



防災

13

天然資源の開発利用に関する日米会議
森林部会第2回合同会議

“山地土壌と水の保全”
に関する
日米両国の意見



02000-00131055-4

林 野 庁
林 業 試 験 場
防 災 部

昭和 4 5 年 / / 月

“山地土壤と水の保全”に関する日米両国の意見

正誤表

頁	行	誤	正
2	下 5	蒸	荒
11	上 8	Hol: day	Holiday
12	上 3	材木	林木
20	下 3	竹原博士	竹原博士
23	上 2	付属資源	付属資料
27~28		表 初沢の地質土壤の項へ「深質壤土」を入れる	
33	下 9	Reserch	Research
44	下 2	（もたらすという利用の 組合わせが考慮されると いう）	（もたらすという利用の組合 わせに考慮がばうされると いうことではない）
51	下 7	保全的側面	保全的側面
57	上 4	Out	Our
64	上 5	拡散すると下方	拡散すると下方
77	下 8	(Lodgepole	(Lodgepole
78	上 3	不償繊維	木償繊維
84	上 5	流出をみる	流出をみるか
91	(127-3)	$(\frac{P}{1.375})^{1.25}$	$(\frac{P}{1.375})^{1.25}$

は　じ　め　に

昭和45年8月31日から9月11日の間、天然資源の開発利用に関する日米会議の森林部会第2回合同会議が米国で行なわれた。

この会議では山地土壌と水の保全を主たる課題として10副題について日米両国から行政・研究両面について現状説明や提言が行なわれ、討議され、情報が交換された。関連した現地視察と現場での討議も行なわれた。そして両国に共通な問題点があることおよび相互に相補なわれる技術・研究があることが確認され、こんご、山地流域管理のための材料と技術・研究に関する情報の交換が申し合わされた。

以上の現状説明・提言・討議・現地での見聞事項には関係者にとつて参考となることが多いものと考えられた。また申し合わせ事項についてはひろく関係者がこのことを知つていて、こんご大いに申し合わせを活用することが利益であり、また必要でもあると考えられた。

このような理由から会議の沿革・第2回合同会議の概要・申し合わせ事項・主要な現状説明・提言の要旨を印刷し、大方の参考に供することとした。討議の細かい内容・現地の見聞事項にも参考になることがかなりあると考えられたが断片的でもあり、かつ紙数の余ゆりもないので割愛した。

昭和45年11月

中　野　秀　章

(防災部治山科長)

目 次

はじめに	1
1. 会議の沿革	4
2. 森林部会・第2回合同会議の概要	6
3. 森林部会・第2回合同会議における申し合わせ事項	13
4. Cliff山林局長の挨拶	16
5. 各議題に対する日米両国の提言要旨	21
議題 1.	
流域試験の成果と今後の研究方向 (日本)	21
試験流域による研究結果と将来の研究計画 (米国)	33
議題 2.	
山地流域の林業的流域管理 (日本)	42
山地流域に対する森林管理 (米国)	44
議題 3.	
流域管理の観点からみた山地流域の土地利用区分 (日本)	51
流域管理からみた土地利用の分析 (米国)	52
議題 4.	
山地流域の蒸発散量の測定 (日本)	60
山間森林地に於ける蒸発散の測定 (米国)	61
議題 5.	
蒸発山地の林業的安定技術 (日本)	73
裸出地安定のための植林等の方法 (米国)	75
議題 6.	
山地における侵食危険度の予測法 (日本)	82
山地地域の侵食度の予想 (米国)	83

議題 7.

土地保全を考慮した林道築設 (日本)	94
土地保全に関係した林道建設 (米国)	95

議題 8.

日本に於ける造林・育種に関する研究 (日本) (省略)	100
山林局における造林・育種に関する研究 (米国) (省略)	100

議題 9.

高地森林地帯における積雪管理 (日本)	101
(米国なし)	

議題 10.

