果の活用について	76
4-2. 総括	78
4-2-1. 文献収集・整理について	78
4-2-2. 樹林の効果に関する研究成果について	78

1. 樹林の砂防学的効果の項目分類

樹林の効果に関する研究の既往の文献を整理するにあたり、まず、樹林の効果进行分类する必要がある。本章では既往の文献の中で、樹林の効果の分類を行っているものを参考に、砂防の観点から分類を行った。

1-1. 砂防における樹林の効果についての項目分類

樹林の効果に関しては、これまでに以下の文献において分類・整理されている。

- ・「森林の公益機能に関する文献要約集」, 社団法人 日本治山治水協会
- ・「ヒトと森林 森林の環境調節作用」, 共立出版, 只木良也・吉良竜夫
- ・「農業土木技術者のための森林保全学（その1）－森林生態系の活動とその機能－」, 農業土木学会誌, 太田猛彦

※上記の既往文献による樹林の効果の分類については、巻末の表に掲載

太田は「農業土木技術者のための森林保全学（その1）－森林生態系の活動とその機能－」の中で、森林の機能を総称して「森林の社会的機能」とし、これを以下のよう到大別している。

- ①物質生産機能
- ②環境保全機能
- ③保健・文化機能（存在機能）
- ④生態系維持機能（保存機能）

このうち、②環境保全機能として、防災面および環境面に関する森林の効果を整理している。

本資料においては、主に太田による森林の社会的機能の分類を基に、樹林の防災面および環境面に関する効果について整理・分類することとした。

砂防の中で取り扱われる樹林は主に土砂災害の防止を目的として整備される。

本資料においては、あくまでも土砂災害防止を主目的として整備された樹林に対して期待できる効果として項目分類を行うこととする。

従って、太田による4項目の分類のうち、①物質生産機能にあげられている森林生産物としての機能のほか、土砂災害防止の観点から整備するだけでは発揮される効果は不十分と考えられる保健、文化、レクリエーション等の機能については除外した。

また、土砂災害以外の防災に関する効果や環境面に対する効果の中には、土砂災害防止を主目的として整備された樹林に対しても期待できる効果がある。それらの効果を含めて、②環境保全機能における項目を参考に以下のように分類・整理した。

樹林の防災面に関する効果として、土砂災害防止、雪崩防止、防風、防火、防雪、防霧の6つに整理した。また、樹林の環境面に関する効果として、水資源保全、大気浄化、気象緩和、に④生態系維持機能（海洋生態系を含む）及び景観保全を加えた5つに整理した。

この中で、水資源保全効果をもたらす水量調節機能については、洪水流出を低減す

る効果と平常時の流出を一定に保つ（流量の平準化、水源涵養）効果があり、防災・環境のいずれにも属する機能であると考えられる。しかしながら、今回整理に用いた、この機能を定量的に評価することを試みた研究の多くは洪水流量の低減能力を評価するのでなく、森林の水源としての能力を評価しようとしている傾向がみられたことから、ここでは環境に関する効果として分類した。さらに、これらの効果をもたらす樹林の諸機能を整理した。

なお、太田は従来言われてきた環境保全機能を「地域環境保全機能」とし、最近注目されている地球温暖化緩和や地球気候システム安定に対する森林の貢献を「地球環境保全機能」として区分しているが、ここでは効果および機能上同一のものとしてとらえ、気象緩和効果として整理した。

樹林の防災面に関する効果や環境面に関する効果およびそれらの効果をもたらす樹林の諸機能についての、本資料における分類を表-1.1.1に示す。

ここで、上記の既存文献における「効果」や「機能」等の語句の使用状況などから、「効果」と「機能」の関係および区別を整理する必要がある。

本業務では、それぞれの意味を以下のように整理し、以降の分類を行った。

「機能」・・・樹林のもつ様々な働き（作用）。 「効果」・・・対象（この場合、人間や生態系など）に対する諸機能の具体的 発現の結果として得られるもの。
--

表1-1-1. 樹林の砂防学的効果一覧

効果		機能	内容
砂防効果	土砂災害防止効果	・表層崩壊防止機能	斜面を覆う表土層の崩壊を防止する機能
		・表面侵食防止機能	表土の土粒子の剥離、移動を防止する機能
		・落石防止機能	斜面上にある石礫の転落を防止する機能
		・土砂流出抑制機能	崩落などにより発生した土砂の流出を抑制する機能
		・溪岸浸食防止機能	流水による溪岸土砂の剥離、運搬を防止する機能
		・土石流発生抑制・堆積促進機能	土石流となる不安定土砂の発生、溪流への流入を抑制し、移動状態にある土石流の堆積を促進する機能
その他の防災効果	①雪崩防止効果	・雪崩防止機能	積雪移動を防ぎ、また一旦発生した雪崩を減勢する機能
	②防風効果	・風速緩和機能	風の流れを乱し風速を緩和させる機能
	③防火効果	・延焼防止機能	火災の拡大を防止する機能
	④防雪効果	・吹雪防止機能	風の流れを乱し森林後方での吹雪の発生を防止する機能
	⑤防霧効果	・大気水分捕捉機能	大気水分(霧)を樹体に付着させ捕捉する機能
環境に関する効果	⑥水資源保全効果 (水源涵養)	・水量調節機能	河川、溪流の洪水流量の低減等、流量を平準化する機能
		・水質浄化機能	流出水の水質を良い状態にする機能
	②大気浄化効果	・汚染物質吸収機能	ガス状の汚染物質を気孔から吸収する機能
		・塵埃吸着機能	大気中の塵埃を樹体表面に吸着させる機能
	③気象緩和効果	・炭素固定機能	光合成作用により大気中の炭素を固定する機能
		・気温変動緩和機能	太陽エネルギーを気化熱に変換し気温変動を緩和させる機能
	④生態系維持効果	・生態系維持機能	森林が物質循環や熱収支を介して生態系を維持する機能
	⑤景観保全効果	・景観保全機能	緑によって景観の保全・向上に寄与する機能

1-2. 各機能の定義

樹林の効果、機能についての用語の定義は現段階では研究者によって異なっている場合がある。そこで本節では、本資料における各機能を以下に定義し、定義するにあたって参考とした文献等を示す。なお、景観保全効果、景観保全機能については、緑（植生）の存在そのものがもたらす効果・機能であることから、ここでは特に定義しない。

1-2-1. 土砂災害防止効果

本効果は、後述する樹林の諸機能により、土砂災害を防止、軽減するものである。

(1). 表層崩壊防止機能

「急斜面を覆う表土層の（土壌を含む低密度の斜面表層物質）の小規模な滑落」¹⁾である表層崩壊を防止する機能である。

表層崩壊防止機能は、根系のネットワークにより土塊を緊縛する作用、下層の堅固な地層に食い込むことによる抗作用等により土層の剪断抵抗力を補強し、また他の根株と根株の相互の連なりによるアーチ作用や、パイピング崩壊²⁾に対するフィルタ作用などによるものである。

（参考：只木・吉良編、ヒトと森林 森林の環境調節作用、1982）

(2). 表面侵食防止機能

表面侵食防止機能は水、風、雪などによる地表面の侵食を、樹冠、落葉落枝による保護作用等により防止する機能である。

斜面においては水食、特に雨滴と地表流による侵食が大きな問題となるため、表面侵食防止機能≡水食に対する機能という意味で、“表面侵食防止機能”という言葉が使われている場合が見られる。樹林の侵食に及ぼす影響は水食に限らないので、本業務で分類した“表面侵食防止機能”は侵食形態を水食に限定したものではない。

（参考：只木・吉良編、ヒトと森林 森林の環境調節作用、1982）

(3). 落石防止機能

落石防止機能は、落石の発生を防止し、その運動を抑止することにより落石を防止する機能である。

落石発生の防止は樹幹、根系による岩石基部の侵食の防止、強風の緩和などによる。落石運動の抑止は落石の立木への衝突による衝撃吸収作用などによる。

（参考：小川滋、農業土木技術者のための森林保全学（その7）、農業土木学会誌、1996）

(4). 土砂流出抑制機能

土砂流出抑制機能は崩壊や侵食などにより発生した土砂を、斜面下方の樹林で阻止し、土砂が下流に流出することを抑制する機能である。

表層崩壊防止機能や表面侵食防止機能が土砂の生産を防ぐ機能であり、本機能は生産された土砂の流出を防止する機能である。下流への土砂流出を抑制するという意味では土石流発生抑制・堆積促進機能と重なる所はあるが、この機能では掃流、浮遊土砂等の流出抑制機能も含む点で異なる。広義に解釈すると、樹林による溪流の土砂移動の抑制、土砂の捕捉機能も土砂流出抑制機能である。

(参考：森林の公益機能に関する文献要約集、(社)日本治山治水協会、1988)

(5). 溪岸侵食防止機能

溪岸侵食防止機能は溪岸の植生が抵抗となり、洪水時に溪岸の流速が減じられることや、根系で保護されることで溪岸の侵食を防止する機能である。

この機能により、溪岸の横侵食を防止し、堤防の決壊を防ぎ、また流路の安定がもたらされる。

(参考：小川滋、農業土木技術者のための森林保全学(その7)、農業土木学会誌、1996)

(6). 土石流堆積促進・発生抑制機能

土石流堆積促進機能は扇状地上の樹林において土石流に含まれる石礫が樹林と衝突することで、土石流の運動エネルギーを減少させ、堆積を促進する機能である。また樹林は流路への崩土の侵入を防ぐことなどにより、土石流の発生機構に影響を与え、土石流の発生を抑制する働きがある。これが土石流発生抑制機能である。

(参考：小川滋、農業土木技術者のための森林保全学(その7)、農業土木学会誌、1996)

1-2-2. 雪崩防止効果

雪崩防止効果は、下記の雪崩防止機能により、雪崩による災害を防止、軽減するものである。

(1). 雪崩防止機能

雪崩防止機能は、樹林によって積雪深と雪質を変化させ、斜面上の積雪移動を防止する機能である。

この機能は樹冠遮断による積雪深の減少や、樹木の積雪に埋まった部分の支持力による抵抗作用等により機能する。

(参考：新田隆三、森林の雪崩防止機能、日本雪氷学会誌、1991)

1-2-3.防風効果

防風効果は、下記の風速緩和機能により、風による災害を防止、軽減するものである。

(1). 風速緩和機能

風速緩和機能は風の流れが樹林帯に突き当たることで、樹林帯が障害物となって流れが乱されることにより風速を緩和させる機能である。

この機能は、海岸では防潮林、飛砂防備林、鉄道等を対象とした防雪林等、様々に活用されている。

(参考：小川滋、農業土木技術者のための森林保全学（その7）、農業土木学会誌、1996）

1-2-4.防火効果

防火効果は、下記の延焼防止機能により、火災による被害を軽減するものである。

(1). 延焼防止機能

樹林の延焼防止機能は、樹林のもつ「含有水分による昇温阻止作用、輻射熱の遮断作用、熱気流や煙の上方拡散作用、飛び火の捕捉消火作用」²⁾などによって、火災の延焼を抑制する機能である。

山地樹林における機能としては林野火災に対する機能が考えられる。林野火災は、林産資源を焼失するばかりでなく、浸透能を低下させ、表面侵食を引き起こすきっかけともなる。

(参考：小川滋、農業土木技術者のための森林保全学（その7）、農業土木学会、1996）

1-2-5.防雪効果

防雪効果は、下記の吹雪防止機能により、吹雪に起因する災害を防止、軽減するものである。

(1). 吹雪防止機能

吹雪防止機能とは、樹林により、風速を減少させ、周辺に吹き溜まりを形成させ、後方での吹雪の発生を防止する機能である。

この機能は、線路への積雪防止という形で、鉄道の保護に利用されている。

(参考：小川滋、農業土木技術者のための森林保全学（その7）、農業土木学会誌、1996）

1-2-6.防霧効果

防霧効果は、下記の大気水分捕捉機能により、霧による交通事故などの災害を防止、軽減するものである。

(1). 大気水分捕捉機能

大気水分捕捉機能は防霧機能とも言われ、霧を枝葉に付着して捕捉される効果、空気の乱流によって捕捉効果を促進させる乱流効果などによって、霧を捕

捉する機能である。

(参考：小川滋、農業土木技術者のための森林保全学（その7）、農業土木学会誌、1996）

1-2-7.水資源保全効果

水資源保全効果は、下記の水量調節機能及び水質浄化機能により水資源を人が利用する上で適切な状態に保ち、さらに洪水等による災害を防止、軽減するものである。

(1). 水量調節機能

水量調節機能とは樹林の諸々の作用により河川、溪流の流出量を平準化する機能である。

この機能は次のような作用によりもたらされるものである。

「森林に降った雨は、まず林冠で遮断され、一部はそのまま蒸発したり、地表を流れたりする。優良な森林の地表には落葉落枝が堆積して地表の水の流れを妨げまたその土壌は隙間が多くて柔らかい団粒構造が発達していて水がよく浸透する。したがって、良い森林では地表流下する水の割合が小さくなり、降雨直後に河川が急増水することなく、また地中に浸透した水が徐々に流出するため、河川は涸れにくい。」⁹⁾

(参考：只木・吉良編、ヒトと森林 森林の環境調節作用、1982)

(2). 水質浄化機能

”水質を浄化する”とは、「科学的に「水質がよい」とする具体的な内容としては、濁りがなく清澄であること、下流の河川、湖沼の富栄養化で問題となる窒素やリンをわずかしき含まないことなどがあげられる。」¹⁰⁾とある。水質浄化機能とは樹林、あるいは樹林によって作られ、維持される森林土壌により流出水を上述のような水質の良い状態にすることである。また、酸性雨と関連して、森林による酸緩衝作用も水質浄化機能の一つである。

(参考：小川滋、農業土木技術者のための森林保全学（その7）、農業土木学会誌、1996)

1-2-8.大気浄化効果

大気浄化効果は、下記の塵埃吸着機能・汚染物質吸収機能により大気を浄化するものである。

(1). 塵埃吸着機能・汚染物質吸収機能

塵埃吸着機能は樹体表面に塵埃を吸着させる機能である。また汚染物質吸収機能は、気孔からガス状の汚染物質を吸収する機能である。

しかし「汚染物の多くは樹木にとっても有害物質であることである。有害物

質の吸着は樹木の生理障害や枯死を伴う。汚染物質吸着を目的として森林を考えることは正しくない」⁹⁾とあるように、これらの機能を積極的に利用しようという考え方を邪道であるとする指摘もある。

(小川滋、農業土木技術者のための森林保全学(その6)、農業土木学会誌、1996)

1-2-9.気象緩和効果

気象緩和効果は、下記の炭素固定機能・気温変動緩和機能により地球規模の気候から単木の木陰まで、様々な規模で気象環境を快適にするものである。

(1).炭素固定機能

炭素固定機能は光合成作用によって、大気中の二酸化炭素を固定する機能であり、気温変動緩和機能と併せて地球温暖化防止に対して大きな期待が寄せられている。

(参考：小川滋、農業土木技術者のための森林保全学(その6)、農業土木学会誌、1996)

(2).気温変動緩和機能

気温変動緩和機能は、「光合成に伴う蒸散作用によって90%以上の太陽エネルギーを水の気化熱(潜熱)に変換し、気温の上昇を防いでいる」⁹⁾など、気温の変動を緩和させる機能である。

(参考：小川滋、農業土木技術者のための森林保全学(その6)、農業土木学会誌、1996)

1-2-10.生態系維持効果

生態系維持効果は、下記の機能により生物の生育環境を保全し、種の多様性を保つものである。

(1).生態系維持機能

生態系維持機能とは、樹林が物質循環、水循環、熱収支等を介して生態系を維持する機能である。

地球上の現環境は、「陸上に森林が存在することを前提として少しずつ形成されてきたものであろう」⁹⁾との指摘がある。樹林は地上での物質循環、水循環、熱収支に対し、多大な影響を与えており、少なくともわが国においては、それらの循環の中心に位置すると言っても過言ではない。従って生態系を構成する個々の生物も樹林の影響下にある循環系に適応し、同時にその一部を担っている。このように樹林は物質循環、水循環、熱収支等を介して生態系を維持している。

(参考：太田猛彦、農業土木技術者のための森林保全学(その1)、農業土木学会誌、1996)

引用文献

- 1) 下川悦郎、農業土木技術者のための森林保全学（その3）、農業土木学会誌、1996
- 2) 小川滋、農業土木技術者のための森林保全学（その6）、農業土木学会誌、1996
- 3) 小川滋、農業土木技術者のための森林保全学（その7）、農業土木学会誌、1996
- 4) 鈴木雅一、農業土木技術者のための森林保全学（その5）、農業土木学会誌、1996
- 5) 只木・吉良編、ヒトと森林 森林の環境調節作用、1982
- 6) 太田猛彦、農業土木技術者のための森林保全学（その1）、農業土木学会誌、1996

2. 文献収集

前章で行った樹林の効果の分類に基づき、既存の研究成果を収集した。なお、景観保全効果については「緑の存在」そのものの意義がすでに一般化していることから、ここでは対象外とした。

2-1. 検索対象

樹林の効果に関する調査・研究は林学系の大学などを中心として各種研究機関などで数多く行われており、その成果は様々な学会において、論文またはその他の形で発表がなされている。そこで、以下の学会、研究機関より1988年から1998年（過去10年）にかけて出版されている機関誌等を文献収集の対象とし、検索を実施することとした。

検索対象とした学会、研究機関および学会誌等を表-2.1.1に示す。

表-2.1.1 収集対象一覧（その1）

学会・研究機関名	学会誌名等
砂防学会	新砂防（学会誌）
日本林学会	森林科学（学会報）、日本林学会誌、日本林学会論文集
土木学会	土木学会論文集（Ⅱ ¹ 、Ⅲ ² 、Ⅶ ³ 部門）
森林総合研究所	森林総合研究所研究報告
鉄道総合研究所	鉄道総合研究所研究報告

*1：「Ⅱ部門」-水理学、水文学、河川工学、水資源工学、港湾工学、海岸工学、海洋工学、環境水理、等

*2：「Ⅲ部門」-地盤工学、基礎工学、岩盤工学、土质地質、等

*3：「Ⅶ部門」-用排水システム、廃棄物、環境保全、環境管理、環境システム、等

また、これ以外の学会については、1993年から1998年にかけて出版されている機関誌より、上記の学会等における研究成果を補完する目的で、5年分の検索を行った。学会および学会誌等を表-2.1.2に示す。

表-2.1.2 収集対象一覧（その2）

学会・研究機関名	学会誌名等
日本緑化工学会	日本緑化工学会誌
水文・水資源学会	水文・水資源学会誌
農業土木学会	農業土木学会誌、農業土木学会論文集
日本雪氷学会	雪氷（学会誌）
地盤工学会	土と基礎（学会誌）、地盤工学会論文集
地すべり学会	地すべり（学会誌）
自然災害学会	自然災害科学（学会誌）
日本地形学連合	地形（学会誌）
水資源に関するシンポジウム	水資源に関するシンポジウム（論文集）

2-2. 検索・抽出方法

樹林の効果に関する文献の検索は、対象誌の総目次を直接人の手で検索する方法と科学技術振興事業団の文献検索サービスを利用する方法の2通りの検索を行った。

科学技術振興事業団の検索サービスを利用して検索するにあたり、「森林」および「効果」のほか、これらに類似すると考えられる語句としてそれぞれ「樹木」および「機能」、「作用」をキーワードとして設定した。

2-3. 検索・抽出結果

前項に示した各学会および研究機関が公表している研究成果（論文等）について検索した結果、該当した研究成果の学会、研究機関毎の件数を表-2.3.1に示す。

表-2.3.1 検索結果

	学会・研究機関名	学会誌名等	該当する研究成果の件数
1988	砂防学会	新砂防（学会誌）	8
	日本林学会	森林科学（学会報）	29
		日本林学会誌	27
		日本林学会論文集	16
	土木学会	土木学会論文集（Ⅱ部門）	7
		土木学会論文集（Ⅲ部門）	0
		土木学会論文集（Ⅶ部門）	1
1998	森林総合研究所	森林総合研究所研究報告	12
	鉄道総合研究所	鉄道総合研究所研究報告	0
1993	日本緑化工学会	日本緑化工学会誌	8
	水文・水資源学会	水文・水資源学会誌	3
	農業土木学会	農業土木学会誌	11
		農業土木学会論文集	0
	日本雪氷学会	雪氷（学会誌）	2
	地盤工学会	土と基礎（学会誌）	0
		地盤工学会論文集	0
1998	地すべり学会	地すべり（学会誌）	0
	自然災害学会	自然災害科学（学会誌）	0
	日本地形学連合	地形（学会誌）	2
	水資源に関するシンポジウム	水資源に関するシンポジウム（論文集）	4
	合 計		130

2-4. 収集文献の効果・機能別整理

収集した文献を効果および機能毎に分類、整理した。各機能毎の研究成果数を表-2.4.1に、効果、機能毎の文献一覧を表-2.4.2に示す。なお、文献によっては複数の機能について述べているものがあるため、表-2.4.2の中には重複している文献がある。

また各文献の中での、樹林の効果の評価手法、研究手法を分類し、いずれの項目に該当するか、さらに効果発揮時間及び場所についての検討がなされている内容であれば、どのような観点で時間、場所を検討しているかを項目毎に示す。

なお、各項目については以下のように整理した。

【効果発揮時間】

- ・表中の項目・・・季節（夏季、冬季等）
樹齢（若齢林、壮齢林等）

その項目についての研究がなされている。・・・・・・○
“ ・・・・・・・・無印

【効果発揮場所】

- ・表中の項目・・・樹林の状態（自然林・人工林、群落、樹種、林相等）
地形（尾根・谷、凹凸、斜面方向等）
地質（土質、土層厚等）
溪床溪岸に対する効果
下流域に対する効果

その項目についての研究がなされている。・・・・・・○
“ ・・・・・・・・無印

【評価方法】

- ・表中の項目・・・定性的な評価
定量的な評価
モデル構築

森林の効果または機能について、その項目の方法による評価がなされている。
・・・・・・・・○
“ ・・・・・・・・無印

【研究手法】

- ・表中の項目・・・室内試験
モデル実験
既往データ解析
現地調査
現地試験

その項目の手法による研究がなされている。・・・・・・○
“ ・・・・・・・・無印

表-2.4.1 樹林の効果・機能毎の研究成果件数

効果		機能	該当する研究成果件数
防災に関する効果	①土砂災害防止効果	・表層崩壊防止機能 ・表面侵食防止機能 ・落石防止機能 ・土砂流出抑制機能 ・溪岸侵食防止機能 ・土石流発生抑制・堆積促進機能	2 7 1 5 2 1 2 7 5
	②雪崩防止効果	・雪崩防止機能	1
	③防風効果	・風速緩和機能	2
	④防火効果	・延焼防止機能	4
	⑤防雪効果	・吹雪防止機能	0
	⑥防霧効果	・大気水分捕捉機能	0
	小 計		7 5
環境に関する効果	①水資源保全効果 (水源涵養)	・水量調節機能 ・水質浄化機能	3 5 1 8
	②大気浄化効果	・汚染物質吸収機能 ・塵埃吸着機能	1 2
	③気象緩和効果	・炭素固定機能 ・気温変動緩和機能	2 1
	④生態系維持効果	・生態系維持機能	1 5
	小 計		7 4
樹林の効果に関する総合的研究			5
合 計			*) 1 5 4

*)複数の効果・機能について記述した文献があるため、この表における合計数は研究成果の合計件数とは異なる。

表-2.4.2 (1) 樹林の効果に関する文献一覧(その1)

効果	機能	文献番号	タイトル	執筆者名	学会名	掲載誌名	形式	掲載年	掲載号	ページ	評価方法			研究手法			効果発現時間	効果発揮場所						フィールド名	他の機能		
											定量的評価	定性的評価	モデル構築	室内試験	モデル実験	既往データ解析		現地調査	現地実験	季節	樹齢・林齢	森林の状況	地形			地質	河床・河川への効果
防災に関する効果についての文献	土砂災害防止	1	樹木根系の根張り抵抗力の理論的算定法	正野光範・中村浩之・池田浩子	砂防学会	新砂防	論文	1998	214	3-11	○					○									栃木県安野郡田沼町・東京農工大学荒川山演習林	風速緩和	
		2	1993年宮崎県南郷村に発生した風倒木に関する地形的・土質力学的考察	谷口義徳・高峰光一・田中宏征	砂防学会	新砂防	報文	1998	214	34-42		○				○				○	○				宮崎県南郷村	風速緩和	
		3	土壌水分変化が斜面表層土における根系の土質強度増強効果に与える影響—模擬根系を用いた一面せん断試験—	秋田康裕・加藤尚子・鈴木雅一・太田猛彦	砂防学会	新砂防	論文	1998	216	23-30	○			○													
		4	森林管理手法・土保全のための森林管理モデル	太田猛彦	日本林学会	森林科学	特集	1991	3	36-40		○				○											表面侵食防止・土砂流出抑制
		5	森林は斜面崩壊防止にどれだけ役立っているか	塚本良則	日本林学会	森林科学	研究ミニレビュー	1991	3	45-51		○				○											
		6	森林で地震災害を防げるか・地震による山地災害と森林—兵庫県南部地震による山地災害発生と森林の影響の事例的考察—	真島征夫	日本林学会	森林科学	特集	1996	17	19-24		○				○											落石防止
		7	森林は土砂流出をどの程度防げるか・多雲山地における森林のはたらき	相浦英香・森戸昭夫・長谷川幹夫	日本林学会	森林科学	特集	1998	22	10-15		○				○											
		8	森林は土砂流出をどの程度防げるか・樹木根系の斜面崩壊防止機能	阿部和時	日本林学会	森林科学	特集	1998	22	23-29		○				○											
		9	集材用ワイヤーロープの支柱としての立木の強さ(VI) 引抜きに対する根張りの抵抗力	森岡 昇・藤野繁香・安達久章	日本林学会	日本林学会誌	短報	1989	71.4	155-159	○																
		10	樹木根系分布のシミュレーションモデル—斜面安定解析への応用を考慮したモデル—(英文)	阿部和時・岩元 賢	日本林学会	日本林学会誌	論文	1990	72.5	375-387	○					○					○						
		11	ブナ林の皆伐および針葉樹の造林が行われた多雲山地に発生した表層崩壊地の分布と地形要因の関係	相浦英香	日本林学会	日本林学会誌	論文	1993	75.3	208-215		○				○		○			○				富山県南西部		
		12	多雲山地におけるブナ林皆伐後の伐後の転倒にともなう表層崩壊の発生	相浦英香・森戸昭夫・長谷川幹夫	日本林学会	日本林学会誌	論文	1996	78.2	150-156		○				○		○							富山県南西部		
		13	ブナ林の皆伐および針葉樹の造林が行われた多雲山地における表層崩壊の発生過程	相浦英香・森戸昭夫・長谷川幹夫	日本林学会	日本林学会誌	論文	1996	78.4	398-403		○				○		○							富山県南西部		
		14	森林根系の崩壊防止機能—根系ブロックによる土層側壁抵抗の維持—	竹下敬司・中尾博美・森田祐一・結引 靖・丸谷知巳	日本林学会	日本林学会大会発表論文集	論文	1988	99	583-584		○			○												
		15	森林の公益的機能発現に係る樹木根系の力学的評価	陶山正憲	日本林学会	日本林学会大会発表論文集	論文	1988	99	589-590		○		○							○						
		16	樹木根系の崩壊防止効果に関する研究	塚本良則	日本林学会	日本林学会大会発表論文集	論文	1989	100	5-8	○											○					
		17	樹木根系の地盤の根張りとその地中の形状について(Ⅱ)—地中空間における根系伸張—	結引 靖・中尾博美	日本林学会	日本林学会大会発表論文集	論文	1989	100	655-656		○				○									九州大学柏屋演習林		
		18	埋設した模型根系の引き抜き抵抗について	大村 寛・土屋 智・安田勇次	日本林学会	日本林学会大会発表論文集	論文	1990	101	621-622	○				○												
		19	緑地帯の土保全機能からみた立地環境の評価に関する研究(Ⅰ)—六甲山系における樹木の根張り抵抗力に関する検討—	田中義典・陶山正憲・服部重昭	日本林学会	日本林学会大会発表論文集	論文	1992	103	565-566	○						○			○					兵庫県・六甲山系		
		20	ブナ根系の土壌緊密化	北田正憲・松岡展雄・北田健二・大丸裕武	日本林学会	日本林学会大会発表論文集	論文	1993	104	699-700		○				○						○				岩手県安代町・相沢川流域	
		21	樹木根系が持つ斜面崩壊防止機能の評価方法に関する研究	阿部和時	森林総合研究所	森林総合研究所研究報告	論文	1997	373	105-181	○					○											
		22	わが国における都市近郊林の環境保全機能の評価(英文)	陶山正憲	日本緑化工学会	日本緑化工学会誌	論文	1991	16.2	9-16							○				○					京都市南部・都市近郊林	
		23	中国黄土高原における森林の崩壊防止機能の研究(Ⅰ)	阿部和時・趙 廷寧・王 玉杰	日本緑化工学会	日本緑化工学会誌	報文	1992	18.1	19-26							○									中国・黄土高原	
		24	中国黄土高原における森林の崩壊防止機能の研究(Ⅱ)	阿部和時・趙 廷寧	日本緑化工学会	日本緑化工学会誌	報文	1993	19.1	27-31							○									中国・黄土高原	
		25	原位置一面せん断試験によるスギ根系の斜面崩壊防止機能の研究	阿部和時	日本緑化工学会	日本緑化工学会誌	論文	1996	22.1	95-108	○							○								森林総研千代田試験地	
		26	農業土木技術者のための森林保全学(その3) 森林の土保全機能と森林の管理	下川悦郎	農業土木学会	農業土木学会誌	講座	1996	64.3	275-281		○				○											表面侵食防止
		27	斜面プロセスにおける森林の役割	塚本良則・塚田順平	日本地形学連合	地形	特集	1991	12.3	243-257		○				○											表面侵食防止
	表面侵食防止	28	森林管理手法・土保全のための森林管理モデル	太田猛彦	日本林学会	森林科学	特集	1991	3	36-40		○				○										表層崩壊防止・土砂流出抑制	
		29	森林は土砂流出をどの程度防げるか・森林は山地の侵食防止にどのように機能しているか	塚本良則	日本林学会	森林科学	特集	1998	22	2-9		○				○											
		30	森林は土砂流出をどの程度防げるか・森林が表面侵食を防ぐ	北原 曜	日本林学会	森林科学	特集	1998	22	16-22		○				○											
		31	林床被覆物焼却前後における浸透能の変化	奥村武徳・久保田哲也・真木真一郎	日本林学会	日本林学会誌	短報	1998	80.1	35-37	○			○							○					水量調節	
		32	林地斜面における表層物質の移動(Ⅰ) 細土の移動	塚本次郎	日本林学会	日本林学会誌	論文	1989	71.12	469-480	○					○					○	○			高知県香美郡土佐山田町		
		33	ヒノキ林において下層植生が土壌の浸透能に及ぼす影響(Ⅰ) 散水型浸透計による野外実験	湯川良子・恩田裕一	日本林学会	日本林学会誌	論文	1995	77.3	224-231		○						○								三重県・鈴鹿山地	

表-2.4.2 (2) 樹林の効果に関する文献一覧(その2)

効果	機能	文献番号	タイトル	執筆者名	学会名	掲載誌名	形式	掲載年	掲載号	ページ	評価方法			研究手法			効果発揮時間		効果発揮場所					フィールド名	他の機能	
											定量的評価	定性的評価	モデル構築	室内実験	野外実験	現地調査	現地実験	季節	樹齢・林齢	森林の状態	地形	地質	溪床・深層への効果			下流域への効果
防災に関する効果についての文献	土砂災害防止	表面侵食防止	34	ヒノキ林において下層植生が土壌の浸透能に及ぼす影響(Ⅱ)下層植生の効果に関する室内実験	恩田裕一・湯川典子	日本林学会	日本林学会誌	論文	1995	77.5	399-407	○		○												
			35	ヒノキ人工林における表土流失危険度の予測ー土壤侵食強度の簡易評価における地表面観察の有効性の検討ー	塚本次郎・梶原規弘・入田領太郎	日本林学会	日本林学会誌	論文	1998	80.3	205-213	○					○							高知県香美郡土佐山田町		
			36	クロマツ防風林内の雨滴侵食についてー雨滴面撃力と侵食土砂量の関係ー	柳原 敦	日本林学会	日本林学会大会発表論文集	論文	1992	103	571-572	○					○							山形県酒田市浜中・海岸防風保安林		
			37	中国黄土高原における森林の侵食防止機能の水理学的解明	北原 曜・張 洪江・遠藤泰造	日本林学会	日本林学会大会発表論文集	論文	1993	104	747-750	○					○								中国・黄土高原	
			38	中国黄土高原における森林の侵食防止機能の水理学的解明(Ⅱ)ー地積量と相度係数の関係ー	北原 曜・張 洪江	日本林学会	日本林学会大会発表論文集	論文	1994	105	587-590	○					○								中国・黄土高原	
			39	林床被覆がヒノキ人工林の侵食防止に及ぼす影響	服部重昭・阿部敏夫・小林忠一・玉井幸治	森林総合研究所	森林総合研究所研究報告	論文	1992	362	1-34	○					○								滋賀県栗太郡	
			40	荒廃林地における早生樹の導入が水土保全機能に及ぼす影響(英文)	小野寺弘道	日本緑化工学会	日本緑化工学会誌	論文	1993	18.4	203-210						○				○				フィリピン・ルソン島	
			41	農業土木技術者のための森林保全学(その3) 森林の土保全機能と森林の管理	下川悦郎	農業土木学会	農業土木学会誌	講座	1996	64.3	275-281		○				○									表層崩壊防止
			42	斜面プロセスにおける森林の役割	塚本良則・塚田順平	日本地形学連合	地形	特集	1991	12.3	243-257		○				○									表層崩壊防止
	落石防止	43	森林で地震災害を防げるか・地震による山地災害と森林ー兵庫県南部地震による山地災害発生と森林の影響の事例的考察ー	真島征夫	日本林学会	森林科学	特集	1996	17	19-24		○				○									表層崩壊防止	
		44	森林は土砂流出をどの程度防げるか・落石を受けとめる森林	佐野常昭	日本林学会	森林科学	特集	1998	22	30-35		○				○										
	土砂流出抑制	45	樹林帯の抵抗特性と土砂堆積促進効果	水山高久・栗原淳一・天田高白・小林幹男	砂防学会	新砂防	報文	1989	165	18-22	○				○											土石流発生抑制・堆積促進
		46	タイ王国チェンマイ県Mae Tang川流域における熱帯林の減少と洪水、土砂流出特性(第1報)	山田 孝・石川芳治・柴田健一・島田 徹	砂防学会	新砂防	研究ノート	1993	187	39-44			○			○									タイ・チェンマイ県Mae Tang川流域	
		47	火山噴火後の土砂流出と植生の回復	水山高久・宮本邦明	砂防学会	新砂防	研究ノート	1993	187	45-47		○				○									アメリカ・セントヘレンズ山	土石流発生抑制・堆積促進
		48	森林管理手法・土保全のための森林管理モデル	太田登彦	日本林学会	森林科学	特集	1991	3	38-40		○				○										表層崩壊防止・表面侵食防止
		49	森林と水・森林と水に関する研究の動向	福真義宏	日本林学会	森林科学	特集	1993	9	7-13		○				○										水量調節・水質浄化
		50	森林土壌の浮遊土砂濾過機能	大倉陽一・北原 曜・三森利昭	日本林学会	日本林学会大会発表論文集	論文	1994	105	597-598		○														水質浄化
		51	樹木群を有する河道の洪水位予測	福岡捷二・藤田光一・新井田浩	土木学会	土木学会論文集Ⅱ	論文	1992	No.447/Ⅱ-19	17-24			○		○											溪岸侵食防止
		52	倒岸部植生帯が流れ及び粒子懸物質の輸送に及ぼす影響	池田駿介・太田賢一・長谷川洋	土木学会	土木学会論文集Ⅱ	論文	1992	No.447/Ⅱ-19	25-34	○				○											溪岸侵食防止
		53	直立性植生層を伴う流れ場の数値計算に関する研究	清水義彦・辻本哲郎・中川博次	土木学会	土木学会論文集Ⅱ	論文	1992	No.447/Ⅱ-19	35-44			○		○											溪岸侵食防止
		54	森林土壌が持つ洪水捕捉機能のモデル化	池田駿介・清上 健・黒田裕介・武若 聡	土木学会	土木学会論文集Ⅱ	論文	1993	No.467/Ⅱ-23	1-7			○		○											水質浄化
	溪岸侵食防止	55	樹木群を有する開水路における平面せん断流の構造とその解析	福岡捷二・渡辺明英・津森貴行	土木学会	土木学会論文集Ⅱ	論文	1994	No.491/Ⅱ-27	41-50			○		○											溪岸侵食防止
		56	倒岸部に植物群落を有する開水路流れの横断混合機構に関する実験的研究	辻本哲郎・北村忠紀	土木学会	土木学会論文集Ⅱ	論文	1994	No.491/Ⅱ-27	61-70			○		○											溪岸侵食防止
		57	樹木群を有する河道の洪水位予測	福岡捷二・藤田光一・新井田浩	土木学会	土木学会論文集Ⅱ	論文	1992	No.447/Ⅱ-19	17-24			○		○											土砂流出抑制
		58	倒岸部植生帯が流れ及び粒子懸物質の輸送に及ぼす影響	池田駿介・太田賢一・長谷川洋	土木学会	土木学会論文集Ⅱ	論文	1992	No.447/Ⅱ-19	25-34	○				○											土砂流出抑制
		59	直立性植生層を伴う流れ場の数値計算に関する研究	清水義彦・辻本哲郎・中川博次	土木学会	土木学会論文集Ⅱ	論文	1992	No.447/Ⅱ-19	35-44			○		○											土砂流出抑制
		60	樹木群を有する開水路における平面せん断流の構造とその解析	福岡捷二・渡辺明英・津森貴行	土木学会	土木学会論文集Ⅱ	論文	1994	No.491/Ⅱ-27	41-50			○		○											土砂流出抑制
		61	倒岸部に植物群落を有する開水路流れの横断混合機構に関する実験的研究	辻本哲郎・北村忠紀	土木学会	土木学会論文集Ⅱ	論文	1994	No.491/Ⅱ-27	61-70			○		○											土砂流出抑制
	土石流発生抑制・堆積促進	62	オギ・ヨシ等の植生の河岸保護機能の評価	福岡捷二・渡辺明英・新井田浩・佐藤健二	土木学会	土木学会論文集Ⅱ	論文	1994	No.503/Ⅱ-29	59-68		○				○									東京都・多摩川中流部	
		63	溪畔域の構造および機能と河川管理への適用(英文)	中村太士	日本地形学連合	地形	論文	1995	18.3	237-258		○				○										生態系維持
	土石流発生抑制・堆積促進	64	樹林の流出土砂抑制効果に関する実験	水山高久・鈴木浩之・中野陽子	砂防学会	新砂防	技術ノート	1989	162	34-38	○				○											
		65	樹林帯の抵抗特性と土砂堆積促進効果	水山高久・栗原淳一・天田高白・小林幹男	砂防学会	新砂防	報文	1989	165	18-22	○				○											土砂流出抑制
		66	立木の衝撃エネルギー吸収効果	水山高久・栗原淳一・鈴木浩之	砂防学会	新砂防	報文	1990	167	24-28	○					○			○						静岡県富士宮市・大沢扇状地	

表-2.4.2 (3) 樹林の効果に関する文献一覧(その3)

	効果	機能	文献番号	タイトル	執筆者名	学会名	掲載誌名	形式	掲載年	掲載号	ページ	評価方法			研究手法			効果発揮時間	効果発揮場所					フィールド名	他の機能
												定量的評価	定性的評価	モデル構築	室内試験	モデル実験	既往データ解析		現地調査	現地実験	季節・林齢	森林の状態	地形		
防災に関する効果についての文献	土砂災害防止	土石流発生抑制・堆積促進	67	火山噴火後の土砂流出と植生の回復	水山高久・宮本邦明	砂防学会	新砂防	研究ノート	1993	187	45-47	○			○							アメリカ・セントヘレンズ山	土砂流出抑制		
			68	溪間における森林の土砂流出防止機能とそれに立脚した防災対策について	竹下敬司	日本林学会	日本林学会大会発表論文集	論文	1992	103	581-582	○			○				○						
	雪崩防止	雪崩防止	69	森林の雪崩防止機能	新田隆三	日本雪氷学会	雪氷	解説	1991	53.3	217-224	○			○										
	防風	風速緩和	70	樹木根系の根張り抵抗力の理論的算定法	正野光範・中村浩之・池田浩子	砂防学会	新砂防	論文	1998	214	3-11	○				○						栃木県安房郡田沼町・東京農工大学清沢山演習林	表層崩壊防止		
71			1993年宮崎県南郷村に発生した風倒木に関する地形的・土質力学的考察	谷口義徳・高峰光一・田中宏征	砂防学会	新砂防	報文	1998	214	34-42	○				○		○	○				宮崎県南郷村	表層崩壊防止		
防火	延焼防止		72	森林で地震災害を防げるか・森林を利用した都市防災計画	福岡 司	日本林学会	森林科学	特集	1996	17	2-7	○			○										
			73	森林で地震災害を防げるか・樹木の火災延焼防止効果	野島義昭	日本林学会	森林科学	特集	1996	17	8-12	○			○										
			74	林野火災の防災的研究(Ⅰ) 焼止まり線について	中根周歩・山崎裕実・根平邦人・福岡義隆	日本林学会	日本林学会誌	論文	1988	70.3	111-118	○				○		○	○				広島県・芸南地方宮島等		
			75	震災後の対策を考える 震災における公園緑地の延焼防止機能と樹勢回復	山本晴彦・早川誠而・鈴木義則	農業土木学会	農業土木学会誌	報文	1997	65.9	943-948	○				○							神戸市長田区・須磨区		
環境に対する効果についての文献	水資源保全	水量調節	76	森林管理手法・水に関わる森林機能とモデル化	鈴木雅一	日本林学会	森林科学	特集	1991	3	32-35	○			○								水質浄化		
			77	森林と水・森林と水に関する研究の動向	福岡義宏	日本林学会	森林科学	特集	1993	9	7-13	○			○									水質浄化・土砂流出抑制	
			78	都市漏水を救う森林一緑のダム役割Ⅰ・森林と水循環	太田経彦	日本林学会	森林科学	特集	1996	18	26-31	○			○									水質浄化	
			79	都市漏水を救う森林一緑のダム役割Ⅱ・森林が水を蓄える働き	高木潤治	日本林学会	森林科学	特集	1996	18	32-36	○			○										
			80	山地流域の流出に与える森林の影響評価のための流況解析	鈴木雅一	日本林学会	日本林学会誌	論文	1988	70.6	261-268	○				○						○			
			81	山腹斜面における土壌水分変動の観測とモデル化(Ⅱ) 水収支および地下水発生域の検討	窪田順平・福岡義宏・鈴木雅一	日本林学会	日本林学会誌	論文	1988	70.9	381-389		○			○								滋賀県南部・京都大学桐生水文試験地	
			82	林床被覆物焼却前後における浸透能の変化	奥村武信・久保田哲也・真木真一郎	日本林学会	日本林学会誌	短報	1998	80.1	35-37	○			○					○					表面浸食防止
			83	暖候性の古生層山地流域における降雨・降雪と流出(Ⅰ) 無雪期の流出特性	福岡義宏・友村光秀・鈴木雅一・窪田順平	日本林学会	日本林学会誌	論文	1989	71.5	187-195		○			○				○					
			84	暖候性の古生層山地流域における降雨・降雪と流出(Ⅱ) 積雪期の流出特性	福岡義宏・友村光秀・鈴木雅一・窪田順平	日本林学会	日本林学会誌	論文	1989	71.6	215-222		○			○				○					
			85	森林における降雪の遮断蒸発	中井裕一郎・北原 曜・坂本知己・斎藤武史・寺嶋智巳	日本林学会	日本林学会誌	論文	1993	75.3	191-200	○				○		○						札幌市・森林総研北海道支所羊ヶ丘実験林	
			86	等高線にそった帯状伐採が深川流出に及ぼす影響(Ⅰ) 温暖期の長期流出特性について(英文)	志水俊夫・坪山良夫・細田育広	日本林学会	日本林学会誌	論文	1994	76.5	393-401	○				○									
			87	等高線にそった帯状伐採が深川流出に及ぼす影響(Ⅱ) 温暖期の短期流出特性について(英文)	志水俊夫	日本林学会	日本林学会誌	論文	1994	76.6	492-499	○				○									
			88	トドマツ林における降雪の遮断蒸発(Ⅰ) 水収支的観測	中井裕一郎・坂本知己・寺嶋智巳・北村兼三	日本林学会	日本林学会誌	論文	1995	77.6	581-588	○				○		○						札幌市・森林総合研究所北海道支所羊ヶ丘実験林	
			89	森林土壌が多様な不均質性をもつ流域の流出特性に及ぼす影響の解明に向けて	谷 純・小杉賢一郎・坪山良夫・窪田順平	日本林学会	日本林学会誌	総説	1998	80.1	44-57		○			○									
			90	米代川水系小又川森吉ダム流域の夏期の河川流量と降水量、平均気温および森林蓄積の関連性	石井正典・森村多聞・室岡良伸	日本林学会	日本林学会誌	論文	1998	80.2	98-104		○			○		○						秋田県・米代川水系小又川森吉ダム流域	
			91	広葉樹から針葉樹への林種転換が河川流量に及ぼす影響(Ⅰ) 秋田県内米代川水系小又川の森吉ダム流域について	石井正典・室岡良伸	日本林学会	日本林学会大会発表論文集	論文	1997	108	389-392		○			○									
			92	森林流出水の水質特性と森林植生の水源涵養機能に関する研究	イリシャット ラヒム・柿本大典・今井 剛・浮田正夫	土木学会	土木学会論文集Ⅶ	論文	1998	No.594/VII-7	73-83		○			○			○					全国	水質浄化
			93	電導度による融雪流出の成分分離と融雪流出過程に関する研究	志水俊夫	森林総合研究所	森林総合研究所研究報告	論文	1990	359	123-140		○			○		○						群馬県利根郡水上町・森林総研宝川森林理水試験地	
			94	植生変化が山地流域の流出特性に及ぼす影響(英文)	志水俊夫・菊谷昭雄・坪山良夫	森林総合研究所	森林総合研究所研究報告	論文	1992	363	21-39		○			○		○							
			95	筑波森林水文試験地観測報告 (1978年5月～1987年12月)	水資源保全研・水流出管理研	森林総合研究所	森林総合研究所研究報告	研究資料	1993	364	125-168	○				○								茨城県新治郡八壁町・森林総研筑波森林水文試験地	
			96	森林土層中の水移動におけるパイプ孔の特性に関する研究	北原 曜	森林総合研究所	森林総合研究所研究報告	論文	1994	367	63-115		○												
			97	宝川森林理水試験地観測報告一本流・初沢試験流域(1978年1月～1990年12月)	藤枝基久・志水俊夫	森林総合研究所	森林総合研究所研究報告	研究資料	1994	368	207-245	○				○								群馬県利根郡水上町・森林総研宝川森林理水試験地	
			98	ブラジルサンパウロ州海岸山脈における流出特性	藤枝基久	森林総合研究所	森林総合研究所研究報告	論文	1995	369	63-152						○								ブラジル・サンパウロ州
			99	筑波共同試験地流水流域における土壌の分布とその保水流出特性にかかわる物理的特性	大貫靖浩・吉永秀一郎	森林総合研究所	森林総合研究所研究報告	研究資料	1995	369	189-207										○	○			

表-2.4.2 (4) 樹林の効果に関する文献一覧(その4)