松水法 (日本)	102
(米国なし)	

1. 会議の沿革

この会議(天然資源の開発利用に関する日米会議・United States-Japan Conference on Natural Resources Development)は、昭和39年1月東京で開催された第3回日米貿易経済合同委員会において、米国のカー内務次官が

「日米両国が天然資源の分野で、技術者の交流と情報の交換を政府レベルで行ない、両国の応用科学および技術の分野における協力関係をいつそう深めることは両国にとって大きな利益である。そしてこのことは、昭和36年に発足して主として理論科学の分野で行なわれている日米科学協力委員会の事業を有効に補足できる」

と述べたのに対して、日本側がこれに同意し、同39年中に第1回総括会議が東京で開催されたのに始まっている。

現在、森林・大気汚染・水質汚濁・国立公園・エネルギー・海水の淡水化・マイコプラズマ・有毒微生物・風と地震の影響・たんばく質資源(サブ部門—漁業)・牧草の種子・海底探鉱・海洋施設・海中通信電子工学・海底調査・海洋観測と予測・養殖・海底地質学の18部会が設けられている。

森林部会の設置は昭和43年2月東京で開催された第2回日米木材貿易会議で提案され、同年10月ワシントンで開かれた第4回総括会議で決定された。当初、森林部会の目的は両国の森林資源の現状と将来について相互に理解し、多様な森林資源の経営管理に関するアイデアを交換し、新発見・技術・研究方法論に関する情報を交換することとされた。

森林部会の第1回合同会議は昭和44年8月27日から9月5日にかけて日本で開催され、東京で本会議が行なわれ、造林・育種関係の6副題について話し合われた。また木曾谷国有林・吉野林業・熊本営林局・九州林木育種場・林業試験場九州支場などの視察が行なわれ、相互理解と情報の交換に、その後の文献の交換とともに、かなりの成果があげられた。

ついで今回の第2回合同会議が別項で述べるような経過で実施された。なお第2回合同会議の課題は第1回合同会議の申し合わせに基づき、日本側が森林資源調査法・林業機械・森林病虫害・森林火災・水源涵養(国土保全)の5課題の中から第1候補として国土保全を選び、米国側が、これを“森林土壌と水の保全”の意と諒解するとして同意して決定された。また場所

・日程についてはやはり第1回合同会議の申し合わせにより開催国である米国側で予定をたて、これに日本側が同意して決定された。

なお18部会のそれぞれの合同会議のほかにこれらを総括する会議がしばしば行なわれていることは前述のとおりである。

2. 森林部会・第2回合同会議の概要

(1) 場所

本会議

米国農務省山林局会議室(ワシントン)

視察旅行と現地討議

山林局 Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station の Fraser Experimental Forest (コロラド州). 同じく Intermountain Forest and Range Experiment Station の Davis County Experimental Watershed (ユタ州). その他各視察現地(後述)

最終会議

山林局 California Region の会議室(サンフランシスコ)

(2) 会議出席者

本会議

(日本側)

- 竹原 秀雄 林業試験場長(パネルリーダー)
- 海法 正昌 林野庁指導部長
- 中野 秀章 林業試験場防災部治山科長
- 山本 武義 林野庁指導部治山課
- 佐野 宏哉 駐米大使館農業アタッシェ(オブザーバー)
- 石川 丘 駐米大使館科学アタッシェ(")

(米国側)

- Edward P. Cliff Chief, Forest Service, U.S. Department of Agriculture (パネルリーダー)
- Boyd L. Rasmussen Director, Bureau of Land Management, U.S. Department of the Interior

James A. Slater U.S. Coordinator UJNR Programs,

Office of the Secretary, U.S.D.I.

B.K. Arnold Deputy Chief (Research), Forest Service, U.S.D.A.

E.M. Bacon Deputy Chief (State and Private Forestry), Forest Service, U.S.D.A.

○ Eugene V. Zumwalt Assistant Director (Resources), Bureau of Land Management, U.S.D.I.

○ Herbert C. Storey Director, Division of Forest Environment Research, Forest Service, U.S.D.A.

Carl E. Ostrom Director, Division of Timber Management Research, Forest Service, U.S.D.A.

Clark E. Holscher Director, Division of International Forestry Research, Forest Service, U.S.D.A.

Harold C. Lynd Chief, Division of Forestry, Bureau of Land Management, U.S.D.I.

○ Irvin C. Reigner Division of Forest Environment Research, Forest Service, U.S.D.A.

○ Ralph C. Maloney Division of Watershed Management Research, Forest Service, U.S.D.A.

Edward A. Johnson Division of Watershed Management Research, Forest Service, U.S.D.A.

Robert L. Hobba Division of Watershed Management
Research Forest Service, U.S.D.A.
Donald C. Turner Division of Engineering Forest
Service, U.S.D.A.