効果	機能	文献番号	タイトル	執筆者名	学会名	掲載誌名	形式	掲載年	掲載号	ページ	評価方法			研究手法			効果発現時間	効果発揮場所						フィールド名	他の機能	
											定量的評価	定性的評価	モデル構築	室内試験	モデル実験	既往データ解析		現地調査	現地実験	季節・林齢	地形	地質	流域・河川への効果			土地利用
環境に対する効果についての文献	水資源保全	水量調節	100	宝川森林理水試験地水文観測53年間の記録	阪根基久・野田正二・小川真由美・志水俊夫・坪山良夫・榎田育広	森林総合研究所	森林総合研究所研究報告	研究資料	1996	370	31-75	○				○								群馬県利根郡水上町・森林総合研究所宝川森林理水試験地		
			101	五川森林理水試験地観測報告（1977年1月～1986年12月）	竹下 幸・清水 晃・宮城育夫	森林総合研究所	森林総合研究所研究報告	研究資料	1996	370	77-120	○				○									宮崎県東諸県郡高岡町・森林総合研究所五川森林理水試験地	
			102	広域緑地の造成管理をめぐって 寡雨地域の森林における水収支	阪部重昭	日本緑化工学会	日本緑化工学会誌	特集	1994	19.4	296-302	○				○										
			103	森林山腹斜面における雨水の流出について	太田登彦	水文・水資源学会	水文・水資源学会誌	論文	1983	1.1	75-82		○			○									東京都八王子市・東京農工大学波及土地利用実験実習施設	
			104	森林流域におけるダム貯水池の流況平準化効果の評価	久米朋宣・窪田順平	水文・水資源学会	水文・水資源学会誌	論文	1998	11.4	317-323	○				○									関東地方・水系最上流域のダム流域	
			105	農業土木技術者のための森林保全学(その4) 森林の水保全機能と森林の管理(Ⅰ)森林の水源かん養機能	鈴木雅一	農業土木学会	農業土木学会誌	講座	1996	64.6	585-590		○			○										
			106	表層融雪量に及ぼす森林の影響に関する基礎的検討	太田岳史・橋本哲・石橋秀弘	日本管水学会	管水	論文	1990	52.4	289-296	○					○	○							岩手県・岩手大学滝沢演習林地	
			107	森林の水源かん養機能	高木凝治	水資源に関するシンポジウム	水資源に関するシンポジウム	論文	1997	5	117-122	○				○			○	○	○					
			108	森林の変化が水源かん養機能に及ぼす影響について	小川 滋・戎 信宏・寺尾 学	水資源に関するシンポジウム	水資源に関するシンポジウム	論文	1997	5	163-168		○			○										
			109	水源かん養機能に及ぼす森林の影響評価 徳島県那賀川水系長安口ダム流域を例として	越野道夫・吉田弘	水資源に関するシンポジウム	水資源に関するシンポジウム	論文	1997	5	281-286		○			○										
			110	数値モデルによる森林流域の水源涵養機能の評価	越野道夫・吉田弘・村岡浩壁	水資源に関するシンポジウム	水資源に関するシンポジウム	論文	1992	4	637-642			○		○										
	水質浄化	111	森林管理手法・水に関わる森林機能とモデル化	鈴木雅一	日本林学会	森林科学	特集	1991	3	32-35		○			○										水量調節	
		112	森林と水・森林と水に関する研究の動向	福義義宏	日本林学会	森林科学	特集	1993	9	7-13		○			○										水量調節・土砂流出抑制	
		113	森林流出水の水質研究と森林の水質浄化機能を把握する上での課題	大瀬清和	日本林学会	森林科学	研究ミニレビュー	1994	12	34-40		○			○											
		114	都市湧水を救う森林一緑のダム役割一・森林と水循環	太田登彦	日本林学会	森林科学	特集	1996	18	26-31		○			○										水量調節	
		115	都市湧水を救う森林一緑のダム役割一・森林の水質浄化機能一	中尾登志雄	日本林学会	森林科学	特集	1996	18	37-41		○			○											
		116	森林集水域での土壌から溪流への水質変化	大瀬清和・生原喜久雄・相場芳恵	日本林学会	日本林学会誌	論文	1993	75.5	389-397		○			○										群馬県・渡良瀬川上流	
		117	森林小集水域における溪流水質に及ぼす諸要因の影響	大瀬清和・生原喜久雄・相場芳恵	日本林学会	日本林学会誌	論文	1994	76.5	383-392		○			○		○	○						群馬県・渡良瀬川上流		
		118	源頭部森林小流域における土壌溶液と湧水の硝化態窒素の動態	加藤正樹・小野寺真一・小林政宏	日本林学会	日本林学会誌	論文	1995	77.6	516-526		○			○			○						茨城県北部		
		119	森林流域における土壌CO2ガス濃度の鉛直分布	浜田美鈴・大手信人・小橋澄治	日本林学会	日本林学会誌	論文	1996	78.4	376-383		○			○	○								滋賀県南部・京都大学桐生水文試験地		
		120	降雨時流出の水質に対する森林の影響	佐藤冬樹・持田二葉・笹 賀一郎・藤原潤一郎	日本林学会	日本林学会大会発表論文集	論文	1994	105	225-226		○			○									北海道北部天塩川水系・北海道大学天塩地方演習林		
		121	森林土壌の浮遊土砂運送機能	大倉陽一・北原 曜・三森利昭	日本林学会	日本林学会大会発表論文集	論文	1994	105	597-598		○												土砂流出抑制		
		122	林床植生の異なる森林における降雨の性質変化と酸の緩衝能	高田 敬・中田 誠	日本林学会	日本林学会大会発表論文集	論文	1997	103	203		○			○			○						新潟県新潟市		
		123	森林流域の酸性雨緩和機能の量的把握	福田 寿・小暮充範・木村展也・阿部由美子	日本林学会	日本林学会大会発表論文集	論文	1997	108	205-206	○				○									栃木県・渡良瀬川上流		
		124	森林土壌が持つ湧水捕捉機能のモデル化	池田駿介・清上 健・黒田裕介・武若 稔	土木学会	土木学会論文集Ⅱ	論文	1993	No.467/Ⅱ-23	1-7			○	○										土砂流出抑制		
		125	森林流出水の水質特性と森林植生の水源涵養機能に関する研究	イリシャット ラヒム・鈴木大典・今井 剛・浮田正夫	土木学会	土木学会論文集Ⅶ	論文	1998	No.594/Ⅶ-7	73-83		○			○			○						全国	水量調節	
		126	森林流域における酸緩衝機構の空間的多様性:花こう岩小流域における緩衝過程の鉛直分布	大手信人・徳地直子	水文・水資源学会	水文・水資源学会誌	論文	1997	10.5	463-476		○			○									滋賀県南部・京都大学桐生水文試験地		
		127	酸性雨による土壌影響	新藤純子	農業土木学会	農業土木学会誌	論文	1992	60.12	1099-1102		○			○											
		128	農業土木技術者のための森林保全学(その5) 森林の水保全機能と森林の管理(Ⅱ)森林の水質保全機能	鈴木雅一	農業土木学会	農業土木学会誌	講座	1996	64.7	693-697		○			○											
大気浄化	汚染物質吸収 塵埃吸着	129	都市近郊林における樹木葉の浮遊重金属捕捉機能に関する研究	嶋 一徹・松崎由利子・千葉喬三	日本緑化工学会	日本緑化工学会誌	論文	1993	19.1	1-10		○				○							岡山市・岡山大学自然教育研究林	塵埃吸着		
		130	都市近郊林における樹木葉の浮遊重金属捕捉機能に関する研究	嶋 一徹・松崎由利子・千葉喬三	日本緑化工学会	日本緑化工学会誌	論文	1993	19.1	1-10		○				○							岡山市・岡山大学自然教育研究林	汚染物質吸収		
		131	沿道植栽木の樹葉による粉塵付着に関する風洞実験およびフィールド調査	NIZAR N・三沢 彰・KIM H Y・立本英樹	日本緑化工学会	日本緑化工学会誌	論文	1994	19.3	159-165		○		○		○							千葉県・常盤自動車道(流山IC～柏IC)			
気象緩和	炭素固定	132	森林と地球環境の保全一二酸化炭素濃度の上昇と温暖化問題一	井上敬雄	日本林学会	森林科学	論文・解説	1991	2	1-7		○			○											
		133	大気CO2と森林	P.G.JARVIS(金光桂二訳)	日本林学会	森林科学	特別講演	1992	4	2-5		○			○											

表-2.4.2 (5) 樹林の効果に関する文献一覧(その5)

	効果	機能	文献番号	タイトル	執筆者名	学会名	掲載誌名	形式	掲載年	掲載号	ページ	評価方法			研究手法				効果発揮時間 季節 樹齢・林齢	効果発揮場所					フィールド名	他の機能
												定量的評価	定性的評価	モデル構築	室内試験	モデル実験	既往データ解析	現地調査		現地実験	地形	地質	深床・深層への効果	下流域への効果		
環境に対する効果についての文献	気象緩和	気温変動緩和	134	農業土木技術者のための森林保全学(その8) 森林の地球環境保全機能	太田岳史	農業土木学会	農業土木学会誌	講座	1996	64.10	1043-1048	○			○											
	生態系維持	生態系維持	135	森林群集はどこまで解明されたか・生態系生態学における群集研究ー森林生態系の提供する「食物ー住み場所」テンプレートー	武田博清	日本林学会	森林科学	特集	1994	10	35-39	○			○											
			136	森林と動物の共存・森林と鳥の多様性	樋口広芳	日本林学会	森林科学	特集	1996	16	34-38	○			○											
			137	森林と動物の共存・樹木と土壌動物の共存ー健全な森林を維持する土壌動物の種の多様性ー	新島 漢子	日本林学会	森林科学	特集	1996	16	39-44	○			○											
			138	森林と動物の共存・森林と淡水魚類	石城謙吉	日本林学会	森林科学	特集	1996	16	45-51	○			○											
			139	森林と動物の共存・わが国の哺乳類の多様性とその保全ーとくに大型哺乳類との共存をめぐるー	三浦慎悟	日本林学会	森林科学	特集	1996	16	52-56	○			○											
			140	森林の再生ー海浜の成長および発生に与える森林河川水の影響	田中邦明	日本林学会	森林科学	特集	1997	19	74-79	○			○											
			141	林冠 もうひとつの生物世界・林冠部の昆虫の多様性	福山研二	日本林学会	森林科学	特集	1997	20	24-29	○			○											
			142	林冠 もうひとつの生物世界・林冠部の哺乳類	田村典子	日本林学会	森林科学	特集	1997	20	30-35	○			○											
			143	生物多様性の保全・北方系希少鳥類の保全と森林管理	有澤 浩	日本林学会	森林科学	特集	1997	20	46-50	○			○											
			144	生物多様性の保全・昆虫の種の保全と環境保全	久保田耕平	日本林学会	森林科学	特集	1997	20	51-55	○			○											
			145	河畔林の河川水質への影響に関する熱収支的考察	中村太士・百海琢司	日本林学会	日本林学会誌	論文	1989	71.10	387-394	○				○	○							北海道苫小牧市・北海道大学苫小牧演習林		
			146	北海道南部沿岸山地流域における森林が河川および海に及ぼす影響(1)山地流域から津軽海峡に流出する浮遊土砂と有機物	柳井清治・寺沢和彦	日本林学会	日本林学会誌	論文	1995	77.5	408-415	○				○						○		北海道南部原木川流域		
			147	多摩試験地を中心とした森林緑地の変遷と鳥相の変動	高野 肇	森林総合研究所	森林総合研究所研究報告	研究資料	1992	363	41-57	○				○								森林総合研究所多摩試験地		
			148	農業土木技術者のための森林保全学(その1) 森林生態系の活動とその機能	太田彦彦	農業土木学会	農業土木学会誌	講座	1996	64.1	61-66	○				○										
			149	溪畔域の構造および機能と河川管理への適用(英文)	中村太士	日本地形学連合	地形	論文	1995	16.3	237-256	○				○										溪岸侵食防止
総合的文献	土砂災害防止・水資源保全	表面侵食防止・表層崩壊防止等	150	山地森林地帯の流出に与える影響とその評価ー従来の研究成果を中心にしてー	小川 滋	農業土木学会	農業土木学会誌	報文	1988	58.11	1101-1107	○			○											
	土砂災害防止・水資源保全	表層崩壊防止・水質調節	151	農業土木技術者のための森林保全学(その2) 森林土壌と水土保持	大手信人	農業土木学会	農業土木学会誌	講座	1996	64.2	157-163	○			○											
	大気浄化・気象緩和・防風・防雪・防霧	汚染物質吸収・気湿変動緩和等	152	農業土木技術者のための森林保全学(その6) 森林の防災機能(1)	小川 滋	農業土木学会	農業土木学会誌	講座	1996	64.8	811-818	○			○											
	土砂災害防止・雪崩防止・防火	落石防止・土石流発生抑制等	153	農業土木技術者のための森林保全学(その7) 森林の防災機能(2)	小川 滋	農業土木学会	農業土木学会誌	講座	1996	64.9	927-934	○			○											
	土砂災害防止・水資源保全・気象緩和	土砂流出抑制・水質調節等	154	都市湧水を救う森林ー緑のダムーの役割ー熱帯林は水や土をどう守っているか	谷 誠	日本林学会	森林科学	特集	1996	18	42-47	○			○											

3. 樹林の効果に関する研究の分類・整理

前章までで樹林の効果に関する文献を、効果・機能別に整理した。本章では樹林の効果についての研究の現状を、効果・機能毎にまとめた。

なお、収集した文献には、学会誌の特集記事などの論文の形態をとらない文献も含まれているが、ここでは各誌で論文として掲載されたものについてのみとりあげている⁹⁾。

本資料では、確立された研究成果についてのみとりあげる事を意図して、報文、短報等は除外した。ただし、気象緩和効果、炭素固定機能については、収集した文献に研究論文は無かったものの、今後の研究発展の必要性や、社会的な関心の高さを鑑みて、解説文を取り上げている。

各機能についての研究の現状は、各機能に対する研究を幾つかのテーマに分類し、そのテーマ毎に述べている。

例えば、ある機能に対する研究のテーマは、その機能をもたらす幾つかの作用のうち、どの作用について行うかで分けられる。また、研究の目的が個々の機能、作用の詳細な機構を解明することを目的としているのか、あるいは機構の解明ではなく定量的評価のみを目的としているものなのか、等で分類できる。

そのようにして各機能に対する研究を幾つかのテーマに分類し、テーマ毎に研究の現状を本章で述べる。なお、個々の研究成果について述べる場合には、著者の意図を忠実に表現するため、敢えて用語の統一を行っていない部分がある。

さらに、上記の分類に従い、防災に関する効果、環境に関する効果毎にとりまとめた体系図を作成した（図3-1、図3-2.）。

1) 文献の形式は各学会誌の投稿規定等により以下のように分類されている。

論文：理論的、実証的な研究・技術成果であって、独創性があり、論文として完結した体裁を整えているもの。

報文：調査・計画・設計・施工・現場計測などの報告で、技術的・工学的に有益な内容を含むもの。

研究ノート：研究途上の速報であり、かつ従来の研究・技術成果に対する新たな知見やデータのまとめたものとする。

技術ノート：新しい技術・手法・機械等の簡単な紹介・解説などとする。

短報：新しい研究方法、材料、工法等の成果で、予報的または速報的な内容の論文に準ずる報告。

総説・解説：研究・技術動向に関する評論・解説などとする。

<体系図について>

各機能の研究を、さらに研究テーマにより分類し、それぞれの研究成果、効果発揮時期に関する検討の有無、効果発揮場所に関する検討の有無、研究対象地を示した。

研究成果 : 各研究の成果の概要

研究手法 : 各研究テーマの研究を、さらに研究手法により分類した。

現地調査 現地での測定、観察等の調査

現地試験 現地での実験、試験等（原位置剪断試験等）

室内試験 室内での実験、試験等（pF試験等）

モデル実験 モデルを用いた実験（模型水理実験等）

データ解析 既存のデータの解析

総括的研究 過去の研究の総括

評価方法 : 各研究手法の研究を、さらに評価手法により分類した。

定性的 研究の成果が定性的な表現でのみ表されているもの

定量的 研究の成果が定量的な表現で表されているもの

モデル 研究の成果がモデルで表されているもの

効果発揮時期 : 各研究が効果の発揮時期に関する検討を行っている場合、あるいは特定の時期についての検討を行っている場合、季節、樹齢、林齢といったどのような時期についてか。

季節 季節についての検討を行っている、あるいは特定の季節についてのみ検討を行っている。

林齢 林齢についての検討を行っている。

樹齢 個々の林木の樹齢についての検討を行っている。

効果発揮場所 : 各研究が効果の発揮場所に関する検討を行っている場合、あるいは特定の場所についての検討を行っている場合どのような場所についての検討を行っているか。

森林の状態 林種などの森林の状態についての検討を行っている。

地形 勾配、標高などの地形についての検討を行っている。

地質 地質による検討を行っている。

・ 特定の場所についてはその場所。

研究対象地：調査、実験が行われた地域が文献に明記されている場合、その地域名、水系名、山系名などを示す。

なお図中の文章で  で囲まれている部分は、研究論文が無かったため、注釈分等を記載している。具体的には、雪崩防止・防雪・防霧効果に関する研究について、ここ10年の研究論文が見られなかった旨を、研究テーマの欄に記載した。また、落石防止機能及び気象緩和効果については、論文としての研究成果が見られないため、解説文等の中で今後の研究の展望について述べている箇所を引用して記載した。

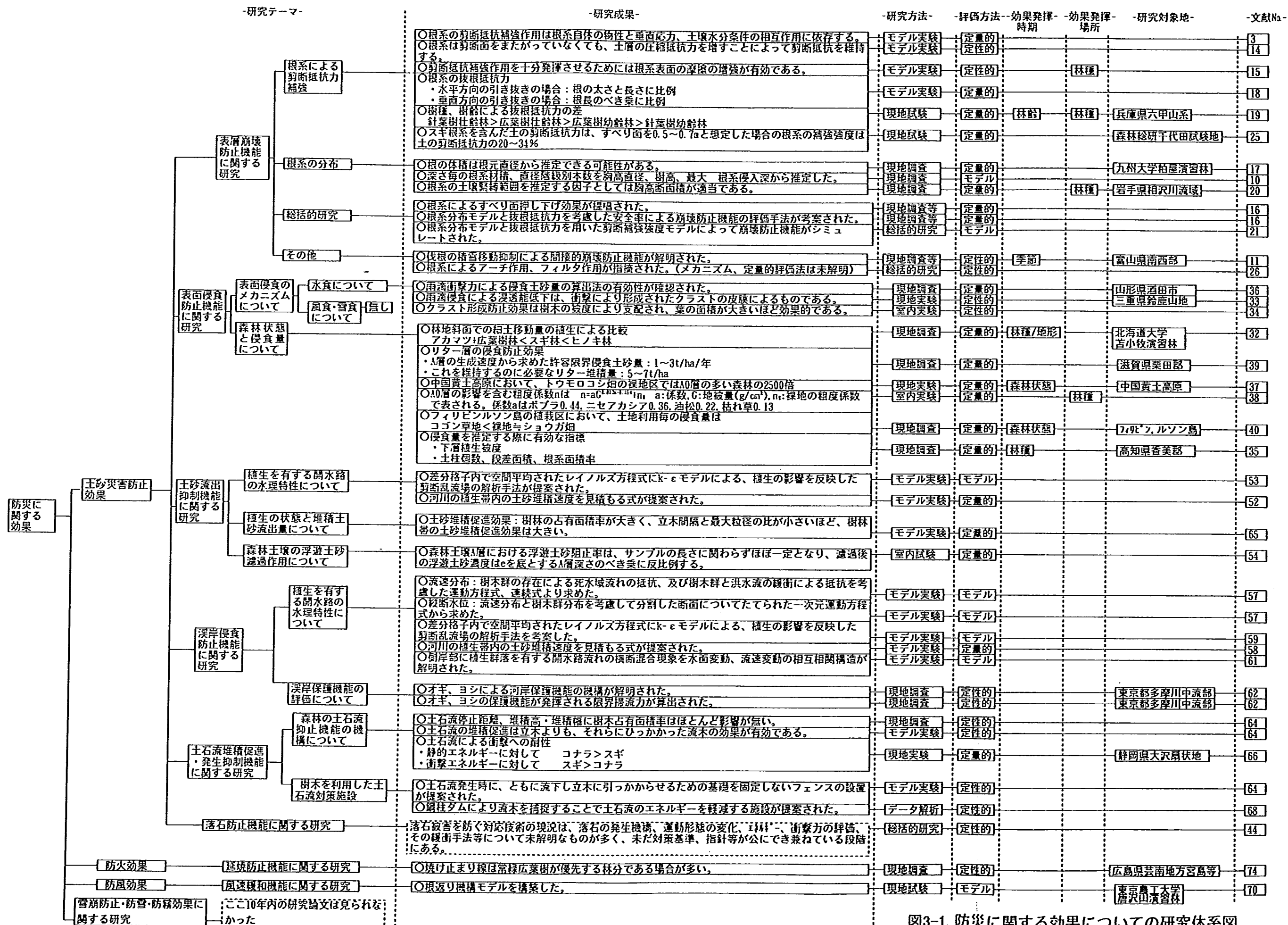


図3-1. 防災に関する効果についての研究体系図

		研究テーマ	研究成果	研究手法	評価方法	効果発揮時期	効果発揮場所	研究対象地	文献No.		
環境に関する効果について	水資源保全効果	個々の作用についての研究	融雪作用	○林内外の融雪量の違い ・常緑樹林：林外の10～40% ・落葉樹林：林外の50～80%	現地実験	定量的	季節/冬季		岩手大学滝沢演習林他	106	
			降水遮断作用	○トドマツなどの常緑針葉樹林降雪遮断蒸発量は1mm/day以上とかなり大きく、それは多くの枝層層を有するために樹冠全体の枝葉の投影面積合計が大きいからである。 ○21年生トドマツ林での冠雪としての保水量：最大20mm以上 ○1～2月までの冠雪からの平均蒸発量：0.7～2.3mm/日	現地調査 現地調査 現地調査	定量的 定量的 定量的	季節/冬季 季節/冬季 季節/冬季		札幌市羊が丘実験林 札幌市羊が丘実験林 札幌市羊が丘実験林	85 88 88	
			他の作用（無し）								
		林地斜面での水移動についての研究	○山腹斜面流出の主体：飽和側方流 ○不飽和浸透特性、地形特性を考慮した飽和側方流成分に対応するモデルが構築された。 ○融雪流出の特性 ・融雪期後半になると、直接流出の成分に比べ地下水流出成分のピークが遅れる。 ○パイプ流について ・Darcy-Weisbachの式がよく適合する。 ・「マツ」の粗度係数は根系起源のものは0.4前後、流出時以外は肉眼で確認できないタイプのものは4前後。	現地調査 現地調査 現地調査	定性的 モデル 定性的			東京都八王子市 京都大学洞生試験地	103 81		
		定量的評価を目的とした研究	○目標利水率と流況曲線から導き出した目標利水率を根拠とした理想的な森林の取り扱いの解明 ・目標利水率が大きく集約的な水利用をはかる場合は大容量貯水池と森林施業による蒸発散抑制で対処すべきである。 ○水循環モデルによる流出水量・積雪深を推定する手法が考案された。 ○帯状伐採による流出量変化 ・直接流出量：6～13%の増加 ・降雨時のピーク流量：1.16～1.41倍 ○蒸発散過程を表現するサブモデルを組み込んだ直列2段モデルによる森林水循環のモデル化された。 ・ハイドログラフの良好な再現性を得られた。 ○流域条件（地質、地形、樹種配置、蒸発散量）が河川流量に与える影響が、多変量解析により数量化された。	データ解析 データ解析 データ解析 データ解析	定量的 定量的 定量的 モデル		土地利用	京都大学洞生試験地等	80		
		定性的研究	○皆伐、新規植林による流出変化 ・無雪期：期間流出、洪水到達時間、減水特性が変化する。 ・積雪期融雪期：融雪流出期間、出水の遅れが変化する。 ○樹種の転換が流量に及ぼす影響は洪水時に大きい。 ○森林植生消失後の回復が流況平準化に与える影響は流域によって大きいところと小さいところがある。 ○目的にあわせた森林施業 ・ピーク流量の抑制：森林施業を控えて樹木の葉面積を大きく維持する。 ・低水流況の改善：積極的に森林施業を促進する。 ○広葉樹林の面積率が高い方が低水流出率が高い。 ○気温の低下、森林蓄積の減少は河川流量の増加に影響する。	データ解析 データ解析 データ解析 データ解析 現地調査等 現地調査等	定性的 定性的 定性的 定性的 定性的 定性的	季節/冬季		森林総合研究所 宝川森林理水試験地	94		
		森林土壌の作用	フィルタ作用 ○濁水捕捉機能を定量化する数値モデルの構築	室内実験	モデル						124
		化学的作用	○溪流水質に影響を与える要因 ・施肥前歴：多くの溶存物質濃度に影響 ・標高：Ca ²⁺ 、SiO ₂ に影響 ・林齢：NO ₃ -に影響	現地調査	定性的	林齢	標高				117
		酸性雨関連	○土壌水が酸性性を示す地点があっても溪流水は全て中性 ○森林によるH ⁺ の緩和量を試算→1951g ○表層土壌層と下層土壌層とでは緩和の様式が異なる ○飽和帯地下水の溶存PCO ₂ が地下水の流動と混合の影響を受けて決定されることが示唆された。	現地調査 現地調査 現地実験 現地調査	定性的 定量的 定性的 定性的			群馬県渡良瀬川上流 栃木県渡良瀬川上流 京都大学洞生水文試験地 京都大学洞生水文試験地	116 123 126 119		
		樹木自体の作用	○低いpHの林外雨が森林の階層を通過するに従い酸性が緩和される	現地調査	定性的		林種		新潟県新津市		122
	総合的研究	○降雨時流出には流域表層部の寄与が大きい ○流域の広葉樹林面積割合と表流水のTOC、BOD濃度には比較的高い正の相関が見られ、針葉樹林面積割合は負の相関が見られた。 ○湧水は流出地点によって溶存成分濃度が異なり、流出に至る経路や滞留時間に違いのあることが推定された。	現地調査 現地調査 現地調査	定性的 定性的 定性的			北海道北部天塩川水系 全国 茨城県北部		120 125 118		
	生態系維持効果	生態系維持機能に関する研究	生態系維持に関する森林の個々の作用	○森林による河川水温の調節作用 ・樹冠により日射量を1/7に抑える。 ・水温を4℃程度下げる。 ○沿岸海域への流出土砂の大部分は出水時のものである。 ○沿岸海域への出水時の土砂流出を抑制することを考慮した森林施業の必要性を指摘している。	現地調査 現地調査 現地調査	定量的 定量的 定量的	季節/夏期	河川 沿岸海域 沿岸海域	北海道大学苫小牧演習林 北海道南部原木川流域 北海道南部原木川流域	145 146 146	
			総合的研究	○森林の減少が鳥類の多様性の減少と相関があることが指摘された。	データ解析	定性的			森林総合研究所多摩試験地		147
			大気浄化効果	大気浄化機能	○都市近郊林における葉面付着粒子の大半は土壌粒子であったがその一部は人工的なものであった。	現地調査	定量的			岡山大学自然教育研究林（岡山市）	
	気象緩和効果	気象緩和機能	森林がCO ₂ の貯蔵庫が炭素源の削減は、多くの不確実要素を解消するための調査研究、温室効果ガスの肥料効果、森林管理法の改善効果を考慮すべきであり、また森林の貯蔵機能を積極的に活用した温暖化抑制対策を策定すべきである。温暖化の抑制のためには温室効果ガス放出抑制、森林の量的拡大、質的改善が必要であり、温暖化に適応するためにはその不確実性に配慮した柔軟な適応戦略が必要である。	総括的研究	定性的					132	

図3-2. 環境に関する効果についての研究体系図

3-1. 防災に関する効果

3-1-1. 土砂災害防止効果

3-1-1-1. 表層崩壊防止機能

これまで行われてきた表層崩壊防止機能についての研究は、主に樹木根系による土質強度の補強を念頭においたもので、以下のようなテーマの研究がなされている。

- ①根系による剪断抵抗力の補強について(塚本ら1989、阿部1992、執印1998など.)
- ②根系の分布について(阿部1990、錦引1989)
- ③多雪山地皆伐地における崩壊について(相浦1993、1996)
- ④総括的研究(塚本1989、阿部1997)

以下に、各研究テーマの現段階での成果について簡単にまとめる。

(1). 現段階での成果

①根系による剪断抵抗力の補強について

ここ10年来の研究の主流は、根系の剪断抵抗力補強作用を、ただ単に引っ張り抵抗力⁹⁾を計測することで評価するのではなく、その引っ張り抵抗がどのようなメカニズムで発生しているのかを検討することでより正確で、多様な条件に対応できるような評価を行うことを目指しているものである。

古くから、樹木根系が土層の剪断抵抗力を増すことは知られており、それは、剪断面を貫く根系の引っ張り抵抗による杭作用と根系ネットワークによる土壌緊縛作用によるものと考えられていた。しかし、竹下ら(1988)の以下のような研究により、引っ張り抵抗は直接剪断面にまたがって根系がある場合に限らず、崩壊体内部に根系がある場合でも圧縮抵抗によって剪断抵抗を維持することが明らかにされている。竹下らは長さ47cm、幅44cm、厚さ9.5cmの湿潤状態の砂層に1cm×1cmの角棒(長さ5, 10, 15cmの3/4¹⁰⁾)を3本組み合わせた根系模型を埋設し、砂層の下端両側5cmを不動状態として、傾斜度を増していくというモデル実験を行った。この実験では、底面と砂層との間の抵抗は根系の存在と無関係であるので根系は専ら側壁抵抗に現れると考えられる。根系模型を埋設することで、崩壊発生角度が大きくなったことから、根系が直接剪断面を貫いていなくても、剪断抵抗を維持する機能があることがわかった。

-
- 1) 引っ張り抵抗力：土層中に侵入した根系が引き抜ける、または切断されることに対する抵抗力。研究者によっては抗張力ともいう。
 - 2) 引っ張り強度試験：試験片を徐々に引っ張り、降伏点・耐力・引っ張り強さ・伸び、絞りの全て、またはその一部を測定する試験。

陶山(1988)はブナ、ケヤキ、ズミ、イタチハギ等の根系を用いて引っ張り強度試験⁹⁾を行った。試験機での根の固定状態を不完全支持状態にすることで、実際の森林土壌中の根系と同様に根系自身の引っ張り強度だけではなく、土壌との摩擦を考慮した評価を行った。試験はその結果、根系の有する抗張力を十分発揮させるためには、根系表面の摩擦の増強が有効であることがわかった。

大村ら(1990)は実験箱(30×80×90cm)に静岡市安倍川下流より採取した川砂と模型根系を埋設し、模型根系を引き抜く時の抵抗力を測定した。模型根系にはたこ糸(φ0.8~2.0mm、長さ20~80cm)、真鍮棒(φ3mm、長さ40cmの丸棒)、実物のブナ根系を用いた。このモデル実験により、剪断抵抗の増強は、水平方向引き抜きでは太さと長さに比例し、垂直方向引き抜きでは根系の側面積に比例するとの結果を得た。

執印ら(1998)は土壌水分が調節可能な一面剪断試験機と模擬根系を用いた実験で、異なる土壌水分条件下(φ:0~50cmH₂O)で根系の剪断応力補強効果を測定した。模型根系はφ0.27cmの竹串と0.17cm格子の10cm×10cmのネットを用い、供試砂は豊浦標準砂を用いた。そして、剪断応力の補強効果は根系自体の物性(弾性係数など)のみでなく、垂直応力と土壌水分条件の両方に依存した剪断強度と、根系の弾性係数の相互作用に依存していることを示唆する結果を得た。

立木での抜根抵抗力あるいは剪断抵抗力を測定した実験も行われている。田中ら(1992)は樹種毎に根元直径と抜根抵抗力の関係を現地での抜根試験により調査した。調査地は兵庫県南東部六甲山系に位置し、年平均気温は約15℃、年降水量は約1200mm、地質は花崗岩と凝灰岩が分布している。抜根試験は供試木を地上高60cmの位置で伐採し、地上高20cmにワイヤーロープを取り付け牽引機を使用して載荷した。その結果、抜根抵抗力の大きさは、針葉樹壮齢林>広葉樹壮齢林>広葉樹幼齢林>針葉樹幼齢林の順となった。

また阿部(1996)は現地で7~10年生のスギの立木根系を含んだ土層(浸水後15時間放置、飽和度93%)で油圧ジャッキで剪断試験を行った。その結果、スギ根系を含んだ土の剪断抵抗力は、すべり面を0.5~0.7mと浅く想定した場合、根系の補強強度は土の剪断抵抗力の20~34%に及ぶ結果が得られた。

②根系の分布について

樹木の根の剪断抵抗力補強作用が明らかになった後に、それを現実の斜面での表層崩壊防止機能として評価するためには、斜面土層内の根量を推定する必要がある。

錦引ら(1989)は樹木の地際の根張りを含む地上部の要素と地中の根系形状の

関係を調査した。対象とした樹木は73年生のヒノキ8本で、立木密度は1390本/ha、土層は地表から風化母材層まで約1.5mである。調査の結果、根元直径と根の体積に密接な関係が見いだされ、樹木地上部の要素から地中の根の大きさを推定しうる可能性が見いだされた。

さらに、阿部ら(1990)は胸高直径、樹高、最大根系侵入深の情報から根系分布のシミュレーションを行い、深さ毎の根系材積、直径階級別本数を推定する試みもなされた。推定対象とした樹木は胸高直径が45cmまでのスギ15本で、調査地は立地条件の異なる5カ所の地域を選んでいる。各調査地は、群馬県水上地区の豪雪地帯、新潟県小松原地区の豪雪地帯、三重県美杉地区花崗岩地帯、茨城県筑波地区の花崗岩地帯、茨城県千代田区の平坦な実験用苗畑である。全体的に実測値との適合度は高く、斜面安定解析に適用しうると考えられる結果を得た。

北田(1993)は1991年の台風19号の際に根返り⁹⁾被害が多発した奥羽山地ブナ林(林齢180年)において、根返り木124本の根鉢体積⁹⁾と胸高直径、樹高を測定した。土層は、深さ70cmほどで風化母材層に到達する。調査の結果、土壤緊縛範囲を推定する因子としては胸高断面積が適当であるとの結果を得た。

③多雪山地皆伐地における崩壊について

樹林の表層崩壊防止機能は上記のような根系による直接的な剪断抵抗力補強作用によるもの以外にも考えられる。

相浦ら(1993)は富山県南西部において、ブナ林の皆伐⁹⁾(1950年代)の後、針葉樹の造林(1960年代)が行われた多雪山地(平均最大積雪深3~4m)で発生した崩壊地の分布と地形要因の関係について数量化Ⅱ類⁹⁾により解析した。その結果、崩壊地の分布に対し、斜面の方位が最も大きな影響を与えており、降雨に起因する崩壊とは異なる特徴を示した。解析の結果から、崩壊地の分布が積雪移動の程度によって説明できると判断された。また積雪の移動による力が、積雪層に入り込んだ植生や伐根⁹⁾を介して表土層に伝わり発生したと考察している。

次いで相浦ら(1996)はブナ林皆伐後の伐根の引抜強度の変化を測定し、さらに積雪移動量と斜面雪圧の観測を行い、両者を比較することによって、伐根の転

3) 根返り：強風等により樹木が根系ごと倒れること。

4) 根鉢体積：根系が引き抜かれた際に、地面にできる引抜跡の穴の容積。

5) 皆伐：施業対象の林地の樹木を全て伐採すること

6) 数量化Ⅱ類：多変量解析の一手法。ある事象に対する諸々の要因の影響を数量化する。

7) 伐根：伐採後に残る根。切り株。

倒に伴う表層崩壊発生の可能性について検討した。抜根試験を行ったのは、伐採後5年後と9年後の伐根である。最大積雪深は3.36mで平年に比べてやや少なかった。その結果、伐採高や林分を構成する個体の大きさによっては、斜面雪圧によって伐根が転倒し、表層崩壊地を形成する可能性が示唆された。

さらに相浦ら（1996）は同地域における崩壊面積の推移を調査し、表層崩壊の発生過程を検討している。その結果、ブナ林伐採から数年は伐根によって積雪の滑動を抑制するが、伐根の腐朽、転倒によりその効果は低下する。そして植林時のソダ筋工により積雪滑動は抑制されるが、ソダの腐朽に伴いその効果は低下し、表層崩壊の発生に至る、という過程を推測した。

④総括的研究

現在、根系の崩壊防止機能の評価は、「根系のもつ剪断抵抗力の補強作用を定量的に評価し、根系の分布状態を考慮して安全率を算出する、あるいはシミュレートする」という考え方で行われている。

塚本（1989）は樹木根系による剪断抵抗力補強作用は粘着力項を補強し、根の強さは抜根抵抗力で表されるとの仮定の下で、根系分布のモデルを用い、安全率を求め根系の崩壊防止機能の評価を試みた。その結果から、樹林の崩壊防止効果のひとつとして、「根系によるすべり面押し下げ効果」を提唱した。

阿部（1997）は根系分布再現モデルと、実際の林地斜面に適用できる抜根抵抗力をを用いた実用 ΔS （剪断補強強度）モデルにより、スギ林分の斜面崩壊防止機能をシミュレートした。その結果、亀裂の多い斜面や基岩の表面で風化が進んでいる斜面では根系は崩壊防止に重要な役割を果たしていることが示された。また、スギ根系を含んだ土の原位置一面剪断試験の結果（阿部1996）に適用したところ、よく適合する結果を得た。

(2). 効果発揮時期という観点による研究成果の整理

ここでは樹林の崩壊防止機能に関する研究で、その効果発揮の時期に着目した検討がなされている研究成果についてまとめる。

田中ら（1992）は、樹木の抜根抵抗力について検討を行い、幼齡林と壮齡林の抜根抵抗力を比較している。その結果、幼齡林よりも壮齡林のほうが抜根抵抗力が大きいことが明らかになった。

また塚本（1989）によれば、伐採新植後の旧根系の腐朽、新規根系の侵入による安全率の変化を検討した結果、伐採後10年で安全率は最低値になり、10～20年で急増し20～30年目をピークに漸減していく傾向が示された。

相浦ら（1993、1996）は効果発揮時期として季節を積雪期に限定した研究を行っている。伐根が、表層土内に剪断を生じさせる原因となりうる積雪の移動を抑制する効果を検討し、その効果を示唆する結果を得た。

以上の研究成果から効果発揮の時期的観点からみた樹林の表層崩壊防止機能の発現の仕方の違いとしては次のようなことがいえる。

○樹木根系による剪断抵抗力補強作用は、成熟した樹木の方が強く、伐採が行われると伐根の腐朽の進行とともに弱体化していく。

○積雪期には伐根が積雪の滑動を抑制することで、土層の剪断発生を抑える作用が期待できる。

(3). 効果発揮場所という観点による研究成果の整理

山地斜面のタイプ（地形、地質、植生、標高、気候など）による崩壊防止機能の違いという観点で検討がなされている研究がいくつかあるので、それらについてまとめる。

陶山（1988）は樹種ごとに根系の引っ張り強度試験を行い、根系の引っ張り抵抗力はケヤキ、ズミ、がヤマザクラ、イダチハギよりも大きいとの結果を得た。

田中ら（1992）は同様の試験を行い、スギと広葉樹の引っ張り抵抗力が同程度で、ヒノキはスギの根の1/2程度であるとの結果を得た。広葉樹と針葉樹を幼齢林、壮齢林それぞれで引っ張り抵抗力を比較したところ、針葉樹壮齢林＞広葉樹壮齢林＞広葉樹幼齢林＞針葉樹幼齢林との結果を得ている。

また、相浦ら（1993）らは多雪山地皆伐地における崩壊地の分布を数量化Ⅱ類で解析した結果、分布頻度の高い地形条件は方位では南東、傾斜では30～35°以上の急傾斜地、標高では1300～1400mの標高帯、縦断形、横断形はともに凹地形であった。これらの地形条件はすべて融雪期における積雪の移動が激しいと考えられる斜面と一致していた。

山地樹林の崩壊防止機能の効果発揮場所は山地斜面に限定されるものであり、そのなかで“場所”という観点をもってなされる研究は山地斜面のタイプ、樹林の立地条件や林種、樹種ごとの比較ということになる。

樹林の立地条件や林種ごとの崩壊防止機能を統計的手法を用いて評価している研究は、過去に行われてきた⁸⁾が、ここ10年はその効果の詳細なメカニズムの解明を主たる目的としているものが見られる。

8) 例えば、「鳥飼俊治、第二室戸台風の実態調査より見た森林の山地崩壊及び溪流荒廃の防止機能について、日本林学会関西支部講演集、1964」

(4). まとめ

現在までの研究成果によって、以下のことが明らかになりつつある。

- ・樹根が土層の剪断抵抗力を補強するメカニズム
- ・樹根による剪断抵抗力補強機能を定量的に評価する手法

また、表層崩壊防止機能がどの程度までの降雨に対して有効に働くのか、という点に関して、具体的に、何mmの降雨まで、という成果は見られなかった。ただし土壌水分と根系の剪断応力増分の関係を調査した結果、どのような土壌水分状態でも剪断応力は増加するが、飽和、不飽和の境界付近でその増分がピークに達することが明らかになっている。

樹林の表層崩壊防止機能に関する研究の最終的な目標が、「斜面の安定度を評価する際に樹木根系の影響を正しく反映させること」であると考えれば、実際に定量的評価の試みが既に幾つかなされていると言える（例えば阿部1997）。しかし、現段階ではそのような評価手法の適用条件は、ある特定の樹種や地質についてであるなど、限られたものである。

-研究テーマ-		-研究成果-	-研究方法-	-評価方法-	-効果発揮- 時期	-効果発揮- 場所	-研究対象地-	-文献No.-
表層崩壊 防止機能 に関する 研究	根系による 剪断抵抗 力補強	○根系の剪断抵抗補強作用は根系自体の物性と垂直応力、土壌水分条件の相互作用に依存する。	モデル実験	定量的				3
		○根系は剪断面をまたがっていても、土層の圧縮抵抗力を増すことによって剪断抵抗を維持する。	モデル実験	定性的				14
		○剪断抵抗補強作用を十分発揮させるためには根系表面の摩擦の増強が有効である。	モデル実験	定性的		林種		15
		○根系の抜根抵抗力 ・水平方向の引き抜きの場合：根の太さと長さに比例 ・垂直方向の引き抜きの場合：根長のべき乗に比例	モデル実験	定量的				18
		○樹種、樹齢による抜根抵抗力の差 針葉樹壮齢林>広葉樹壮齢林>広葉樹幼齢林>針葉樹幼齢林	現地試験	定量的	林齢	林種	兵庫県六甲山系	19
		○スギ根系を含んだ土の剪断抵抗力は、すべり面を0.5~0.7mと想定した場合の根系の補強強度は土の剪断抵抗力の20~34%	現地調査	定量的			森林総研千代田試験地	25
	根系の分布	○根の体積は根元直径から推定できる可能性がある。	現地調査	定量的			九州大学粕屋演習林	17
		○深さ毎の根系材積、直径階級別本数を胸高直径、樹高、最大根系侵入深から推定した。	現地調査	モデル				10
		○根系の土壌緊縛範囲を推定する因子としては胸高断面積が適当である。	現地調査	定量的		林種	岩手県相沢川流域	20
	総括的研究	○根系によるすべり面押し下げ効果が提唱された。	現地調査等	定量的				16
		○根系分布モデルと抜根抵抗力を考慮した安全率による崩壊防止機能の評価手法が考案された。	現地調査等	定量的				16
		○根系分布モデルと抜根抵抗力を用いた剪断補強強度モデルによって崩壊防止機能がシミュレートされた。	総括的研究	モデル				21
	その他	○伐根の積雪移動抑制による間接的崩壊防止機能が解明された。	現地調査等	定性的	季節		富山県南西部	11
		○根系によるアーチ作用、フィルタ作用が指摘された。(メカニズム、定量的評価法は未解明)	総括的研究	定性的				26

図3-3. 表層崩壊防止機能に関する研究の体系図

3-1-1-2. 表面侵食防止機能

樹林は、水食、風食、雪食の3種の侵食に影響を与える。山地斜面においては水食、特に雨滴と地表流による侵食が大きな問題となるものであり、山地樹林の表面侵食防止機能の研究のほとんどがこれらの侵食に対する研究である。雨滴、地表流による侵食の大まかなメカニズムは、次のように考えられている。

○雨滴の衝撃によって団粒構造¹⁾が破壊され、浸透能が低下する。

○浸透能の低下により地表流が発生しやすくなり、侵食が起こる。

また、雨滴の衝撃により、地表面の土粒子が分散すること自体、雨滴による表面侵食である。

山地樹林の水食を防止する作用は、

- ・ 樹幹、根系、落葉落枝による地表流の流速低下作用
- ・ 有機物の供給、樹冠、下層植生、リター層²⁾の降雨遮断などによる団粒構造の増強、保護すなわち浸透能増強維持がもたらす、地表流発生抑制作用
- ・ 樹冠、下層植生、リター層の降雨遮断による表土の分散を防ぐ雨滴侵食軽減作用

のように分類できる。

現在、もっとも報告が多いのは浸透能増強・維持による地表流発生抑制作用に関する研究である。

ここ10年の研究は次のように分類できる。

①水食のメカニズムについて（柳原1992、湯川ら1995など。）

②樹林状態と侵食量の関係について（塚本1989、服部ら1992、北原ら1993など。）

①はおもに水食及び樹林によるその抑制効果のメカニズムに関する研究であり、前述した水食の概略のどの段階についての研究かということできさらに細分化できるが、研究数が多くないので、ここでは1項目にまとめる。以下に各研究テーマの現段階での成果についてまとめる。

-
- 1) 団粒構造：土粒子が有機物などにより集合体となったもの。これにより多様なサイズの孔隙が形成される。
 - 2) リター層：土壌層位の最表層であり、完全には分解されていない落葉落枝の層。

(1). 現段階での成果

①水食のメカニズムについて

柳原（1992）は山形県酒田市の県有の海岸防風林（クロマツ林：樹高、数m～十数m）を試験地として、枝下高や樹冠厚といった条件の違いによる雨滴衝撃力と雨滴による侵食土砂量の差について実験を行い、侵食土砂量算出方法について検討した。さらに、解析に当たり、過去の測定結果（ネットによる被覆）も参考とした。実験中の降雨状況については「前線の通過に伴う比較的強い雨が断続的に降る傾向があったが、弱い雨が降る場合もあった。18回の降雨で最大降雨量は60mmであった。」と記されている。被覆条件毎に侵食量と林内降雨量及び雨滴衝撃力の関係を求めた結果、以下のような知見が得られた。クロマツによる被覆で、枝下高、樹冠厚、樹冠面積率が異なる複数の地点について測定、解析を行った結果、雨滴衝撃力に比べ、降雨量の方が侵食量との相関が高かった。

しかし、クロマツによる被覆と、ネットによる被覆について同様の解析を行った結果、雨滴衝撃力と侵食量についての両者の相関近似式と比較して、降雨量と侵食量についての相関近似式の方が、各被覆の近似式に大きな差が生じた。このことから、異なる被覆条件下において侵食量を降雨から推定する場合、降雨量では被覆条件毎に近似式を求める必要があるが、雨滴衝撃力を用いれば、一式で表せる可能性を指摘している。

湯川ら（1995）は下層植生の失われた林地における浸透能の低下の現状と原因を明らかにするために、三重県鈴鹿山地において下層植生の被覆状態が様々なヒノキ林において、土壌の浸透能と土壌物理性の測定を行った。浸透能は、散水型浸透計を用い、散水強度400～500mm/hで測定した（森林土壌の浸透能は400mm/h程度が最高値であるといわれている）。それらの測定から下層植生の失われた林分は下層植生の繁茂する林分と比較して浸透能が低く、粗孔隙率が高いという結果を得た。また、林床の裸地化したヒノキ林では土壌硬度が高く浸透能が低い特徴をもった乾燥した皮膜が観察された。この皮膜を雨滴侵食によるクラスト³⁾であると推測した。さらに湯川ら（1995）は母材の異なる土壌を入れた容器に様々な植生を植え、降雨実験を行ない、下層植生のクラスト形成抑止効果について調査した。降雨実験は平均降雨強度148mm/hで1.2mの高さから散水した（平均雨滴エネルギーは2,210J/s/m²）。その結果、植生が雨滴エネルギーを抑制し、クラスト形成を妨げる効果は被度により支配されるが、葉の面積が大きいほど効果的であることがわかった。

3) クラスト：地表面の目詰まりによって形成される難透水性の皮膜。

②樹林状態と侵食量の関係について

侵食の個々の現象についてメカニズムを解明して侵食防止機能を評価するのではなく、様々な条件下での侵食量とその条件を分析することで樹林の効果を評価しようという試みもなされている。

塚本(1989)は林地斜面での細土の移動量をアカマツ+広葉樹林(A)、スギ林(S)、ヒノキ林(H)で測定した。調査地は「年降水量は3307mmで、約80%が4~9月に集中する夏雨型の多雨地」とのことである。その結果、細土の年間移動量は地被物の量と質の違いを反映して $A < S < H$ となった。

服部ら(1992)はヒノキ純林へのアカマツの混交と林床のササが、土砂とリターの流亡防止に及ぼす影響を現地実験により定量的に把握した。さらに落葉堆積量と侵食土砂量の関数関係を人工降雨を用いて実験的に検討し、リター堆積の効果を数量化した。A層⁴⁾の生成速度から、許容限界侵食土砂量を検討し、1-3t/ha/年(近畿地方の花崗岩地帯についての値)と見積もった。人工降雨実験(30mm/h、継続時間1時間)の結果から侵食土砂量と落葉堆積量について、以下のような関数を示した。

ヒノキ葉 $E = 1.43 \exp(-4.08 * L)$

ヒノキ、アカマツ混交葉 $E = 1.43 \exp(-4.71 * L)$

裸地 $BARE = \exp(-3.87 * L)$

E: 侵食土砂量(g/区画) L: 落葉堆積量(g/区画) EXP: 指数関数 を表す。

ヒノキ、アカマツ混交林において許容限界侵食土砂量を維持するのに必要なリター堆積量が5-7t/haであることを導いた。

侵食を防止するために必要なリター層の量を算出しており、その中でリターの量と侵食土砂量の関係を近似式で表している。ただし、対象としたリターの種類はヒノキ葉とヒノキ、アカマツ混交葉のみである。

北原ら(1993)は表面侵食による被害が甚大な中国黄土高原において、地表流に関する現地水理実験を土地利用別に行って粗度係数と侵食強度を算出し、それらとA層及び草量との関係について検討した。水理実験は、実験区に枠を設け、上流側より一定流量を供給し、下流側でもう一度流量を測定するものである。その結果、トウモロコシ畑の裸地区での侵食量がA層の多い森林の2500倍となった(このときの上流側流量は裸地で0.8335ml/cm/sでA層の多い森林は0.8915~2.065ml/cm/s)。そして黄土高原における森林地のA層の侵食防止効果は、日本の事

4) A層: 土壌層位の表層であり、腐植を比較的多く含み、黒褐色ないし、暗褐色を呈する。

例以上に極めて大きいと考えられると指摘している。

さらに北原ら（1994）は、室内水理実験を行い、植物種別に A_0 層量と粗度係数の関係について検討した。実験は集中流下が発生しないように配慮し、流量 $0.9 \sim 1.0 \text{ m}^2/\text{cm}/\text{s}$ 、水路の勾配を 15° に固定して行った。その結果、粗度係数 n は次式で表せることがわかった。

$$n = aG^{1.072 \pm 0.154} + n_0 \quad \text{ここで、} a: \text{係数、} G: \text{地被量 (g/cm}^2\text{)、} n_0: \text{裸地の粗度係数}$$

係数 a は植物種によって異なり、ポプラ 0.44 、ニセアカシア 0.36 、油松 0.22 、枯れ草 0.13 であった。

小野寺（1993）はフィリピン・ルソン島中部の植栽区（年平均雨量 2200 mm ）において、森林形態、地表条件の違いが表層土の侵食と浸透能の変化に及ぼす影響を調査した。その結果、侵食量は裸地、ショウガ畑で多く、草地では少なかった。浸透能は、リターや有機物が厚く堆積し、根系が良好に発達し、土壤動物の活動に起因する多くの孔や糞塊が観察されるような林床で高かった。これらのことから、荒廃地への森林造成により、土壤が多孔質な構造に変化し、そのことが土壤の浸透能や水土保持機能の増大に結びついていることが確かめられた。

塚本ら（1998）は数量化分析によるヒノキ人工林の侵食危険度判定基準作成の第一段階として、侵食強度の簡易評価に利用可能な間接的指標の抽出を試みた。地被物の異なる4つのプロットにおいて細土移動量を測定した。各プロット間の下層植生被度⁹⁾及び土柱個数、段差面積¹⁾、根系面積率の大小関係の序列は直接的指標である細土移動量の序列とほぼ一致しており、それらの間接的指標としての有効性を指摘した。