視察旅行と現地討議

前記○印のメンバー（ただし Cliff 局長と Rasmussen 局長は一部だけ）と各視察
現地で次の各関係機関職員多数が参加した。

（Forest Service 関係）

Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station,

Intemountain Forest and Range Experiment Station,

Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station,

Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station

（各林野試験場）の場長・場員。Rocky Mountain Region, Intermoun-

tain Region, Pacific Northwest Region, California Region

（各官林局）の局長・次長・営林署長・署員。

（Bureau of Land Management 関係）

Coos Bay District の所長・所員

最終会議

前記○印のメンバーのほか、California Region の局長と局員（1名）。

(3) 会議日程（議題）

本会議

（第1日） 8月31日（月） 14.00 ～ 16.00

開会。観迎の挨拶

Cliff 局長

Rasmussen 局長

Slater 調整官

挨拶

竹原 場 長

日程その他の説明

（第2日） 9月1日（火） 9.45 ～ 16.30

議題1. 流域試験の成果とこんどの研究方向

米国側提言

討議

日本側提言

討議

（提言説明 Reigner, 中野）

議題2. 山地流域の林業的流域管理

（提言説明 Maloney, 海法）

（尽食）

議題3. 流域管理の観点からみた山地流域の土地利用区分

（提言説明 Johnson, 竹原）

議題4. 山地流域の蒸発散量の測定法

（提言説明 Reigner, 中野）

（第3日） 9月2日（水） 9.45 ～ 16.30

議題5. 荒廃山地の林業的安定技術

（提言説明 Zumwalt, 山本）

議題6. 山地における侵食危険度の予測法

（提言説明 Hobba, 中野）

（尽食）

議題7. 土地保全を考慮した林道築設

（提言説明 Turner, 山本）

議題8. 造林と育種に関する研究

(提言説明 Ostrom, 竹 原)

視察旅行と現地討議

(第4日) 9月3日(木) 午後

Colorado 州 Denver 付近の Berthoud pass にて Forest Service の Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station によるなだれの予測・防止対策および積雪物理に関する研究成果, Rocky Mountain Region による冬期レクリエーション区域の管理・なだれ防止業務について聴取。

(第5日) 9月4日(金) 午前

Colorado 州 Fraser の Arapaho National Forest にある Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station の Fraser Experimental Forest (森林理水試験地) にて議題9を討議し, 同試験地の帯状択伐と流出に関する試験等を視察。

議題9. 高地森林地帯における積雪管理

(提言説明 R.M.F.R.E.S. の場員 Marvin Hoover,
中 野)

(第6日) 9月6日(土) 午後

Utah 州 Salt Lake City 付近の Wasatch National Forest の中にある Forest Service の Intermountain Forest and Range Experiment Station の Davis County Experimental Watershed にて議題10について討議し, 同試験地における等高線溝工の水文効果に関する試験を視察。

議題10 治水法

(提言説明 I.F.R.E.S. の場員 Otis L. Copeland, Paul
E. Packer, Norbert V. DeByle., 中 野)

(第7日) 9月6日(日) 午後

Oregon 州 Corvallis にて Forest Service の Pacific Northwest and Range Experiment Station の Forest Sciences Laboratory の施設その他を視察。

(第8日) 9月7日(月) (Labor Day Holiday) 午前

Oregon 州 Eugene から Florence に至る間の土地管理局管下の森林地帯 (hemlock, spruce, Douglas fir 等), 山火跡地, ハイドロマルチングによる林道法面保護法を視察。また同じく土地管理局による Florence 付近の海岸飛砂安定事業を視察。

(第9日) 9月8日(火) 午前

California 州 Crescent City 付近の Redwood National Park および Six Rivers National Forest で Redwood (Sequoia sempervirens) の森林を視察。また Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station の Yurok Redwood Experimental Forest における試験と付近の Redwood の製材工場(民間)を視察。

(第10日) 9月9日(水) 午前

Los Angeles 南東の Angeles National Forest と周辺地域で, 貯水ダム・流出土砂留止のための遊砂池・コンクリートクリブダム・遊砂池下流の治水透池・gabion(蛇かご)護岸工・遊砂池の排土作業等を視察。また Forest Service の森林消防隊の施設を視察。

(第11日) 9月10日(木) 午前

Angeles National Forest の Chaparral 地域(主として oak 類

の低木叢の散生地域）・針葉樹林地域・流域保全施設等を空から視察。Forest ServiceのPacific Southwest Forest and Range Experiment Stationの耐山火性地被植物・大気汚染と材木・SanGabriel 山地の崩壊と侵食等に関する研究成果を聴取。