(2). 効果発揮時期という観点による研究成果の整理

樹林の表面侵食防止機能において、重要な役割を果たしているのは遮断作用を発揮する樹冠であり、葉である。葉量は季節の影響を受けるものだが、この季節と表面侵食防止機能の関わりを検討した研究はみられなかった。

塚本（1989）は、冬期の凍結、融解現象が細土移動量に及ぼす影響を検討している。その結果から、凍結融解現象は細土移動量に大きな影響を及ぼさないとの結論を述べている。

服部ら（1992）はヒノキ純林へのアカマツの混交と林床のササが、土砂とリタ

5) 被度：林冠が地上を覆っている度合い。うっ閉度。

6) 土柱個数、段差面積：いずれも礫や根系によって表面侵食から部分的に保護されることによって形成されるもの。

一の流亡防止に及ぼす影響を現地実験により定量的に把握した。その中で、侵食土砂量、流亡リター量の季節変化を検討している。その結果、侵食土砂量、流亡リター量共に、最大値は夏期の7~9月に、最小値は冬期11月~12月に出現する傾向が見られ、調査地での降水量の季節変化とよく符合しているとのことであった。

樹齢、林齢による表面侵食防止機能の違いを検討するための研究もみられなかった。林齢や季節は被度、リター堆積量に影響を及ぼし、被度、リター堆積量は表面侵食量に影響を及ぼす。被度、リター堆積量と表面侵食量の関係についての研究はあるが、季節、林齢によって被度、リター堆積量が変わり、それによって侵食量がどのように異なるか、という研究はみられなかった。

(3). 効果発揮場所という観点による研究成果の整理

効果発揮場所についての研究としては、斜面のタイプによる侵食量の違いを検討している研究がある。

塚本(1989)は林地斜面での細土の移動量をアカマツ+広葉樹林(A)、スギ林(S)、ヒノキ林(H)で測定した。その結果、年間移動量は地被物の量と質の違いを反映してA<S<Hとなった。また、各林種毎に、斜面の傾斜、形状が”豪雨時の細土移動量の増加量”に及ぼす影響の大小を比較した。その結果、Sにおいては、斜面が緩である場合、形状が凹である場合、に増加量が多いという傾向が明らかであった。Aはどの場合も小さく、Hの場合はどの場合も大きく、どちらも斜面の傾斜、形状の違いによる侵食量の差はあまり見られなかった。

上記の塚本の論文では侵食量に対するリター層の違いの影響が大きいということも述べられているが、より明確に、下層植生、リター層の状態による違いを検討しているものがある。

北原ら(1993)は土地利用別の粗度係数と侵食強度を算出し、それらとリター層及び草量との関係について検討した。その結果、トウモロコシ畑の裸地区の侵食量がリター層の多い森林の約2500倍であった。

さらに北原ら(1994)は、粗度係数がA₁層量を含めた地被量のべき乗式で表現され、その係数が植物種によって異なり、ポプラ0.44、ニセアカシア0.36、油松0.22、枯れ草0.13であることを明らかにした。

小野寺(1993)は森林形態、地表条件の違いが表層土の侵食と浸透能の変化に及ぼす影響を調査した。その結果、侵食量は裸地、ショウガ畑で多く、草地では少なかった。浸透能は、リターや有機物が厚く堆積し、根系が良好に発達し、土壌動物の活動に起因する多くの孔や糞塊が観察されるような林床で高かった。

湯川ら(1995)は下層植生の被覆状態が様々なヒノキ林において、土壌の浸透能と土壌物理性の測定を行った。測定から、下層植生の失われた林分は下層植生

の繁茂する林分と比較して浸透能が低く、粗孔隙率が高いという結果を得た。また、林床の裸地化したヒノキ林では土壌硬度が高く浸透能が低い特徴をもったクラストの皮膜が形成されていた。

これらの研究により、土地利用状況などによる下層植生、リター層の違いが侵食量に影響を及ぼすことが明らかになっている。

(4). まとめ

これまでの研究成果により、以下のことが明らかにされている。

- ・樹種による表面侵食防止機能の差異
- ・雨滴の衝撃による浸透能低下機構

また、表面侵食防止機能がどのような条件下で発揮されるかという点については、リター層の質と量によって、豪雨時における表面侵食防止機能の低下割合が異なることが明らかにされている。

樹林の表面侵食防止機能についての研究の、現在のおおまかな流れとしては、雨滴侵食による浸透能低下現象を解明し、樹林の効果を把握する、それとはまた別に総合的な何らかの侵食量の指標を用いて樹林の機能を定量化する、というものである。細かいメカニズムの科学的検証よりも総合的な定量的評価（統計的手法による）を行った研究が多い。

-研究テーマ-		-研究成果-	-研究方法-	-評価方法-	-効果発揮- 時期	-効果発揮- 場所	-研究対象地-	-文献No.-
表面侵食 防止機能 に関する 研究	表面侵食の メカニズム について	水食について	○雨滴衝撃力による侵食土砂量の算出法の有効性が確認された。	現地調査	定量的		山形県酒田市	36
		風・雪食 について	○雨滴侵食による浸透能低下は、衝撃により形成されたクラストの皮膜によるものである。	現地実験	定性的		三重県鈴鹿山地	33
			○クラスト形成防止効果は樹木の被度により支配され、葉の面積が大きいほど効果的である。	室内実験	定性的			34
	樹林状態と 侵食量につ いて	無し	○林地斜面での細土移動量の植生による比較 アカマツ<広葉樹林<スギ林<ヒノキ林	現地調査	定量的	林種/地形	北海道大学 苫小牧演習林	32
			○リター層の侵食防止効果 ・A層の生成速度から求めた許容限界侵食土砂量：1~3t/ha/年 ・これを維持するのに必要なリター堆積量：5~7t/ha	現地調査	定量的		滋賀県栗田郡	39
			○中国黄土高原において、トウモロコシ畑の裸地区ではA ₁ 層の多い森林の2500倍	現地実験	定量的	森林状態	中国黄土高原	37
			○A0層の影響を反映させた粗度係数nは次式で表される。 $n=aG^{0.002n+0.154}n_0$ a:係数, G:地被量(g/cm ²), n ₀ :裸地の粗度係数 係数aはポプラ0.44, ニセアカシア0.36, 油松0.22, 枯れ草0.13	室内実験	定量的	林種		38
			○フィリピンルソン島の植栽区において、土地利用毎の侵食量は コゴン草地<裸地<ショウガ畑	現地調査	定量的	森林状態	フィリピンルソン島	40
			○侵食量を推定する際に有効な指標 ・下層植生被度, 土柱個数, 段差面積, 根系面積率	現地調査	定量的	林種	高知県香美郡	35

3-1-1-3. 土砂流出抑制機能

土砂流出抑制機能とは、いったん発生した崩落土砂を斜面下方の森林で阻止し、下流へ流出するのを抑制する機能である。これに関しては、現時点においては河道内に侵入した土砂の流出を抑制するという意味で、植生による河川、溪流の流速低下という溪岸侵食防止効果に関する研究と重なるが、以下のように大別できる。

- ① 植生を有する開水路の水理特性について（清水ら1992、池田ら1992）
- ② 植生の状態と堆積土砂流出量について（水山ら1989、1993）
- ③ 森林土壌の浮遊土砂濾過作用について（大倉ら1994）

①では純粹に水理特性を検討しているのであるが、その根底に植生による土砂流出抑制機能の解明という視点があるものについて、ここに取り上げる。

(1). 現段階での成果

① 植生を有する開水路の水理特性

清水ら（1992）は河床に存在する植生をrigid¹⁾な透過性粗度とみなし、そこに形成される剪断乱流場を記述するモデルとして、差分格子内で空間平均されたレイノルズ方程式に $k-\epsilon$ モデル²⁾を採用した鉛直2次元の数値計算法を提案した。この計算法による結果と水理実験結果を比較したところ、良い適合が見られた。

池田ら（1992）は河川の植生帯内の土砂堆積速度を見積もる式を提案した。土砂堆積に関する実験を行い、上記理論の妥当性を確かめるとともに、水制を設置すると植生境界に発生する水平渦の構造が変化し、水面変動が増大して横断方向拡散能が変化して浮遊砂などの物質の植生帯内への搬入量が増大することが示された。ただし、この研究は植生が倒伏、引拔が起こらないという仮定の下に行われている。

② 植生の状態と堆積土砂流出量について

水山ら（1989）は樹林帯の流れに対する抵抗特性と土砂堆積促進効果について水路実験を行い検討した。水路実験は可変勾配水路を用い、フルード数を0.48～1.33の範囲で行った。その結果、樹林占有面積率³⁾が大きく、立木間隔と土砂の最大粒径の比が小さいほど、樹林帯の土砂堆積促進効果は大きくなった。

1) rigid：堅い・曲がらない・しっかり固定した・動かない

2) $k-\epsilon$ モデル：乱流解析モデルの一つで乱れの運動エネルギー k と、その散逸率 ϵ の輸送方程式から求められる。

3) 樹木占有面積率：樹木の本数密度×樹木の平均断面積

占有面積率が 2.5×10^3 以上になると河道断面積が小さくなり、水深、流速を増し、掃流力が増加し、樹林帯の土砂堆積促進効果は減少した。

さらに水山ら（1993）は世界の火山噴火後の土砂流出現象を検討しており、噴火後、最初の1年に土砂流出のピークがあり、翌年から減少していくが、噴火前の状態に戻るまでの年数は場合によってまちまちであることを指摘した。そして、火山砂防計画を策定する上で、平行して植生の回復状態を調査し、それに応じて計画を変更していく必要性を指摘している。

③森林土壌の浮遊土砂濾過作用について

大倉ら（1994）は侵食土砂の森林土壌による捕捉、という観点から、森林土壌の濁水濾過機能の定量的評価に向けて、 A_0 層を含んだ森林土壌を用いた予備実験を行い、その機能の検証を行った。茨城県八郷町の筑波山北斜面落葉広葉樹林内において、アクリル円筒により山地斜面の A_0 層を含んだ森林土壌を採取した。そのサンプル上端より一定濃度の濁水を散水し、下流から流出する濁水の浮遊土砂濃度を吸引濾過により測定した。サンプルの厚さは7, 16, 21cmの3段階で行った。散水した濁水濃度は概ね3200-3400ppm、散水強度は0.5cm/min、散水時間はサンプル厚7, 16cmが40分間、21cmが150分間とした。

その結果、森林土壌 A_0 層における浮遊土砂阻止率は、サンプルの長さに関わらずほぼ一定となり、濾過後の浮遊土砂濃度は e を底とする A_0 層深さのべき乗に反比例することがわかった。

(2). 効果発揮時期という観点による研究成果の整理

土砂流出抑制機能についての研究では季節、樹齢、林齢に関する検討を行った研究は見られず、現段階では植生の配列や密度についてのみである。

(3). 効果発揮場所という観点による研究成果の整理

土砂流出抑制機能についての研究のほとんどは、流路内の樹木が土砂流出量に及ぼす影響について検討している。植生は流路内において、流速の低下、流れの攪乱によって掃流力を減少し、溪床土砂の掃流、浮流といった二次移動を抑制していることが明らかになっている。

(4). まとめ

これまでの研究により、以下のような成果があげられる。

- ・ 流路内、周辺の樹林が掃流、浮流土砂を捕捉、固定するメカニズムの水理的解明

大倉らによる研究以外は全て流路内の樹林の土砂流出抑制機能についてであり、斜面上の樹林についての研究成果が少ない。

土砂流出抑制機能が、どのような条件下で発揮されるか、という点については、降雨量についての条件は特に見られなかったが、河道内の樹林が土砂の堆積を促進する効果がフルード数に制限されることが明らかになっている。「樹林帯の影響はフルード数が小さい常流領域では顕著で樹林帯が無いときの2倍近くにも達するのに対し、射流になるとその影響は小さくなる。」(水山ら、1989) のことであり、河道内の樹林による土砂流出抑制機能は洪水時ではなく、平水時にその効果が発揮されると考えられる。

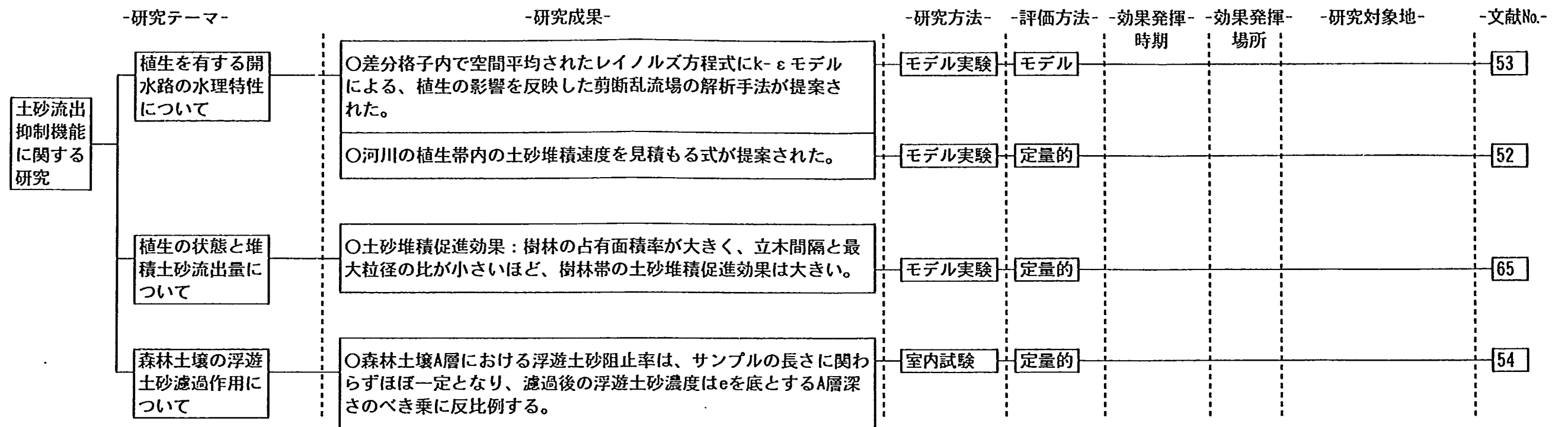


図3-4. 土砂流出抑制機能に関する研究の体系図

3-1-1-4. 溪岸侵食防止機能

樹林の溪岸侵食防止機能に働く作用としては

- ・樹林による流速低下
- ・根系による溪岸の剪断抵抗力補強

が考えられる。前者は溪流の水理に及ぼす影響で、後者は溪岸そのものが侵食されにくくする作用である。現在の研究は以下のようなテーマに分類できる。

- ①植生を有する開水路の水理特性について（福岡ら1992、1994、清水ら1992など）
- ②植生による溪岸保護機能の評価について（福岡ら1994）

現在の研究のほぼすべてが前者に属するもので、②のようにはっきりと植生による溪岸侵食防止機能に関する研究であるとうたわれているもの、あるいは根系による溪岸の剪断抵抗力補強という観点で行われた研究は極めて少ない。

(1). 現段階での成果

①植生を有する開水路の水理特性について

福岡ら（1992）は河道内の樹木群の存在による死水域流れの抵抗、及び樹木群と洪水流の緩衝による抵抗を考慮に入れた運動方程式と連続式より水深平均流速の横断分布を求めた。次にこの流速分布と樹木群分布を考慮して分割した断面についてたてられた一次元運動方程式から縦断水位を求める式を導いた。これらの式を、石狩川の昭和56年洪水に適用し、洪水資料の実測値と比較したところ、実用上十分な精度で予測できることがみいだされた。

さらに福岡ら（1994）は樹木群の流体抵抗に起因する平面渦によって水位、流速が周期的に変動し、これが流れ場の構造に影響を与えることを指摘し、現象の平均像だけでなく、平面渦に起因する混合の機構の解明を試みた。その結果、平面2次元解析から求めた平面的な流速分布と水面変動状況、及び卓越波長の解析結果は実験結果をよく説明し、十分な精度で見積もることが可能となった。

清水ら（1992）は河床に存在する植生をrigidな透過性粗度とみなし、そこに形成される剪断乱流場を記述するモデルとして、差分格子内で空間平均されたレイノルズ方程式に $k-\epsilon$ モデルを採用した鉛直2次元の数値計算法を提案した。この計算法による結果と水理実験結果を比較したところ、良い適合が見られた。

池田ら（1992）は河川の植生帯内の土砂堆積速度を見積もる式を提案した。土砂堆積に関する実験を行い、上記理論の妥当性を確かめるとともに、水制を設置すると植生境界に発生する水平渦の構造が変化し、水面変動が増大して横断方向拡散能が変化して浮遊砂などの物質の植生帯内搬入量が増大することが示され

た。ただし、この研究は植生が倒伏、引拔が起こらないという仮定の下に行われている。

辻本ら（1994）は側岸部に植生群落を有する開水路流れの横断混合現象を水面変動、流速変動の相互相関構造の実験的検討から調べた。さらに、「植生域、非植生域をそれぞれ別々に一次元化し、両流路の相互作用を境界面で交番する横流出入流速で代表させた解析から、こうした相関構造の水理学的解釈を試みるとともに、低周波変動による横断混合が付加抵抗を生じさせる過程」を説明した。なお、水路実験は流れの3次元性が顕著となるのを避けるため、水位は植生高さ以下の流れを対象としている。

②植生による溪岸保護機能の評価について

福岡ら（1994）は洪水流や航行する船の造る波の河岸に生育しているオギやヨシがどの程度の河岸侵食軽減機能を有するかを現地観測によって調べている。オギやヨシの生育環境、これらの植生が河岸侵食を軽減する機構を明らかにした上で、オギやヨシを河岸保護に活用する場合、保護機能が発揮される限界流速を理論的に算定し、これが工学上有効であることを現地観測結果によって明らかにしている。具体的には、オギは河岸にヒサシ状に垂れ下がり、河岸を保護する働きがあり、水没深1mとした場合、流速が2m/s以下であれば0.8m以上のヒサシ長さを保持することが可能であることがわかった。ヨシは、河岸近傍の低水路河床に生育し、河岸を保護し、ヨシ原は「大きな流速が生じない限り侵食されない」ことがわかった。

(2). 効果発揮時期という観点による研究成果の整理

溪岸侵食防止機能についての研究で、季節、樹齢、林齢に関する検討を行ったものはみられなかった。

(3). 効果発揮場所という観点による研究成果の整理

これまでに述べたように流路内あるいは溪岸の植生の機能について研究しているものがみられる。

(4). まとめ

ここにあげた、植生を有する開水路の水理特性についての研究の多くは、植生による溪岸侵食防止機能の解明を主目的としたものではなく、粗度としての植生が河川氾濫に及ぼす影響の解明の前段階として行われている基礎的研究である。しかし、中には植生の溪岸侵食防止機能についても言及している論文もあり、そのような応用が考えられる研究についてもここで取り上げている。これまでの研究で以下のことが明らかになっている。

- ・ 流路内の植生は流速を低下させ、土砂の移動を抑制する。
- ・ 溪岸に生育するオギ、ヨシは河岸侵食を抑制し、河岸保護工として洪水時の流水に耐えうる。

また、溪岸侵食防止機能がどのような条件下まで発揮されるかという点については、溪岸保護機能を発揮する植生がどの程度の流速まで耐えうるか、ということが明らかになっている。また、現地での観測結果より、河岸をヒサシ状に保護するオギは洪水中、洪水減水時にその効果を発揮することが明らかにされている。

流路内の植生は洪水時に粗度となることで氾濫を誘発するという考え方が根底にあったためか、植生の溪岸侵食防止機能を積極的に評価した研究は少ない。

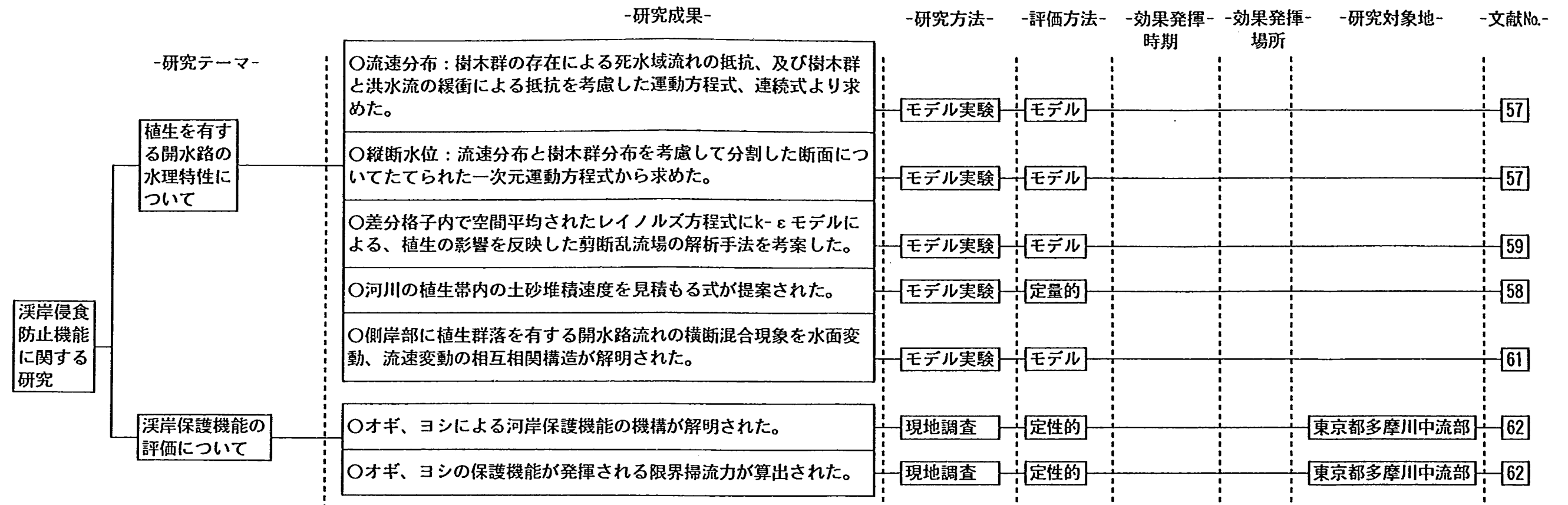


図3-5. 渓岸侵食防止機能に関する研究の体系図

3-1-1-5. 土石流堆積促進・発生抑制機能

樹林の土石流に対する機能として、土石流に含まれる石礫が樹林と衝突することで、土石流の運動エネルギーを減少させ、堆積を促進する機能があると考えられている。また樹林は表層崩壊防止機能、土砂流出抑制機能が溪床への崩土の侵入を防ぎ土石流の発生を抑制する働きがある。これらの土石流に対する機能についての研究例は少ないが、以下のようなテーマに分類した。

①樹林の土石流抑止機能の機構について

②樹林の土石流に対する耐性について

(1). 現段階での成果

①樹林の土石流抑止機能の機構について

水山ら（1989）は崩土と土石流を対象に、扇状地上の樹林がそれらの氾濫地点からの土砂の到達距離を短くする効果、土砂を広く堆積させる効果、土砂を平均的に堆積させる効果などについて、主に樹木占有面積率の観点から基礎的な実験を行った。土石流に対する効果の実験は、幅15cm、長さ4m、勾配17°の水路に砂礫を5cm厚で敷設し、毎秒2ℓの水を与えて土石流を発生させた。その結果、土石流に対する効果としては、堆積面に自然に存在する樹林の占有面積率の範囲内では氾濫停止距離、堆積高、堆積幅の変化はほとんど見られなかった。しかし、土石流中に流木が多く含まれる場合は立木に流木がひっかかり、それにともなってレキが停止している例もあった。そこで基礎を固定しないフェンスを樹木間に設置した実験では、樹木間にひっかったフェンスによって土石流の運動エネルギーを減少させる結果となった。

竹下（1992）は林木の土石流かん止機能について過去の土石流災害の事例からその実態、機能を活用しうるような対策を検討した。そして、立木よりも倒、流木の機能に着目し、旧扇状地が段丘化した箇所や谷幅の広い溪間部などに鋼柱ダムを設置することで、流木を捕捉すると同時に、その係留された流木で土石流を抑止するという施設を提案した。

②樹林の土石流に対する耐性について

水山ら（1990）は土石流に含まれる石礫が立木と衝突した場合を想定し、コナラの立木のエネルギー吸収能力を現地試験により検討し、スギでの結果と比較した。静的引き倒し試験、衝撃载荷試験は上载荷重として立木の根元に土石流の重量に相当する鉄板（802kgf）を積み重ね、3段階の含水状態で行った。その結果、静的エネルギーの吸収能はコナラの方が大きく、衝撃エネルギーはスギの方が大きかった。

(2). 効果発揮時期という観点による研究成果の整理

土石流堆積促進・発生抑制機能についての研究で、季節、樹齢、林齢に関する検討を行っているものはみられなかった。

(3). 効果発揮場所という観点による研究成果の整理

土石流は、斜面から流路にかけておこり、扇状地に堆積する。樹林によって扇状地での堆積を促進する機能についての研究がある。

水山ら（1989）は、扇状地上の樹林において土石流中に流木が多く含まれる場合に、立木に流木がひっかかり、それにともなってレキが停止している場合があることを指摘している。このことから、土石流とともに流下させ立木にひっかかるための、基礎を固定していないフェンスを扇状地の林内に設置する土石流対策施設を考案した。

対して、竹下（1992）は同様に立木に流木が捕捉されることによる土石流の抑止機能に着目し、旧扇状地が段丘化した箇所や谷幅の広い溪間部に鋼柱状のダムを設け、その鋼柱に林内での立木と同様の効果を発揮させる土石流対策施設を提案している。

樹種による土石流の衝撃への耐性を検討した研究がある。

水山ら（1990）はコナラとスギの衝撃への耐性を比較している。その結果、静的エネルギー（単純梁の曲げ試験、静的引き倒し試験による）の吸収能はコナラが大きく、衝撃エネルギーはスギの方が大きいとの結果を得た。

(4). まとめ

樹林の土石流を抑止する機能に関する研究成果から以下のことがいえる。

- ・扇状地における自然の林地では、立木そのものが抵抗となって土石流を抑止する機能は期待されるほどの効果を発揮しない。
- ・流木が立木、あるいは何らかの施設に引っかかることによって、流下してくる土石流のエネルギーを軽減する効果がある。

また、この機能の効果が発揮される限界条件については、樹木がどの程度の衝撃力まで耐えうるか、との検討がなされている。しかし、どの程度の規模の土石流にまで耐えうるか、という結論は現段階では明示されていない。

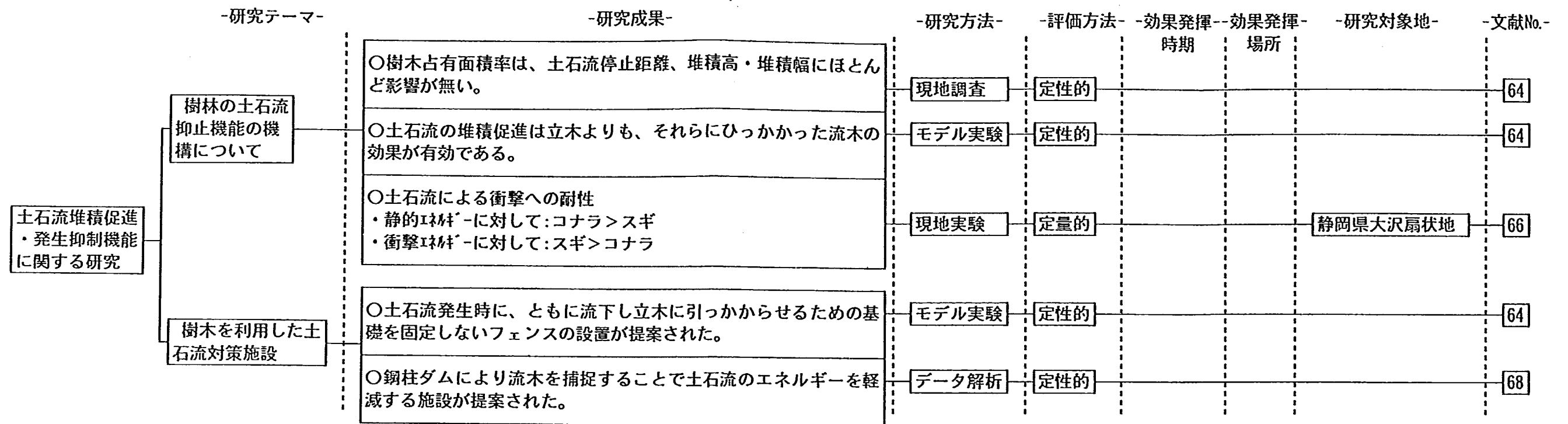


図3-6. 土石流堆積促進・発生抑制機能に関する研究の体系図

3-1-2. その他の防災に関する効果

土砂災害防止効果以外に、期待される防災機能としては、雪崩防止機能、風速緩和機能、延焼防止機能、吹雪防止機能、大気水分捕捉機能があげられる。

ここ10年で研究されている効果・機能としては

①風速緩和機能

②延焼防止機能

についてのみである。他の機能については、今回の検索（研究対象を山地樹林に限った場合）では、ここ10年内に行われた研究は見られなかった。

(1). 現段階での成果

①風速緩和機能について

樹林の風速緩和機能を考慮する際に、樹木がどの程度の風速に耐え得るのかを評価しなければならないが、その点を検討した研究がある。

正野ら（1998）は台風などによる根返り機構解明のため、根系の発揮する根返り抵抗力を求めることを目的とした根返り機構モデルを構築した。このモデルの特徴は根返りを樹体から離れたところに回転軸をもつ軸回転運動とした点、樹体の回転角ごとに根返り抵抗力を求めた点等が挙げられる。スギ、ヒノキ立木引き倒し試験の結果を用いてこの根返り機構モデルを検証したところ、根の摩擦係数、変形係数など不確定要素を残すものの、上に凸の樹体回転角-樹体の根返り抵抗モーメント曲線を再現することが可能であることがわかった。

②延焼防止機能について

この延焼防止機能については、山地樹林に限らなければ、阪神大震災の際に、緑地帯が延焼を防いだ例などから、多くの研究がなされている。山地樹林に限った場合、林野火災の焼け止まり線について以下のような研究が見られた。

中根（1988）は焼け止まり線と地表火跡地の林分を類別化した。調査地は広島県芸南地方で1984年と1986年に林野火災が発生した5箇所である。いずれの調査地点も温暖寡雨で、年降水量は1438～1585mmである。調査の結果、全焼け止まり線のうち85%が樹林であり、その98%はシダの植被率25%以下でさらに同林分の94%はアカマツ、スギの被度が低いところであった。さらに焼け止まり線は常緑広葉樹が優占する林分の頻度が高かった。

(2). 効果発揮時期という観点による研究成果の整理

雪崩防止機能、風速緩和機能、延焼防止機能、吹雪防止機能、大気水分捕捉機能について、季節、樹齡、林齡についての検討が行われた研究はみられなかった。

(3). 効果発揮場所という観点による研究成果の整理

前述した中根ら（1988）の延焼防止機能についての研究では、林野火災の焼け止まり線がどのような所に分布しているのかを検討している。

焼け止まり線となった箇所の階層¹⁾ごとの植生、被度を検討した結果、下層植生の植被率が低いほど、アカマツ、スギの被度が低いほど、焼け止まり線になりやすい傾向が見られた。また焼け止まり線は、地形的には谷部が最も多い（56%）が尾根や斜面上部でも見られた。

(4). まとめ

山地樹林の雪崩防止機能、風速緩和機能、延焼防止機能、吹雪防止機能、大気水分捕捉機能といった諸機能の研究は、検索対象とした学会においては、ここ10年の報告を見る限り極めて少ない。これらの機能については過去に定性的な研究は行われている。検索対象とした学会以外で研究が発表されている可能性が考えられる。

ここ10年の研究で以下のような成果があげられている。

- ・ 焼け止まり線となる頻度の高い植生が明らかになった。
- ・ 根返り機構モデルを構築した。

これらの機能が発揮される限界条件については、根返り抵抗力について、樹木の引き倒し試験が行われ、その実験結果としてのピーク応力がある。しかし、それがどの程度の風速にまで耐えうるか、という結論には達していない。さらに、それが樹木の根返り抵抗力の上限を求めるための実験ではなく、根返り機構モデル構築を目的としたものであるため、その値を樹木の根返り抵抗力の上限と言う意味で示されてはいない。

1) 階層：森林は高木層、低木層、草本層といった階層に区分される。

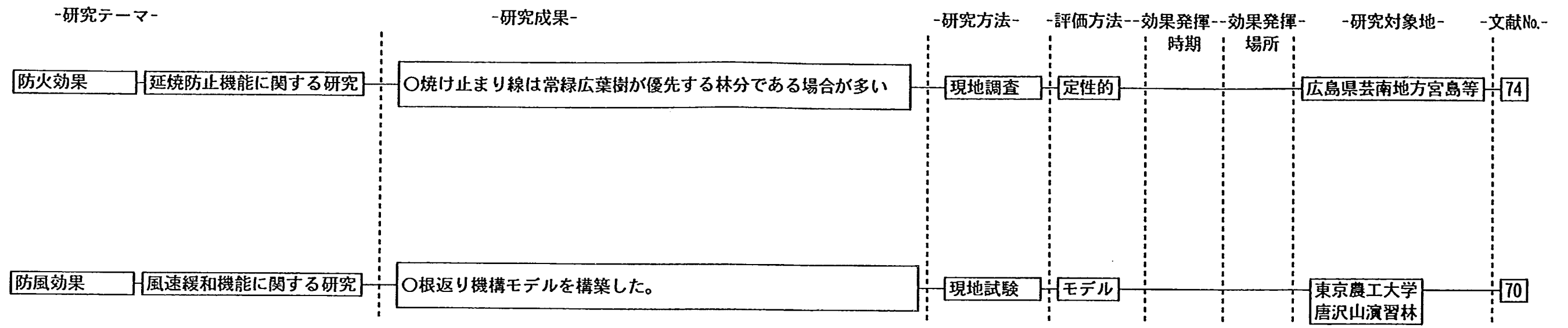


図3-7. 延焼防止機能・風速緩和機能に関する研究の体系図

3-2. 環境に関する効果

3-2-1. 水資源保全効果

3-2-1-1. 水量調節機能

樹林の水量調節機能は、水循環に樹林の以下のような作用が働くことによるものである。

- ・ 降水遮断作用
- ・ 蒸散作用
- ・ 林地面蒸発抑制作用
- ・ 浸透能増強維持作用 など

これらの作用は流出量にプラスに働くものもあればマイナスのものもあり、河川の流量を平準化させると考えられている。水量調節機能に対する研究は、以下のよう

①融雪及び降水遮断作用に関する研究（太田ら1990、中井ら1993、1995）

②林地斜面での水移動に関する研究（窪田ら1988、志水1994、北原1997など。）

③樹林の水量調節機能の定量的評価を目的とした総合的研究（鈴木1988、福嶺ら1989、志水1994など。）

④樹林の水量調節機能についての定性的研究（志水ら1992、藤枝1995、石井1998など。）

(1). 現段階での成果

①融雪及び降水遮断作用に関する研究

ここに取り上げられている作用はすべて雪に関するものである。

太田ら（1990）は森林内融雪の定量化をはかる基礎的研究として、森林内外での気象観測、全天日射量を人工的に変化させた表層融雪実験ならびに上記の結果に基づき熱収支法により森林内融雪量の変動範囲を推定した。調査は岩手山南面490m地点において行われた。その結果、常緑樹林内の融雪量は森林外の約10～40%に、落葉樹林内でも約50～80%に減少することが予想され、落葉樹林が融雪に与える効果も評価してゆく必要があることが指摘された。

中井ら（1993）は降雪の遮断蒸発量を調べることを目的として、林内外の最大積雪水量、林内外の降雪量、冠雪量ならびに冠雪からの蒸発量、の諸測定を行った。調査地は札幌市羊ヶ丘の森林総研実験林内における14林分である。同林分は

傾斜 3° 以下の北向き斜面であった。調査の結果から、林外降雪水量 58mm 、林内降雪水量 28mm の時、遮断蒸発量が 29mm と算出した(ただし気象条件の具体的な値、最高気温が 0°C を上回る日が数日あったが、冠雪の融解の影響をどのように扱ったか等は明記されていない)。トドマツなどの常緑針葉樹林降雪遮断蒸発量は 1mm/day 以上とかなり大きく、それは多くの枝階層を有するために樹冠全体の枝葉の投影面積合計が大きいことによると推定した。

さらに中井ら(1995)は札幌市の密な21年生トドマツ林において冠雪量の収支に関する観測を行った。その結果、冠雪としての保水量は最大 20mm 以上になった。また温暖な時期には降雪中と降雪後をのぞいて、冠雪の完全な消失がしばしば見られた。次に森林内外の降水量の収支によって1~2月の8~14日間ごとの積算蒸発量を求めた結果、各期間(平均気温 -4.0°C 、相対湿度77%)の平均蒸発量は $0.7\sim 2.3\text{mm/日}$ の範囲であった。

②林地斜面での水移動に関する研究

窪田ら(1988)は不飽和浸透特性と地形特性の影響を考慮した斜面流出モデルをさらに飽和側方流¹⁾成分にも対応するモデルに改良した。このモデルを、滋賀県琵琶湖東南に位置する川向試験流域内の一支流(1985年までの7年間の平均で年降水量 1617.2mm 、年流出量 821.9mm)に適用した。その結果、水収支、ハイドログラフ、土壌水分の変化、地下水位発生域等の観測結果が良好に再現された。特に地下水位発生域については、降雨規模による変化が再現され、斜面流出モデルの有効性が確認された。

太田(1988)は山腹斜面における降雨流出機構を検討するため、新第三紀丘陵性山地において、土層構造の調査、水分変動・地下水位変動の観測を行った。その結果、飽和側方流が山腹斜面流出の主体であることを確認し、従来の地表流出を重視したvariable source area conceptではなく、飽和側方流の発生を重視するvariable source volume conceptともいうべき考え方を提案した。

志水(1990)は電導度と比流量との相互関係から融雪流出ハイドログラフを直接流出成分と地下水流出成分に分離した。次に両成分の経時変化と融雪流出水の供給源である対象流域の積雪分布の経時変化を検討することにより融雪期における流出過程について検討した。その結果、融雪期後半の直接流出成分にくらべ地下水流出成分のピークが遅れるという特徴があることがわかった。

北原(1994)は森林土層中の水移動形態の中で極めて大きな比重を占めると考

1) 飽和側方流：降水により斜面内に形成された飽和帯の余剰水が斜面下方に移動する流れ

えられるパイプ流²⁾について、実態観測及び水理実験をもとに、その特性を明らかにした。その結果、パイプ流はマトリクス流に対して明らかに卓越していた。根系起源のパイプを含んだ非攪乱土壌サンプルの透水試験の結果、パイプ流はDarcy-Weisbachの式がよく適合し、Manningの粗度係数は根系起源のパイプが0.4前後であった。パイプの諸特性を組み込んだモデルは、観測値と比較的よく一致した。ただし、この研究で示されたモデルは「パイプの合流分岐は考慮しない」「パイプ断面は円形とし粗度は一様とする」など多くの仮定のもとに成り立っている。

③樹林の水量調節機能の定量的評価を目的とした総合的研究

鈴木(1988)は山地流域からの流出に与える森林の影響を評価するために、流況曲線を用いて流況を定量的に比較する流況解析法を提案した。この解析法は、安定した水利用の水準を示す指標として水不足率 Wd^* を流況曲線より定義し、新たに導入された目標利水率 a 、無次元貯水容量 SM^* に対する水不足率 Wd^* のふるまいを調べるものである。検討の結果、目標利水率が大きく集約的な水利用をはかるときは、大容量貯水池と蒸発散抑制で対処し、逆の場合は流出遅延による流況の一様化をはかるべきであることがわかった。

福嶋ら(1989)は、滋賀県西部の安曇川支流に流入する梁谷の本流流域(70.0 ha)とその内部流域(4.06 ha)で積雪期、無雪期を通して実施された水文観測結果を水循環モデルに適用した。その結果本流流域に比べ内部流域では小降雨の場合を除けば直接流出成分が多いが、直接流出や基底流出に関する運動そのものは、すべて本流流域と同一の定数値で記述された。また、樹種と樹齢はおもに直接流出の量と運動に、地質は基底流出の運動に関係することを示唆する結果を得た。

さらに福嶋ら(1989)は、積雪期における、積雪・融雪・流出の過程を総合的に解析した。日平均気温と降水量を入力とする結果としてはまず良好な計算積雪深と計算流量を算定できたが、より適合度を向上させるには雨・雪の判断の改良と多雪年での融雪モデル自体の改良を要する。この研究では日中は2.0℃、夜間は1.5℃以下の時の降水は雪であると判断している。

端野ら(1992)は森林水収支の定量的評価を目標として、土壌水分構造を考慮した直列2段タンクモデルをベースに蒸発、蒸散の各水文素過程を表現するサブモデルとして総合化した森林水循環モデルを徳島県、茨城県の試験地での観測データに適用し、流域の水収支より水源かん養機能の評価を試みた。その結果、ハイドログラフの再現性は全般に良好であり、ほぼ妥当な水収支結果を得た。また、

2) パイプ流：腐朽した樹根や土壌動物の移動痕跡などに由来する巨大間隙内の流れ。

同モデルを用いて異なる土地利用形態で流出シミュレーションを行ったところ、従来の知見と定性的に一致する結論を得た。

志水（1994）は森林総合研究所宝川森林利水試験地の1号沢流域を対象に、伐採面積率で52.5%の等高線に沿った帯状伐採を実施し、温暖期の長期的な流出に及ぼす影響について解析を行った。その結果、伐採後流出量は増加傾向を示した。これは蒸発散量の変化によるものであるが、短期水収支法による蒸発散量の解析から、帯状伐採によって6月から10月までの蒸発散量が66.3mm減少すると算定された。

さらに志水（1994）の解析によって、帯状伐採により、直接流出量は流出率で6-13%の増加が認められ、連続降水量が100mmを越える場合のピーク流量は1.16-1.41倍との結果を得た。これらの値は皆伐試験による値と比較して小さな値となることが示された。そして、伐採前のハイドログラフと比較した結果、初期損失量がわずかに小さくなることが認められた。このような流出特性の変化には森林植生の減少にともなう降水遮断量、蒸発散量の減少、及び土湿条件の変化が密接に関係していると推察した。

高木（1997）は複雑なバランスをもつ森林の水の出入りを水源かん養機能として具体的でわかりやすい評価を試みた。過去10年間の8流域のダム流況データを利用して、目的変数を豊水、平水、低水、渇水流量、説明変数を地質、地形、樹齢配置、蒸発散量として多変量解析を行った。その結果、緩斜面面積率、森林面積が大きいほど、高い流出がみられ、林地生産力の高い地質⁹ほど、主流勾配が急なほど、蒸発散指数、谷密度が高いほど低い流出をもたらす傾向がみられた。

④樹林の水量調節機能についての定性的研究

定量的評価を目的としている、というのは樹林の効果を具体的な数量で現すことを目的としているもので、定性的研究は、どのような影響を何に与えているか、ということを明らかにすることを目的とするものである。中には定量的モデルを開発し、その上で水量調節機能について定性的な検討を行っている研究もある。例えば、樹林の水量調節機能を水循環モデルによって定量的評価を行ない、さらに、それでは樹林をどのように扱えばよいか、ということ定性的に表現しているものがみられた。

3) 林地生産力の高い地質：肥沃な土壌を形成しやすい、あるいは崩壊や侵食により荒廃しにくい等、樹林の生育に適した地質。

志水ら(1992)は、林種転換が行われた森林総合研究所宝川試験地の初沢流域の林況の異なる林分を対象にして、流出の経時変化について解析を行った。各林分は年降水量2100mm前後、年平均気温が8℃前後で大きな差は無い。解析の結果、林況変化による流出変化は、雨であるか雪であるかという流域への入力形態の違いにより、無雪期と積雪融雪期とで大きな差が認められた。無雪期では期間流出量、洪水到達時間、減水特性が、積雪・融雪期では融雪流出の開始時期、融雪流出期間、出水の遅れ時間⁴⁾がそれぞれ変化することが明らかになった。さらに流出特性は森林の伐採により一時的に変動するが、森林の回復とともにやがてもとの状態にもどる傾向が認められた。

藤枝(1995)はブラジル・サンパウロ州海岸山脈の亜熱帯森林流域における水文観測とその結果に基づくモデル化により、森林流域に生起する樹冠遮断、地表流出、土壤水分貯留及び流出という水文現象の実態解明を行った。調査地は年平均気温16.5℃、平均年降雨量2319.4mmで、年降雨量に対する雨期の降雨量の割合は71%である。調査の結果、海岸山脈の森林流域特性は浸透性が良好で、河川の流況は年間を通じて安定し、乾期の流出量はこの期間の降雨量より多いことを明らかにした。さらに流出過程のモデル化を行い、推定精度のよい水収支モデルを開発した。このモデルから水収支への森林の影響は①年降雨量の水収支への配分割合、②流域貯留量の変動、③水移動の時間遅れ⁵⁾、として水文学的に計量評価できることをしめした。さらに熱帯地域における森林の流出過程への影響は暖・温帯よりも大きいこともわかった。

石井ら(1997)は秋田県米代川水系の林種転換が行われた流域で、森林蓄積量と降水量、気温の変動に伴うダム流入量への影響を重回帰分析により求めた。平均流量に対する3変数の寄与の順位は年降水量>森林蓄積>年平均気温である。一方、渇水時流量に対する寄与の順位は森林蓄積>年降水量>年平均気温である。なお、森林蓄積の減少は平均流量及び渇水時流量の増加に作用することが認められた。

さらに石井ら(1998)は夏期の河川流量と降水量、平均気温および森林蓄積の関わりを調べた。その結果、降水量の増加、気温の低下、森林蓄積の減少は河川流量の増加に影響することがわかった。また河川流量が大きいときはそれは降水流量の寄与が大きく、河川流量が小さいときは気温、森林蓄積の影響も大きくな

4)出水の遅れ時間：ここでは気温のピークに対する流出水のピークの遅れのこと。

5)水移動の時間遅れ：降雨が土層中に浸透し、基底流量として流路に流出するまでに時間遅れが生じる。ここでは降雨と流出の応答関係の時間遅れのこと。

ることがわかった。

小川ら(1997)は森林の変化が水源涵養機能に及ぼす影響を林野火災跡地と健全地との比較検討、植生回復の影響などについて1994年の異常渇水で得られたデータを加えて検討した。森林が伐採、破壊すると蒸発散量が減少し、年流出量が増加することがわかった。また、健全流域と複数の被災流域の流況曲線を用いて森林による流出量の平準化を検討した結果、森林植生の回復が流況平準化に影響する流域と影響が小さい流域があることを示唆する結果を得た。

端野ら(1997)は、徳島県那賀川水系長安口ダム流域(流域面積494.3km²)を対象として、著者らの開発してきた森林水循環モデルをデータの整備された過去約30年間の日雨量、日流量、日平均気温および森林樹木の履歴データ(枝打ちなどの森林施業に伴う森林状態の変化)に適用することで、洪水軽減および渇水緩和の両面から森林樹木が水源かん養機能へ及ぼす影響の評価を試みた。調査流域は渇水年でも2500mm/年程度であり多雨年では優に5000mm/年を越えることがある。調査の結果、ピーク流量の抑制に重点を置くならば森林施業を控えて樹木の葉面積を大きく維持しておく方が得策であり、逆に低水流況の改善に重点を置くならば、積極的に森林施業を促進すべきであることがわかった。

イリシャットら(1998)は、植生、土地利用形態と渇水年・豊水年の水文・水質データの解析を行った結果、広葉樹林の保水機能が発達し、面積率の高い方が低水流出率が大きい傾向があり、針葉樹林の方が水の蒸発散量が大きく、渇水年には気温による年平均流出率への影響が大きいことがわかった。

(2). 効果発揮時期という観点による研究成果の整理

冬季に効果発揮時期が限定される、樹冠遮断などによる融雪特性の変更という作用に関するものがあげられる。

太田ら(1990)は常緑樹林内の融雪量は森林外の約10~40%に、落葉樹林内でも約50~80%に減少することが予想され、落葉樹林が融雪に与える効果も評価してゆく必要性があることを指摘した。

中井ら(1993)は常緑針葉樹林の冠雪からの蒸発量は平板上の雪からの蒸発量に単位水平面積当たりの枝階層数を乗じた大きさになることを推定した。

さらに中井ら(1995)は、温暖な時期には降雪中と降雪後をのぞいて、冠雪の完全な消失がしばしば見られ、調査の結果、森林内外の降水量の収支によって1~2月の8~14日間ごとの積算蒸発量を求めた結果、各期間の平均蒸発量は0.7~2.3mm/日の範囲であることが認められた。

志水(1990)は融雪期後半の直接流出成分にくらべ地下水流出成分のピークが遅れることを明らかにした。

これらの結果をまとめると、冬季の樹林の水量調節機能として次のようなことがいえる。樹林は樹冠遮断により、降雪を保持し、地表面に直接積もるよりも表面積が広くなるため蒸発が促進され、融雪流出量を減少させる効果がある。

この他に、季節、樹齢、林齢による水量調節機能の違いを考慮に入れたモデルが考案されている。

福嶋ら（1989）は、積雪、融雪過程を組み込んだ水循環、モデルを開発した。多雪年に適用するためには改良を要するが全般的な流出特性を再現することに成功している。さらに樹齢の影響についても検討しており、樹齢はおもに直接流出の量と運動に関係することを示唆する結果を得ている。

さらに、伐採、新規植林後の経過年ごとの流出特性変化について検討を行っている論文もみられた。

志水ら（1992）は皆伐→植林後の長期水文観測結果から流出の経時変化について解析を行った。その結果流出特性は森林の伐採により一時的に変動するが、森林の回復とともにやがて元の状態に戻る傾向がみられた。

(3). 効果発揮場所という観点による研究成果の整理

樹林の水量調節機能の効果発揮場所は山地樹林であるためすべて、斜面において機能がはたらき、その効果が発現する場所は河川、溪流に限定されるが、林地斜面のタイプによる水量調節機能の違いを検討している研究はいくつか見られた。

高木（1997）は目的変数を豊水、平水、低水、渇水流量、説明変数を地質、地形、樹齢配置、蒸発散量として多変量解析を行った。その結果、緩斜面面積率、森林の樹齢構成面積率が大きいほど、高い流出がみられ、林地生産力の高い地質ほど、主流勾配が急なほど、蒸発散指数、谷密度が高いほど低い流出をもたらす傾向がみられた。