最終会議

(第12日) 9月11日(金) 午前

Forest ServiceのCalifornia Regionの会議室において会議結果のとりまとめ(こんごの情報等の交換のための申し合わせ事項の決定)および第3回合同会議準備のための協議。

(注: 本会議の挨拶・発言はすべて同時通訳され、米国側提言要旨は日本文のものも日本側にわたされた。また視察旅行および最終会議にも専門の通訳が同行した。)

(4) 申し合わせ事項

情報等交換のための申し合わせ事項

後掲別項3にあげた事項を申し合わせた。

第3回合同会議についての申し合わせ事項

第3回合同会議は東京で、1972年5月に開催されることで合意し、課題については森林資源調査法・森林病虫害のうちいずれか一つを昭和45年末までに米国側が選択して日本側に通告することで合意した。

また、将来大気汚染・水質汚濁など環境条件と森林・林業の関係についての諸問題も本会議の課題として考慮される必要があることが認められ、その取扱いについての米国側意見も昭和45年内に日本側に示されることとなつた。

3. 森林部会・第2回合同会議における情報等交換のための申し合わせ事項

議題1. 流域試験の成果とこんごの研究方向

- 1) 両国は流域試験計画と試験流域のリストを交換する。
- 2) 両国は試験流域のデータと研究成果の交換を継続する。
- 3) 森林部会は両国の研究者が相互に試験流域を訪ね、現地で方法・成果について討議する必要があることを認める。

議題2. 山地流域の林業的流域管理

- 1) 日本側は各種保安林に必要な性格とその施業に対する規制についての資料を提供する。
- 2) 米国側は流域問題に関連する面で多目的利用林業に関する情報を提供する。

議題3. 流域管理の観点からみた山地流域の土地利用区分

- 1) 米国側は土地利用区分のモデリングシステムと流域管理計画に関する情報を提供する。
- 2) 日本側はこれらモデルの適用・その修正案・あるいは将来開発されたときはその新しいシステムに関する情報を提供する。
- 3) 日本側は現在行なっている土地利用区分システムの資料を提供する。

議題4. 山地流域の蒸発散量の測定法

- 1) 米国側は流域の水収支の一要素としての蒸発散量の各種測定法による結果に関する情報を提供する。
- 2) 日本側は将来開発されたときはその新しい蒸発散量測定法に関する情報を提供する。
- 3) 蒸発散量決定の一手段としての土壌水分測定についての日本側の関心を考慮して、米国側は中性子水分計による測定に関して入手できる情報を提供する。

議題5. 荒廃山地の林業的安定技術

- 1) 両国はとくに侵食防止に有効な植物の種子の交換に同意する。
- 2) 両国は入手できるものがあるときは山地奥地における侵食防止工事の投資効果の研究に関する情報を交換することに同意する。
- 3) 米国側は、たとえばSand Pine (Pinus clausa)のようなやせた乾燥地に適

応できる樹種に関する情報を提供する。

- 4) 米国側は飛砂地安定に使用されている各種の植物に関する情報を提供する。

議題 6. 山地における侵食危険度の予測法

- 1) 米国側は崩壊危険地域判定に関して現在入手できる情報を提供する。
- 2) 日本側は判別関数解析による予測法に関する情報を提供する。
- 3) 両国は崩壊危険地域の予測と mass movement として移動される土石の定量についての新開発に関する情報を交換することに同意する。
- 4) 両国は表面侵食とガリー侵食の予測についての新開発に関する情報を交換することに同意する。

議題 7. 土地保全を考慮した林道築設

- 1) 米国側は侵食防止のための道路法面のハイドロ マルチングの効果に関する情報を提供する。
- 2) 米国側はトラクター・ケーブル・スカイラインおよびバルーンによる集運材のような各種木材収穫法に関連した道路の位置決定と計画に関する情報を提供する。
- 3) 両国は切り取り・盛土の法面の工作物による保護法に関する情報を交換することに同意する。
- 4) 米国側は道路の位置決定と設計のための電算機利用に関する情報を提供する。