福嶋ら（1989）は、積雪期、無雪期を通して実施された水文観測結果を水循環モデルに適用した際に樹種、樹齢、地質の影響を検討している。その結果、樹種と樹齢はおもに直接流出の量と運動に、地質は基底流出の運動に関係することを示唆する結果を得た。

(4). まとめ

樹林の水量調節機能についての研究の歴史は古く、対照流域試験、多変量解析による土壌の貯水能の定量化等の試みが多くなされている。個々の作用に関する研究も盛んに行われ、様々な水循環モデルが提案されている。ここ10年の研究で以下のような成果があげられている。

- ・ 樹林による降雪遮断が積雪、融雪期の流出に及ぼす影響の解明
- ・ 飽和側方流、パイプ流といった斜面流出の重要成分の定量的評価
- ・ 評価対象の条件や評価の目的に応じた水量調節機能の評価手法の考案

樹林が洪水時のピーク流量を低減し流況を平準化するが、渇水流量の減少もまねくことが明らかになっている。これは遮断蒸発、蒸散作用によるものであり、太田（1996）は森林施業によってそれを調節できると指摘している。さらに、森林による蒸発散が大気循環を通じて地球気候システム、具体的には地球の降水特性に影響を与えることも指摘している。

-研究テーマ-			-研究成果-	-研究方法-	-評価方法-	-効果発揮- 時期	-効果発揮- 場所	-研究対象地-	-文献No.-
水量調節 機能に関 する研究	個々の 作用に ついて の研究	融雪作用	○林内外の融雪量の違い ・常緑樹林：林外の10～40% ・落葉樹林：林外の50～80%	現地実験	定量的	季節/冬季		岩手大学滝沢演習林他	106
			○トドマツなどの常緑針葉樹林降雪遮断蒸発量は1mm/day以上とかなり大きく、それは多くの枝階層を有するために樹冠全体の枝葉の投影面積合計が大きいからである。	現地調査	定量的	季節/冬季		札幌市羊が丘実験林	85
		降水遮断 作用	○21年生トドマツ林での冠雪としての保水量：最大20mm以上	現地調査	定量的	季節/冬季		札幌市羊が丘実験林	88
			○1～2月までの冠雪からの平均蒸発量：0.7～2.3mm/日	現地調査	定量的	季節/冬季		札幌市羊が丘実験林	88
	他の 作用	無し							
	林地斜面での水移 動についての研究		○山腹斜面流出の主体：飽和側方流	現地調査	定性的			東京都八王子市	103
			○不飽和浸透特性、地形特性を考慮した飽和側方流成分に対応するモデルが構築された。	現地調査	モデル			京都大学桐生試験地	81
			○融雪流出の特性 ・融雪期後半になると、直接流出の成分に比べ地下水流出成分のピークが遅れる。	現地調査	定性的	季節/冬季		森林総合研究所 宝川森林理水試験地	101
			○パイプ流について ・Darcy-Weisbachの式がよく適合する。 ・マンングの粗度係数は根系起源のものは0.4前後、流出時以外は肉眼で確認できないタイプのものは4前後。	室内実験等	定性的				96
	定量的評価を目的 とした研究		○目標利水量と流況曲線から導き出した目標利水率を根拠とした理想的な森林の取り扱いの解明 ・目標利水率が大きく集約的な水利用をはかる場合は大容量貯水池と森林施業による蒸発散抑制で対処すべきである。	データ解析	定量的		土地利用	京都大学桐生試験地等	80
			○水循環モデルによる流出水量・積雪深を推定する手法が考案された。	データ解析	定量的	季節/冬季		琵琶湖西部安曇川支流	84
			○帯状伐採による流出量変化 ・直接流出量：6～13%の増加 ・豪雨時のピーク流量：1.16～1.41倍	データ解析	定量的			森林総合研究所 宝川森林理水試験地	86
			○蒸発散過程を表現するサブモデルを組み込んだ直列2段モデルによる森林水循環のモデル化された。 ・ハイドログラフの良好な再現性を得られた。	データ解析	モデル			徳島県白川谷試験地 等	110
			○流域条件（地質、地形、樹齢配置、蒸発散量）が河川流量に与える影響が、多変量解析により数量化された。	データ解析	定量的	林齢	地質、地形等	福岡市	107
	定性的研究		○皆伐、新規植林による流出変化 ・無雪期：期間流出、洪水到達時間、減水特性が変化する。 ・積雪期融雪期：融雪流出期間、出水の遅れが変化する。	データ解析	定性的	季節/冬季		森林総合研究所 宝川森林理水試験地	94
			○樹種の転換が流量に及ぼす影響は渇水時に大きい。	データ解析	定性的			秋田県米代川水系	91
			○森林植生消失後の回復が流況平準化に与える影響は流域によって大きいところと小さいところがある。	データ解析	定性的			広島県江田島町	108
		○目的にあわせた森林施業 ・ピーク流量の抑制：森林施業を控えて樹木の葉面積を大きく維持する。 ・低水流況の改善：積極的に森林施業を促進する。	データ解析	定性的			徳島県那賀川水系	109	
		○広葉樹林の面積率が高い方が低水流出率が大きい。	現地調査等	定性的		林種等	全国	92	
		○気温の低下、森林蓄積の減少は河川流量の増加に影響する。	現地調査等	定性的			秋田県米代川水系	90	

図3-8. 水量調節機能に関する研究の体系図

3-2-1-2. 水質浄化機能

樹林が流出水の水質に影響を及ぼすのは一般的に次のような作用によるものであると考えられている。

- ・ 葉や枝に付着した大気中の微粒子の流出
- ・ 植物自体からの物質の溶出
- ・ 森林土壌によるフィルタ作用
- ・ 森林土壌による化学的作用

このうち、水質の”浄化”に働く作用は森林土壌によるフィルタ作用・化学的作用である。現在の樹林の水質浄化機能についての研究を上記の作用に基づいて以下のよう分類した。

- ①森林土壌のフィルタ作用・化学的作用について(大類ら1993、1994、加藤ら1995、大手ら、1997など.)
- ②樹木およびリター層の水質への影響について(高田1997)
- ③総合的研究(佐藤ら1994、イリシャットら1998)

(1). 現段階での研究成果

①森林土壌のフィルタ作用・化学的作用について

まず森林土壌が流出水質に与える影響を化学的に検討した研究についてまとめる。

大類ら(1993)は群馬県渡良瀬川上流に位置するスギ・ヒノキからなる五つの小集水域において、土壌水や溪流の水質調査を行い、土壌から溪流への水質変化過程について検討した。調査流域は、砂岩、粘板岩を母材とし、1978~1991年での平均の年降水量が1687mmである。調査年の年降水量は2080mmであり、平年に比べて多かった。調査の結果、土壌水が強酸性を示す場合があったが、溪流水はどの集水域でも中性であった。このことは母材風化にともなう鉱物からのSiO₂などの物質の湧出が関与していることが示唆された。

さらに大類ら(1994)は溪流水質にどのような要因が影響しているかを渡良瀬川上流に位置する30余りの森林小集水域を対象に、溶存物質濃度をもとに検討した。調査流域の母材は一部が花崗閃緑岩である以外は砂岩、粘版岩、あるいは花崗閃緑岩との接触変成をうけたホルンフェルスである。調査は原則として無降雨日に2日間以内に行った。その結果、施肥前歴が多くの溶存物質の濃度に影響し、硝化作用とそれに伴うイオン交換や鉱物の破壊の促進があることが示唆され

た。また、 Ca^{2+} と SiO_2 は施肥前歴以外に採水点の標高の影響を受け、 NO_3^- 濃度は施肥前歴以外に林齢が大きく影響していた。

加藤ら（1995）は茨城県北部のスギ、ヒノキ人工林において表層から最下層部までの土壤溶液を採取するとともに、湧水を採取し、溶存成分の動態と土壤特性や水移動との関係について検討した。調査地は、日立変成岩類に属する結晶片岩を母材とし、年降雨量は1992年が1177mmと少なく、1993年は1623mmと多雨であった。その結果、湧水は土層深部や基岩層を経由した水と、土壤の比較的浅い層を流動する水が混合して流出することが示唆された。また湧水は流出地点によって溶存成分濃度が異なり、流出に至る経路や滞留時間に違いのあることが推定された。

森林土壤の化学的作用に関する研究の中でも、純粹に流出水質への影響を調べるというものではなく、酸性雨に対する土壤の緩衝能に着目した研究がみられた。

浜田ら（1996）は滋賀県南部に位置する桐生水文試験地において、森林流域での土壤中の CO_2 ガスのプロファイルと地下水の溶存 PCO_2 ²⁾の季節変化を測定した。調査流域は風化花崗岩を母材とし、1972～1981年の平均の年降水量は1671.8mmであった。斜面傾斜は 15° 以下の緩傾斜が62.8%である。調査の結果地下飽和帯地下水では、地下水面が接する不飽和土壤層の厚さに応じた CO_2 濃度とは一致しないことがわかった。このことから、飽和帯地下水の溶存 PCO_2 が地下水の流動と混合の影響を受けて決定されることが示唆された。

福田ら（1997）は、栃木県渡良瀬川上流域において夏～秋期間の降雨の酸性度と降雨量、流出水の酸性度と流量を連続的に測定し、森林流域の酸性雨緩和機能を量的に評価することを試みた。調査地は風化の進んだ粘版岩が母材の主体であり、土壤は過去の荒廃により大部分が流亡している。pHは4.0～5.0の酸性を示すことから植生の生育環境は良くない。調査の結果、期間中の日雨量の最大、最小、平均値のpHと、それに対応する流出水のpHを比較したところどの場合も酸性から中性になっていた。H⁺の緩和量を試算すると4ヶ月のトータルで1951gであることが判明した。

大手ら（1997）は滋賀県南部に位置する花崗岩森林流域において行われた水質・水文観測と表層土壤ライシメーターを用いた原位置実験の結果をもとに、土壤層での浸透過程における緩衝様式の分布について検討した。その結果、表層土壤層と下層土壤層とは異なる緩衝様式が存在することが明らかになった。流域レベルの緩衝能を検討する場合、表層土壤層の緩衝能ばかりでなく下層土壤層の風

2) 溶存 PCO_2 : 溶存二酸化炭素分圧。溶液に溶けている気体全部のうち二酸化炭素の分圧を%で表す。

化過程の評価が重要であることが指摘された。

もう一つの森林土壌の水質浄化機能である、フィルタ作用についての研究として以下のものがあげられる。

池田ら（1993）は森林土壌層の有する濁水捕捉機能を定量化する数値モデルを構築した。濁水が土壌層内を浸透することにより濾過される過程、すなわち土壌層の濁質捕捉率を土壌層のpH試験の結果から推定するモデルを提案した。この濁水捕捉モデルを二次元不飽和浸透流計算に組み込み、土壌層に流入した濁水が清澄化される過程を数値的に再現した。

②樹木およびリター層の水質への影響について

酸性雨に対する森林の緩衝機能として、森林土壌の効果以外に、樹木、下層植生、リター層の効果について検討した研究がある。

高田（1997）らは林床植生及びそのA_h層に着目し、林床部における降雨の性質変化と酸に対する緩衝能について検討した。調査地は海岸から約20km離れた新潟県新津市の林冠がほぼ閉鎖した30年生のスギ人工林である。調査の結果降雨の空間的性質変化という視点から、低いpHの林外雨が森林の階層¹⁾を通過するに従い、順に酸性が緩和されていることがわかった。また林床タイプの比較ではササ型がシダ、常緑低木型のA_h層に比べて酸の緩衝能が高いことが明らかになった。なお、この研究は1996年9月から1997年3月までのデータを解析している。

③総合的研究

佐藤ら（1994）は道北地方における森林の水質調整機能を評価するための第一段階として森林流域の降雨時流出の水質に対する森林の影響について、流域地質の影響を考慮しながら検討した。その結果、降雨時の流出水は褐色に着色し、流域表層部より大量の有機物の流出を示していた。このことは、降雨時流出には流域表層部の寄与が大きいことを示唆している。

イリシャットら（1998）は、森林植生の特性が森林流出水に及ぼす影響を調べるため、人為的影響の少ない水道水源の水質分析を行った。その結果、流域の広葉樹林面積割合と表流水のTOC、BOD濃度には比較的高い正の相関が見られ、針葉樹林面積割合は負の相関が見られた。このことから森林植生による流出水質への影響が認められた。

1) 階層：森林は高木層、低木層、草本層といった階層に区分される。

(2). 効果発揮時期という観点による研究成果の整理

樹林の水質浄化機能に関する研究で、季節、樹齢、林齢といった観点で検討を行った研究がいくつかみられた。

大類ら(1994)は、森林の様々な要因が水質に与える影響を解析し、林齢が NO_3^- 濃度に大きく影響していることを明らかにした。

季節変化が水質に及ぼす影響を検討している研究として次のような研究がある。

浜田ら(1996)は地下水の土壌中の CO_2 ガス分布と溶存 PCO_2 の季節変化を測定している。その結果、 CO_2 ガス濃度は地温がピークを迎える8月ではなくその一月前にピークに達していることがわかった。これは温度条件だけではなく、土壌水分条件とも関わりがあるためである、と推測している。

(3). 効果発揮場所という観点による研究成果の整理

大類ら(1993)は森林流域の土壌水と渓流水のpHを測定した。その結果、土壌水が強酸性を呈している地点があっても、渓流水はすべて中性であった。このことから水質浄化機能が働く場所は、土層から溪流へ流出するまでの斜面内であることが推測された。

斜面のタイプが水質に与える影響についての研究がいくつか見られた。

加藤ら(1995)によれば、 NO_3^- 濃度は土壌表層では、山頂部、尾根部、急傾斜の側壁斜面より谷筋の凹地形の部分で高かったが土壌最下層部では各地点とも痕跡程度の濃度であることがわかった。

大類ら(1994)は施肥前歴、林齢と並んで、地形要因が水質に与える影響を検討している。その結果 Ca^{2+} と SiO_2 は採水点の標高の影響を受け、標高が高いほど濃度は低いことが明らかになった。

(4). まとめ

樹林の水質浄化機能に関する研究においては、ここ10年で以下のような成果があげられている。

- ・濁水捕捉機能を定量化する数理モデルの構築。
- ・渓流水質に影響を与える要因の把握。
- ・樹林地上部¹⁾と土壌による酸性雨緩衝能の把握。

樹林の水質浄化機能に関する研究の数の80%以上が森林土壌に関するものであり、樹木自体の影響に関する研究は少ない。森林からの流出水は確かに浄化されているが、特に樹幹を伝って流下する樹幹流のpHが高くなるとの指摘もある(中

尾1996)。樹林の水質浄化効果を正しく評価するためには、そのような負の効果も把握し、反映させなければならない。

1)地上部：樹幹、枝、葉といった、地上に露出している樹木部位の総称

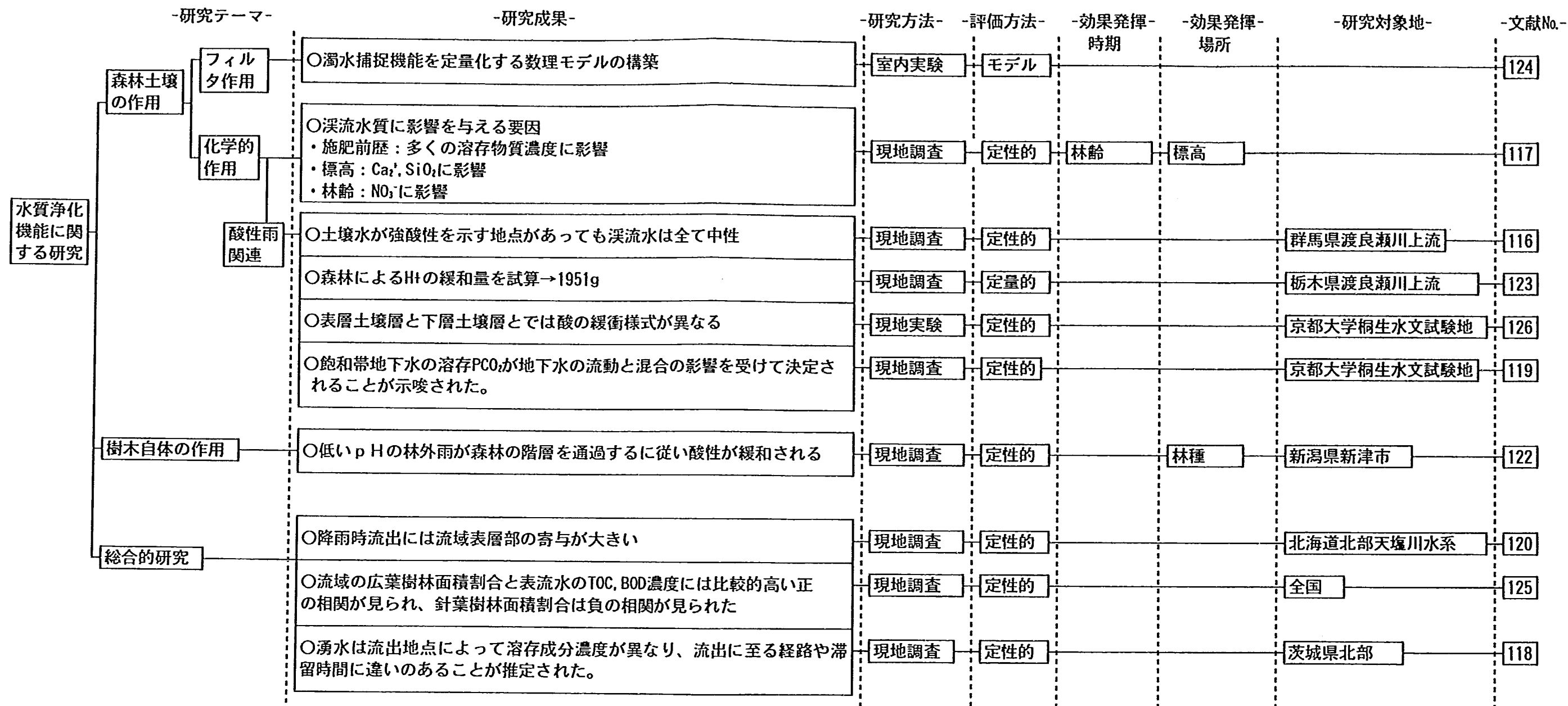


図3-9. 水質浄化機能に関する研究の体系図

3-2-2. 生態系維持効果

生態系維持機能は野生生物の保護ばかりでなく、種の保存、遺伝子の保存などを含む生物多様性の維持が人類に不可欠な樹林の機能として認識されるようになった。しかし、純粋に森林生態系の解明を目指した研究は古くから行われているが、それを樹林の機能として評価しようという試みは数少ない。樹林は生態系の一部であり、生態系の中で果たしている役割は、あまりに多様でその個々の作用をあげることは困難である。前章までのように樹林の効果に関する研究の場合に従って分類すると、

①生態系維持に関する樹林の個々の作用（中村ら1989、柳井ら1995）

②総合的な研究（高野1992）

というように分類できる。

(1). 現段階での成果

①生態系維持に関する樹林の個々の作用

中村ら（1989）は河畔林樹冠カバー効果と河川水温の関係を定量的に把握するため、小流量、緩勾配の幌内川を選び、春期および夏期の熱収支項目を測定した。調査溪流は樽前山南東山麓の幌内川で対象区間は流路延長3.8km、平均流路幅3.6m、平均勾配1/190で、年間の最低の月平均気温は1月の4℃程度、最高は8月の10℃程度である。夏期河川水面は樹冠によってほぼ100%覆われている。夏期において、全天日射量は総量で樹冠下日射量の7倍であった。河畔林を伐採した場合の水温変動を推定し、日最高水温は4℃程度上昇するとの結果を得た。

柳井ら（1995）は、海への濁水の流入が沿岸藻類や魚類に重大な影響を及ぼすことから、水産資源保全という観点から、樹林の機能について検討した。沿岸山地流域から海域に生産される浮遊土砂、有機物量を明らかにするため、北海道南部の津軽海峡に注ぐ原木川、天然林流域において、流量と水質を測定、分析した。調査流域は渡島半島の先端に位置し、流域面積13km²の津軽海峡に注ぐ小河川である。流域の植生は大部分がブナ、ミズナラを主体とする天然林である。この地域の年平均降水量は1500mm、積雪は12月から始まり、山地斜面では0.5~1m程度の積雪深がある。調査の結果、出水時に流出する浮遊土砂量は全浮遊土砂量の大部分を占めており、山地流域から生産された土砂が海域に流出するうえで出水が極めて重要な役割を果たしていることがわかった。

②総合的な研究

高野（1992）は森林緑地の変遷と1930年から実施した標識調査及びその後の現地調査資料に基づいて解析した鳥類群集の変化と関連づけて分析した。調査地は森林総研多摩試験地で、周辺は宅地化の進展や松食い虫被害などにより年々減少してきた森林面積と平衡して、鳥類の多様性が減少していることが明らかになった。また、都市化の進行に伴い消失する鳥類は、樹上や地上で鼠類や小鳥を食う肉食性の種類と、川や沼で昆虫や魚介類を食う種類であることを指摘している。

(2). 効果発揮時期という観点による研究成果の整理

樹林における物質循環、水循環、熱収支は季節によって変化する。例えば、夏期には日光を遮り、林内への熱の伝達量を抑え気温地温の上昇を防ぎ、同時に光合成により有機物を生産する。秋には落葉樹林においては、大量の有機物を放出する。そして、生態系はこれらの物質循環、水循環、熱収支と密接な関係がある。言い換えれば樹林が生態系の中で果たす役割は季節によって変化する、と述べている。樹林が夏期の熱収支に作用することで生態系維持効果が発揮されているという点についての研究が見られた。

中村ら（1989）は森林が河川水温に与える影響を調査し、夏期においては、潜熱、顕熱伝達量ともに日中、夜間を通じて正の値、すなわち水体に熱量が加えられていることを明らかにした。熱収支の大部分を占める日射量は、森林存在により1/7に抑えられており、河川水温が4℃程度下げられていることを明らかにしている。

(3). 効果発揮場所という観点による研究成果の整理

生態系維持機能について、効果発揮場所を検討した研究はみられなかったが、山地樹林の機能を検討していながら、効果が発揮される場所が沿岸海域である「流出水の汚濁に関する研究」が柳井ら（1995）によってなされている。山地樹林の影響が、山地に限られるわけではないことが示唆されている。

(4). まとめ

わが国の生態系は樹林の存在を前提としている（太田1996）ものであり、樹林の減少は生物の多様性減少を引き起こす。では、樹林のどのような作用が生態系を維持し、生物の多様性を維持しているのだろうか。ここ10年の研究成果から以下のような事が明らかになっている。

- ・ 樹林は河川に有機物を供給し、水温変動を抑え、魚類にとって住み良い河川を維持している。
- ・ 沿岸海域の生態系に対しても濁水の流出を抑制し、有機物を供給する。

このように、樹林内外の生態系の中で樹林が果たしている役割は複雑で、多様であると言いうる。

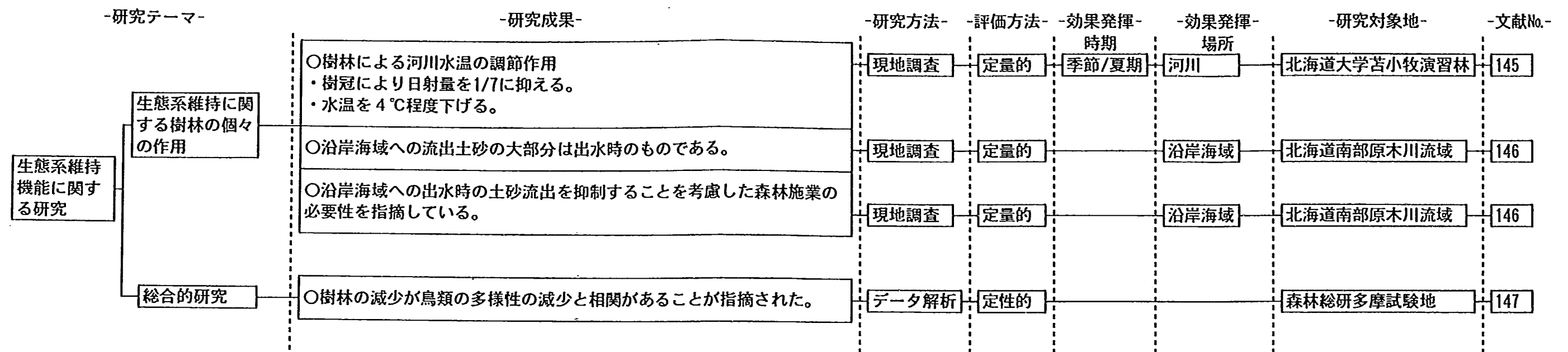


図3-10. 生態系維持機能に関する研究の体系図

3-2-3. 大気浄化効果

大気浄化効果は主に都市近郊林への期待が大きく、特に山地樹林に限定した大気浄化効果に関する研究はみられない。都市近郊林についての研究としては以下の研究がある。

(1). 現段階での成果

嶋ら（1993）は都市近郊林における浮遊重金属捕捉機能を明らかにするために、数種の常緑広葉樹について樹木葉のZn, Cu, Pb, Ni, Mn量を測定した。調査地は岡山市市街地の北西部の山塊で、植生はアカマツに広葉樹を混交する二次林である。調査は1991年10月下旬～11月上旬に行った。葉面の粉塵粒子密度は当年葉に比べて旧年葉で、裏面に比べて表面でそれぞれ多くなっていた。調査の結果、付着物の大半は土壌粒子に由来するが、一部は明らかに人間の活動に由来した粉塵粒子であることが推測された。さらに、樹木による汚染物質の捕捉によって、大気や土壌を浄化することが期待されているが、汚染物質の多くは樹木にとっても有害であり、それが樹木に及ぼす影響の解明の必要性を指摘している。