議題 8. 造林と育種に関する研究

両国はこの問題に関する材料・データ・情報の交換を継続する。

議題 9. 高地森林地帯における積雪管理

- 1) 両国は積雪クリープによる樹木被害の情報を交換する。
- 2) 日本側は湿雪による樹木の折損を軽減する方法について現在入手できる情報を提供する。林分密度の調節と枝打が見込めそうな方法として示唆された。
- 3) 米国側はなだれの予測と防止に関する情報を提供する。
- 4) 日本側は林木と構造物によるなだれ防止に関する情報を提供する。
- 5) 米国側は水資源確保策としての積雪管理に関して入手できるデータを収集し提供する。

議題 10. 治水法

- 1) 米国側は洪水ピークの軽減・かんがい・流路改良および地下水強化のための治水技術に関する便覧類や地下水に関するシンポジウムの報告などによつて情報を提供する。
- 2) 米国側は治水による地下水強化量の定量に関する情報を提供する。
- 3) 日本側は階段工による流出量増加に関する情報を提供する。
- 4) 米国側は等高線溝工の施工地域における水文因子の測定法と測器の設置位置に関する情報を提供する。

なお情報交換の“窓口”はそれぞれ次のようにすることが申し合わされた。

日本側

竹 原 秀 雄 (林業試験場長)

米国側

H. C. Storey (Director, Division of
Forest Environment Research,
Forest Service, U.S.D.A.)

またこの窓口に関する申し合わせは個人や個々の関心による自由な情報交換を妨げるものではないことが確認された。

4. Cliff 山林局長の挨拶

(注：森林部会・第2回合同会議の開会にあつてのCliff局長の挨拶は森林土壌と水の保全に関するForest Serviceの考え方の一端を示しており、大方の参考になると考えられるので、ここに掲載する)

われわれが竹原博士や多くのみなさんがたに東京でお会いして(注：第1回合同会議のこと)からもう1年が経過した。われわれの東京訪問は忘れられないものである。そのときの日本側のゆきとどいたおもてなしに匹敵できるようなおもてなしは、われわれは今回、あるいはできないかも知れないが、最善をつくしたいと思う。みなさんが滞米をエンジョイして下さることを心から希望する。そしてこの後つづく討議と視察旅行が、第1回会議がわれわれにとつて有益であつたように、みなさんにも有益であることを心から希望する。

米国における初めての会議の課題にWatershed Managementが選ばれたことに深い興味をおぼえた。たしかにこの問題は林業の根底問題である。

開局以来、山林局は林地や草地での、あるいはこれらの土地に関連しての水の流出・土砂の流出に関係してきた。

当初における森林の保存は、水流を都合よい状態におく目的で、公共有地で確立された。そして1911年Weeks Lawができて、農務長官は、その判断で、航行のできる河の流れの規制に必要と考えられるときは、その流域内の林地・伐採跡地・荒廃地について調査・研究し、公共有化し、予算をつけるよう勧告する権限を与えられた。そして東部諸州で国有林が創設されることとなつた。これらの政策は後続の法制によつても是認された。

さて、ここで米国の森林についてみてみよう。全面積は3億ha強、50州の総面積のほぼ $\frac{1}{3}$ である。日本は国土の68%を森林(林地)にあてている。日本の人口は米国のそれより単位面積あたりについてはかなり大きいにもかかわらず、このようになっている。米国の森林面積は今世紀に入つて増加がにぶつてきた。将来の増加はもちろん分らないが。

米国では森林は水資源に対してきわめて重要な役割を果たす。面積こそ全国土の $\frac{1}{3}$ にすぎないけれども国の総降水量の約 $\frac{1}{2}$ を受けている。さらに重要なことは林地は米国の総流出水量のほとんど $\frac{2}{3}$ をだしている。このような森林と水文循環の間の特別の関係は元来位置の結果である。

すなわち米国では森林は最も雨の多い地域にみられる。とくに西部地方では森林地帯は島状に雨の多い地域を占めている。とくに高地でそうである。そして乾燥あるいは半乾燥の広大な低地にとりまかれる形になつている。もちろんこのことが、林業技術者と森林水文学者に対して水質・水量・タイミングの点で国の水に対する要求に影響すべき機会を与えている。

水の循環の過程で、森林は他の地帯よりも多くの水を蒸散する。林地からの大量の蒸発散量——すべての他の土地から50mm/年であるのに対して森林は65mm/年——を減らすことがわれわれの水収入改良のための仕事の根底である。