(2). まとめ

これまでの研究成果で以下のようなことがいえる。

- ・都市近郊林では葉面の付着物の大部分が土壌粒子由来であるが、人間活動に由来した粉塵の付着もみられた。

この効果について山地樹林を対象とした研究は見られない。しかし、大気浄化機能によって樹木に付着した粉塵は、流出水質に影響を及ぼすことになり、水質浄化という観点においては負の影響を及ぼすため、山地樹林の効果に無関係であるとは言い難い。

3-2-4. 気象緩和効果

流域からの蒸発散など、微気象的な観点の研究は樹林の水循環をモデル化するために行われている。しかし、温暖化に対する樹林の効果など地球的規模の気象に与える影響についての研究は、今回の検索ではみられなかったが、その前段階としての文献がいくつかみられた。それらは、地球上の樹林の増減と、二酸化炭素量の変化を比較して、大局的に樹林の効果を定量化するという内容のものである。

(1). 現段階での成果

井上（1991）は「気象変動に関する政府間パネル（IPCC）」の報告内容を中心に、二酸化炭素と森林、温暖化と森林についての現状と今後の問題点などについて以下のことを述べている。

「森林がCO₂の貯蔵庫か発生源かの評価は、多くの不確実要素を解消するための調査研究、温室効果ガスの肥料効果、森林管理法の改善効果を考慮すべきであり、また森林の貯蔵機能を積極的に活用した温暖化抑制対策を策定すべきであることをIPCCは指摘している。温暖化の抑制のためには温室効果ガス放出抑制、森林の量的拡大、質的改善が必要であり、温暖化に適応するためにはその不確実性に配慮した柔軟な適応戦略が必要である。

炭素固定機能は光合成作用によって、大気中の二酸化炭素を固定する機能であり、気温変動緩和機能と併せて地球温暖化防止に対して大きな期待が寄せられている。

1987年12月に京都で開催された気候変動に関する国際連合枠組条約第3回締約国会議（COP3）において採択された京都議定書の中でわが国も温室効果ガスの排出量を6%削減するという数値目標を掲げている。この目標に対しては単純に二酸化炭素の排出量を減らすだけでなく、新規に造成された緑地での二酸化炭素の吸収量が考慮に入れられることになっている。そのため、新規の緑地造成は重要な課題であり、そして、緑地の二酸化炭素吸収能のより合理的な評価方法や二酸化炭素吸収源として効率的な緑地の取り扱い法は国際的にも重要な研究課題であると考えられる。

森林の二酸化炭素吸収能力についての推定は、現段階でも概算的な数値は示されているものの不確定要素が多い。

(2). まとめ

温暖化対策としての樹林の効果に、大きな期待が寄せられている現在、樹林の気象緩和効果の解明、定量的評価はまさに今後の重要課題であり、その対策も地球規模で講じなければならない。

-研究テーマ-		-研究成果-	-研究方法-	-評価方法-	-効果発揮- 時期	-効果発揮- 場所	-研究対象地-	-文献No.-
大気浄化効果	汚染物質吸収機能	○都市近郊林における葉面付着粒子の大半は土壌粒子であったがその一部は人工的なものであった。	現地調査	定量的			岡山大学自然教育研究林 (岡山市)	129
気象緩和効果	炭素固定機能	森林がCO ₂ の貯蔵庫か発生源かの評価は、多くの不確実要素を解消するための調査研究、温室効果ガスの肥料効果、森林管理法の改善効果を考慮すべきであり、また森林の貯蔵機能を積極的に活用した温暖化抑制対策を策定すべきである。温暖化の抑制のためには温室効果ガス放出抑制、森林の量的拡大、質的改善が必要であり、温暖化に適応するためにはその不確実性に配慮した柔軟な適応戦略が必要である。	総括的研究	定性的				132

図3-11. 汚染物質吸収機能・炭素固定機能に関する研究の体系図

4. まとめ

4-1. 樹林の効果に関する研究の現状

表層崩壊防止機能、水量調節機能については研究数も多く、その定量的評価が可能な段階にある。

樹林の効果に関する研究に次のような共通の流れを見いだした。始めは統計的手法を用いて解析し、次に細かい作用の機構についての研究、それがある程度の段階にくると、各作用の定量化の試みがなされ、それらをもとにモデル化が行われる。以下に各機能に対する研究がどの段階にあるかを示した。

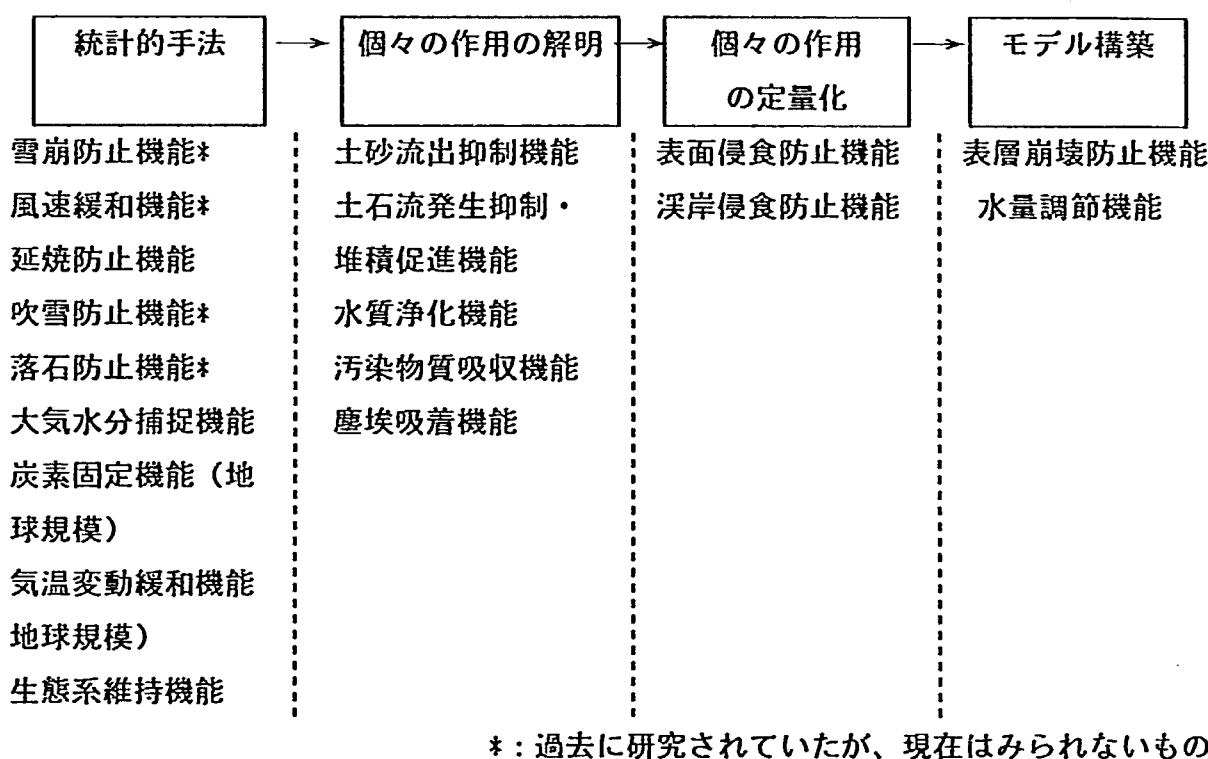


図4-1. 樹林の諸機能に関する研究の現状

現在、統計的手法による解析の段階にある研究の中で、炭素固定機能、気温変動緩和機能、生態系維持機能についての研究は、まだ歴史が浅い。但し、全ての機能の最終的な目標がモデルの構築であるということではない。例えば生態系維持機能などは非常に複雑、多様であり、モデルを構築することは極めて困難であるし、そこまで厳密な機能評価を行う必要性が無いと思われる。

4-1-1. 樹林の効果の活用について

樹林の効果そのものが砂防施設の役割として評価できる場合と、直接には砂防的效果は発揮しないが、樹林の整備によって副次的な効果として、評価できる場合とがある。ここでは、いずれの場合も含めて、現段階で一般性をもって活用可能な研究の成果、あるいは研究の結果明らかになった樹林の効果についての活用方法について考察した結果を表-4.1.1にまとめた。

全体を通して”研究が行われた特定の条件下では、その研究成果が適用できるが、他の条件下での適用性の確認が必要であり、もし適用できないのであれば、その条件下での新たな調査・研究が必要になる”という共通の課題がある。

表-4.1.1樹林の活用案

	効果	機能	活用案	関連する研究成果の内容	活用上の留意点	参考文献
防災に関する効果	土砂災害防止効果	表層崩壊防止機能	・表層崩壊防止工としての活用	・現況の斜面安全率の評価 林齢の増加に伴う斜面安全率の変化や、伐採が斜面安全率に及ぼす影響の推定。	・現段階では根系の分布がスギ根系の分布特性を対象に研究されている。	No.21
		表面侵食防止機能	・表面侵食防止工としての活用	・雨滴衝撃力緩和の観点からの緑化樹種の選定 雨滴エネルギー軽減作用の発揮が望まれる時期を考慮した緑化樹種の選定。 ・リターの影響を反映させた侵食土砂量の推定。	・植生の被度及び葉面積と降雨後(平均降雨強度148mm/hの降雨を1.2mの高さから与えた)の浸透能との関係が明らかにされている。 ・クロマツ林において枝下高、樹冠厚、樹冠面積率の異なる調査地毎に侵食量と林内降雨量及び雨滴衝撃力との関係が明らかにされている。 ・選定の候補となる緑化樹種の被度、葉面積等の季節変化、経年変化が必要。	No.34、36
					・現段階ではヒノキ、アカマツ林での調査のみ行われており、他の条件下(他の植生、地質、気候等)でのリターの量と侵食土砂量の関係が必要。	No.39
		土砂流出抑制機能	・流出土砂の捕捉及び固定を目的とした活用	・溪岸、溪床の植生による土砂の捕捉、固定量の推定	・水路実験や数値計算の結果が現実の流路に対してどの程度の誤差があり得るのか把握しなければならない。	No.52
			・濁質の捕捉を目的とした活用	・濁水捕捉樹林帯の規模の推定 農地等から流出する濁水中の浮遊土砂を土壤中で捕捉するために必要な樹林帯幅の推定	・想定される濁水中の土砂量、濁水捕捉樹林帯とする場所の土壌水分特性などが必要。	No.54、124
		溪岸侵食防止機能	・溪岸保護工としての活用	・溪岸保護機能が期待される、溪岸、溪床植生の耐えうる限界流速の推定	・現段階では、植生の保護機能を維持できる限界流速が多摩川日野橋流量観測所付近において定量的に評価されている。	No.62
		土石流堆積促進・発生抑制機能	・土石流対策としての活用	・土石流緩衝林と鋼柱ダムを組み合わせた土石流対策	・対象溪流の扇頂部において予想される土石流衝撃力、規模、樹林の衝撃に対する耐久性、さらに鋼柱ダムによる流木の捕捉能力といったデータが必要となる。	No.64、68
	防風効果	風速緩和機能	・防風林としての活用	・樹林が耐えうる限界風速の推定	・樹木の根返り機構モデルが示されたが、根と地盤の摩擦抵抗、根の変形係数等のパラメータの決定方法が不明である。解析事例では「現実的な値を任意で与えた」と記されている。 ・荒廃地を緑化するための防風柵を用いた造林については海岸砂防、あるいは砂地緑化の分野で研究が行われているので、その技術の応用が考えられる。	No.70
	防火効果	延焼防止機能	・防火林帯としての活用	・防火林帯の規模の検討 樹林自体を保護するために林内に延焼防止機能上望ましい林帯、防火林帯を設ける	・低木、草本等の下層植生の植被率が低い林帯を防火林帯として設ける。林野火災の焼け止まり線が下層植生の植被率が低い樹林地にどれほど侵入しているか、といったデータがあれば、必要となる防火帯の規模を検討する参考になると考えられる。	No.74
環境に関する効果	水資源保全効果	水量調節機能	・洪水流出の低減を目的とした活用	・樹林の影響を反映させた計画洪水流量の推定	・モデルの簡便性や汎用性から、現段階で比較の実用性があると思われる端野の数値モデルを活用するには降雨量、流出量、樹幹流下量などの水文観測データが必要になる。	No.110
		水質浄化機能	・水質浄化を目的とした活用	・樹林の酸緩衝能力の評価	・現段階では渡良瀬川上流の治山事業対象流域において、樹林による酸の緩和量をグラム単位で評価されている。諸条件の異なる樹林流域で、降雨量とそのpH、流出水量とそのpHを調査する必要がある。	No.123
	大気浄化効果	汚染物質吸収機能・塵埃吸着機能	・大気浄化を目的とした活用	・流出水質の予測をする際に大気からの入力量を推定	・現段階の研究成果では、岡山市の都市近郊林において葉面に付着した粉塵と種類が判明しているのみである。汚染物質、塵埃の排出箇所からの距離と、樹体に付着した汚染物質の量との関係等が必要。 ・捕捉された汚染物質、塵埃の流出率が必要。	No.129
	気象緩和効果	炭素固定機能・気温変動緩和機能	・炭素の貯蔵庫としての活用	・樹林の二酸化炭素吸収能の評価	・多様な樹林に対応した二酸化炭素吸収能力評価法の確立が必要である。	No.132
	生態系維持効果	生態系維持機能	・生物の生息域の維持、造成を目的とした活用	・河畔、溪畔林による水面被覆率の変化が熱収支に与える影響の算定	・現段階で植生による水面の被覆が水温に与える影響の推定が可能になっている。	No.145

4-2. 総括

4-2-1. 文献収集・整理について

1988年から1998年8月にかけて出版された検索対象の学会、研究機関の機関誌等から、樹林の効果に関する研究についての文献を収集整理した。抽出した樹林の効果は、土砂災害の防止に関するものを中心に、それに付随した効果として期待するその他の防災に関する効果、環境に関する効果を抽出した。

検索の中で、社会的に関心の高い、生物多様性の保護、温暖化防止に資する樹林の生態系維持効果、気象緩和効果についての最新の研究成果が抽出されることを期待した。しかし気象緩和効果については、機関誌等の特集記事は数件みられたが、学会発表がなされた研究論文はみられなかった。また、防災に関する効果の中でも土砂災害防止効果以外の効果に関する文献は機関誌などに掲載された研究論文以外の特集記事なども含めて全て5件以下しか抽出されなかった。

これらの研究成果については、検索対象外の学会、研究機関で公表されている可能性がある。

4-2-2. 樹林の効果に関する研究成果について

(1). 防災に対する効果に関する研究について

様々な分野において、より積極的に樹林の防災効果を利用するため、樹林の効果・機能についての研究を行っており、どのような機能がどの程度期待できるのか、ということは徐々に明らかになりつつある。

しかし、土砂災害防止効果をもたらす樹林のもつ諸機能は、樹林の様々な作用によって発揮されるが、現在、研究対象となっている作用は限られている。例えば、表層崩壊防止機能については、根系による土層の剪断抵抗力補強作用についての研究がほとんどである。少数ではあるが樹林による積雪移動抑制作用による機能についての研究がみられたが、このように多様な視点からの樹林の効果についての研究も必要である。また、抽出できた表面侵食防止機能に関する研究は水食に対する樹林の効果についてであり、土石流発生抑制・堆積促進機能に関する研究の全てが力学的な観点の研究であった。

(2). 環境に対する効果に関する研究について

過去において、樹林の効果として最も期待されていたのは水量調節機能である。河川の水量と、樹林の状態の関係は古くから指摘されており、戦前から対照流域法などによりその機能について科学的検証が試みられてきた。現在は樹林の水量調節機能の定量的評価が可能となっており、モデルはより正確な予測をするために複雑化している。今後、新たな観点の水量調節機能についての研究としては、より簡便な評価方法についての研究が考えられる。しかし、最近の水資源保全効果に関する研究の主流は水質に関するものに移行してきているようである。その中でも酸性雨と関連した研究が多くみられた。環境問題に対する樹林の効果への期待が高まっているためであると思われる。

おわりに

今回まとめた文献は1998年までの10年間あるいは5年間に12学会2機関から公表されたものである。今回の検索ではほとんど抽出できなかった「落石防止機能」「雪崩防止機能」「風速緩和機能」「延焼防止機能」「吹雪防止機能」「大気水分捕捉機能」「気象緩和効果」に関する研究成果については、対象外の学会・研究機関で公表されている可能性があり、検索手法に課題を残すことになった。

巻 末 資 料

●既往文献における森林の効果の分類

巻末表-1:「森林の公益機能に関する文献要約集」, 社団法人 日本治山治水協会

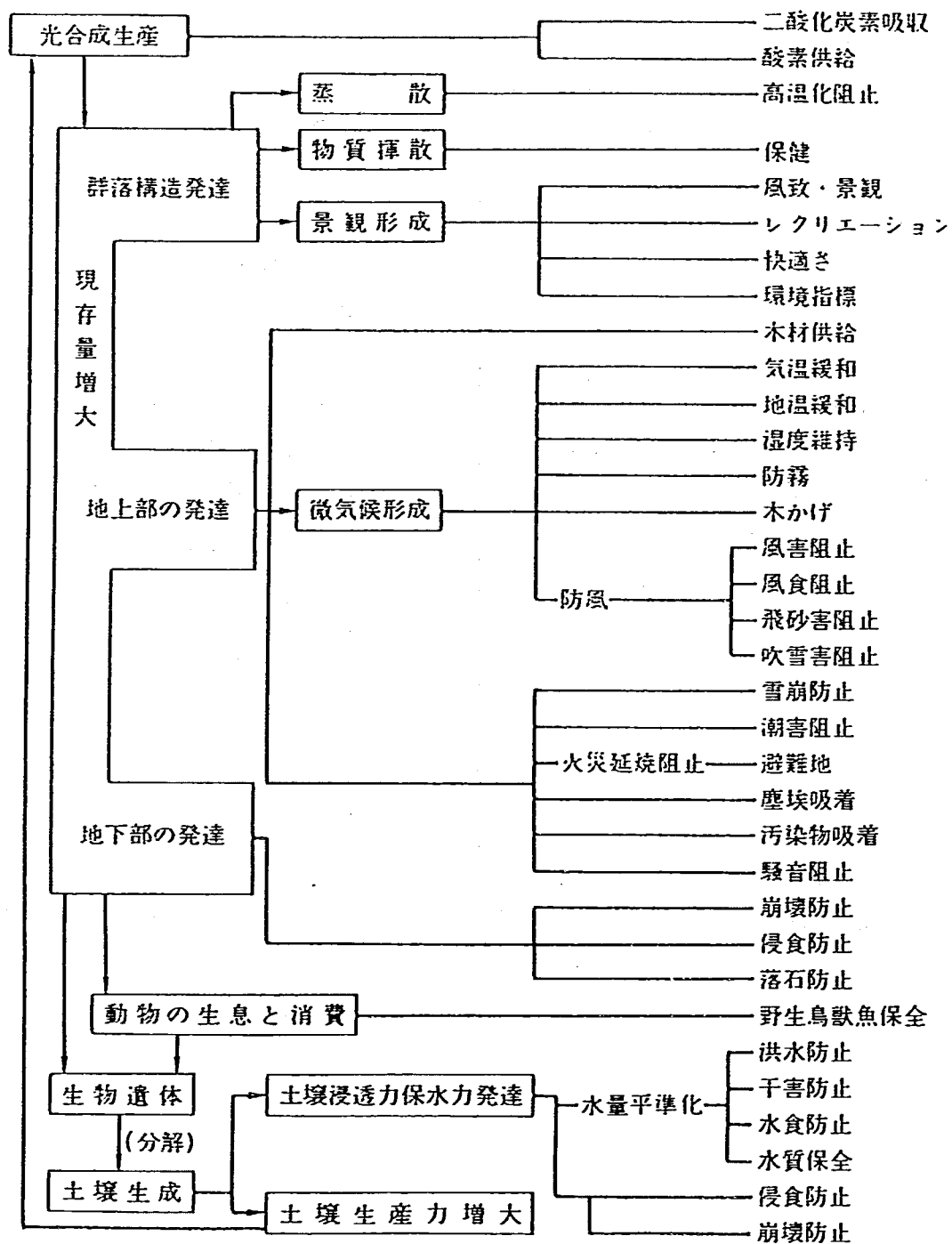
巻末図-1:「森林環境科学」, 朝倉書店, 只木良也

巻末表-2:「農業土木技術者のための森林保全学(その1)ー森林生態系の活動とその機能ー」, 農業土木学会誌, 太田猛彦

巻末表-1 森林の効果・機能の分類例(1)

Ⅰ. 水土保持機能（流域管理）	Ⅲ. 他の公益機能
1. 水保全機能（水源涵養） 2. 土保全機能（荒廃防止） 3. 水土保持機能（流域保全）	1. 防風機能 2. 防潮機能 3. 防霧機能 4. 防雪機能 5. 雪崩防止機能 6. 気象緩和機能 7. 防音機能 8. 防火機能
Ⅱ. 水土保持機能（局所防災）	9. 大気浄化および環境指標機能 10. 重金属吸収機能
1. 落石防止機能 2. 干害防備機能 3. 水害防備機能 （溪流浸食防止作用） 4. 遊水機能	11. 水質および水産生物保全機能 12. 炭素固定機能 13. 土壌物理性（孔隙・透水等）に及ぼす影響 14. 地力保全機能 15. 土壌動物および微生物相に及ぼす影響 16. 土壌保全機能 17. 森林浴の効果 18. 生態系維持機能 19. 保健休養機能

出典：「森林の公益機能に関する文献要約集」（社）日本治山治水協会，1988において
 取り上げられている機能を表にとりまとめた。



森林生態系の活動とそれから生み出される諸効用(只木 1982, 一部改変)

出典：只木良也著 「森林環境科学」朝倉書店、1996

巻末図-1 森林の効果・機能の分類例(2)

巻末表-2 森林の効果・機能の分類例(3)

1. 物質生産機能

燃料材	薪、粗朶、木炭
建築材	柱材、板材、合板
木製品原料	家具材、楽器、音響製品
パルプ原料	チップ
食料	きのこ、果実、木ノ実、香辛料、嗜好料(ガム)
	山菜、根菜、澱粉、油脂、肉、魚
飼料	
肥料	落葉、腐葉土、緑肥、肥料木
薬品	精油、天然微生物
その他の工業原料	樹脂、染料、香料、乳液、分解菌類
緑化材料	侵食防止用、環境林造成地
鑑賞用植物	庭園樹、街路樹、花木、野草
工芸材料	竹材、蓆、樹皮
皮革	

快適環境形成

気象緩和
夏の気温上昇緩和
冬の気温低下緩和
降霜防止
風速緩和
大気浄化
塵埃吸着
汚染物質吸収
快適生活環境形成
騒音防止・軽減
日照防止(木陰)
遮蔽(目隠し・プライバシー保護)
アメニティー

環境指標(環境モニタリング)

2. 環境保全機能

2.1 地球環境保全機能(広域)

地球温暖化の緩和
地球気候システムの安定化

2.2 地域環境保全機能(局所・流域)

水資源保全(水資源涵養)

水資源貯留
水量調節
水質浄化

沿岸海域保全

水質保全
海洋生態系保全
魚付

自然災害防止(国土保全)

表面侵食防止
水食防止
風食防止
雪食防止
土壌保全(土壌流失防止)
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
溪岸侵食防止
飛砂防止・捕捉
濁水ろ過
洪水氾濫防止
雷崩防止
防風
防雪
防霜
防潮
塩害防止
延焼防止
災害時避難地

3. 保健・文化機能(存在機能)

3.1 保健機能

保養

健康の回復
療養・養生
健康の維持・増進
休息・リフレッシュ
精神安定(やすらぎ)
森林浴(フィトンチット効果)

レクリエーション

散策
行楽
ピクニック・ハイキング・キャンピング
スポーツ
釣り
狩猟

3.2 文化機能

風致・景観
学習・教育
芸術
宗教
風土形成

行楽の対象・芸術の対象
自然探求・情操教育・財・教育・環境教育
絵画制作・彫刻制作・写真撮影
神域・社
民族性・生活様式・慣習

4. 生態系維持機能(保存機能)

野生動植物保存(鳥獣保護)
生物多様性の維持

自然生態系保存
生物種保存
遺伝子保存

外来生物導入阻止

5. 地球史的機能(過去の森林の機能)

好適大気環境の形成 CO₂ 濃度の低下・O₂ 濃度の上昇
化石燃料の生成 石炭・石油・天然ガス
地球気候システムの安定化(活断層・活断層域の拡大)
肥沃な農地の提供(森林土壌の創出)
生物多様性の獲得

出典:「太田猛彦:農業土木技術者のための森林保全学(その1)ー森林生態系の活動とその機能ー」農業土木学会誌,1996