これまではわれわれの水収入改良のための活動はなお研究の段階にあり、パイロット流域の段階にあつた。雨の少ない南西部でシャバル(主としてQuercusの各種から成る低木林)を草地に転換することによつて水収入を増加することが一部で行なわれたことはあるが。しかしながら、林地における植生の管理は将来の必要に見合うように水供給の増加をはかるために欠くべからざる役割を演ずると山林局は考える。最近行なわれた検討による評価では、極値ではなく、平均値で、次の50年間に増加される水供給のうち110億m³/年(110億kilo-stere/年)強をこのような植生管理が提供するかも知れないということになつている。この評価はでどころ別に次の表のように区分されよう。

	増加される量
経 済 林 地	85億 m ³ /年
シャバルと Pinyon-juniper	17
深 根 性 植 物 地 域	11
計	113

	増加される量
北 東 地 方	30 m ³ /年
南 東 地 方	33
太 平 洋 北 西 地 方	2
カ リ フ オ ル ニ ヤ 地 方	11
北 部 ロ ッ キー 山 地	12
南 部 ロ ッ キー 山 地	25
計	113

雨の多い北西部地方では必要量が増せばこれに対応して上表よりもより大きな増加がつくられ得ることは明らかである。北西海岸林地からの可能な増加については評価されなかつた。この地域ではさしそまつた水不足はないようであるからである。

前述の歴史的使命は、水収入の増加よりも流域の保護と復旧により多くの指針があつた。そしてこのことは常に山林局の政策の中で第1位に重要なものであつた。米国は土地と動物資源の開発・利用という点では若い国である。開発利用の経過の中でいろいろの災害がおつた。初期の伐採はしばしば破壊的であつた。放牧の実行についても同様であつた。一般に自然はそれ自身の力で回復していくものである。しかしその経過は人間の補助で速度をはやめられ得る。そしてわれわれはたえず自然に回復しきらないでいる条件の悪い、しかも甚だしい災害を受けた地区の復旧の新しい、そして良い方法を求めている。おそらく山林局の最大の責任は公共の林地と放牧草地の管理によつてこのような被害の発生を妨げることである。われわれの管理業務はかならずしもこれらの目的を達成してはいなかつた。もちろんわれわれは環境を保全するため、集運材や道路築設の方法を研究し、たえず改良している。

山林局の任務は森林と放牧草地の管理・保全・改良で、次の3つの領域にわたっている。

国有林の管理

州有林・私有林林業への協力

林業研究

ここではわれわれの組織と活動について詳細にはふれられないが、流域管理関係職員の活動については要点を簡単にふれよう。

国有林組織の中で、流域管理の専門家は森林管理者のために基礎的な資源のデータと解釈—— 土壌と気候に関する情報 —— を提供することに努力の大半をささげている。次にまた彼らは放牧・レクリエーション・木材生産・林道築設の活動に関連して流域管理について森林管理者に助言し、協力している。要するに彼らは国有林から、流出する水の水質を監視している。これはわれわれの国有林管理活動の成功あるいは失敗のすぐれた指標である。

山林局の州有林・私有林林業への協力業務の中には流域全体計画の下における洪水防止計画を含んでいる。洪水防止事業は農務省の中だけをみても土壌保全局との協力が行なわれている。もちろん各州とも協力が行なわれている。地方機関との協力は上流域における小流域事業の開発や施設で求められる。山林局の指導には洪水流出と流出土砂生産を減少するような林業的対策を計画し、施設し、維持するについての技術的援助の提供を必要とする。

流域研究については、このあと行なわれる会議で、その中のあるものが提供される論文の中で詳細に論じられるであろう。しかし一般に、前に列挙した流域管理の実践のための原理と方法を提供するのが研究の役目だと考えられる。これを行なうため、多くの異なつた教育を受けた科学者をあつめている。彼らは全国に33の方向づけられた研究(単位機関)で働いている。その多くのものは大学の構内におかれている。そして基礎と応用の両面で研究が行なわれている。

約6年前に流域研究については林地土壌と水における森林化学物質の移動と分解に関しての仕事を開始した。それ以来環境問題は米国における最先端のものとなり、われわれの関心もきわめて強い。多くの訓練を受けた科学者がこれらの問題に集中配置され、短期間に多くのことが知られてきた。いわゆる農薬—— 殺虫剤・殺菌剤・除草剤 ——のうちのいくつかが環境に害を与えつつあることが分つた。病気の原因となることが証明され、あるいは疑わしいとみられたものは農務省と山林局で使用が規制された。森林施肥が水質に与えると考えられる悪影響についても研究されつつある。これらのものは森林経営者の必需品として広く認められてきた。そしてもしこれらが禁止されるようなことになれば、われわれの目的にたつて一時的

に進歩のさまたげになるだろう。しかし一方では他にとるべき道が求められつつあり、それらの開発が急速に進歩しつつある。

以上は山林局でわれわれがパターンの変更に見合うようちよう戦を試みている一連の仕事である。

歴史は土と水の資源をうまく管理しなかつたために途中で消えた国民と文化の物語を記録している。われわれは資源の悪化を防ぐだけでなく、回復できる資源を改良するため健全な計画を発想し、実行するよう最善をつくしたい。

竹原博さんとみなさんをここにお迎えできてたいへん喜ばしい。おそらく興味をお持ちと考えるが、西部地方においてわれわれの仕事のいくつかをぜひおみせしたい。次にこちらから日本を訪問できることを期待している。

5. 各議題に対する日米両国の提言要旨

(注1: 第1回会議では日本で開催され、米国側が招待された形となり、提言も日本側が詳細で米国側は簡単なもので、結果的には論議も日本側提言を(比較的)中心として進められた。この第2回会議ではこの逆となり、日本側提言は簡単に主として問題点の指摘となり、米国側のそれが、豊富な実績をもっていることもあつて、詳細な意見の発表となり、論議も米国側のものが中心となつて進められた。)

(注2: 米国側提言は日本文・英文の両方が日本側にわたされた。日本文への翻訳は国務省のLanguage serviceによるもののようである。かならずしも適訳でないところもあると考えられるが、ここでは日本文のものをできる限り原文のまま載せることとした。)

(議題1)

流域試験の成果と今後の研究方向

(Research results on experimental watersheds and future research programme)

(説明・執筆) 中野秀章

現 状

山地流域からの流出に及ぼす森林の影響については、遮断・蒸発散・林地浸透能など個々の森林水文現象の検討と、現実流域による森林の総合的影響の直接的試験の両面から研究されてきた。近年は後者にとくに重点が置かれてきた。

1906年最初のものが設けられて以来、設定された試験地は林野庁(林業試験場)関係8、大学関係3で、これらは北は北海道から南は九州までに分布している。林野庁関係の4試験地で終了したが、他は現在も試験・水文観測が継続されている。これらの試験地はそれぞれ1~9の単位試験流域をもち、併行流域方式(基準期間を持たないEmmental方式)、基準流域方式(基準期間と基準流域を持つWagon Wheel Gap方式)および基準・処理期間を持つ単独流域方式の3方式により試験が行なわれてきた。大学の流域ではEmmental方式で林相の良否別の流出比較試験等が行なわれたほか山地水文学の教育の場として用いられている。

林野庁所属流域では後2者の方式で、成熟林の皆伐と択伐、皆伐跡地への樹草の再生・再生樹草の刈払と焼却、再生林の溪岸部伐採、皆伐跡地への階段工築設、植栽の影響が試験された。そして、これら処理の影響は年・季節・月各流出量、低水流量、増水量、増水ピーク流量、年間流出の一様性について主として推計学的手法で解析された。

その結果、付属資料に要約されたような知見が得られている。

なお、林業試験場の現存4試験地では、皆伐による高水量の変化、再生林・植栽木の生育による流出変化、流域内の伐採区的位置による流出変化の比較、択伐率による流出変化の違いの比較等について試験が継続されているが、従来計画された主要な試験については次第に終了しつつある。

必要とされる情報

従来の試験成果は流域管理における森林の重要性の説明に役立ち、また流域保安林の取り扱いや国土保全を考慮した一般木材生産林の施業の実施にも応分の寄与をしている。しかしいずれの面についてもなお十分貢献するまでには至っていない。その理由の第1は森林の試験処理による流出変化を遮断・蒸発散・浸透能などの個別水文現象の総合として定量的に十分に説明できないことであり、第2は保全を考慮した森林施業の個別技術についての直接的な研究がほとんど行なわれていないことである。前者に対しては、個別森林水文現象の定量的な研究を主要樹種別・林相別にさらに発展させる必要があり、このための新しい研究手法とさらにこれらを定量的に総合する手法が必要と考えられている。

後者に対しては保全を考慮した具体的な森林施業方法を想定し、これを直接流域試験で確かめる必要があるが、この種試験の実例について知ることが強く望まれている。

なお両国の研究成果はそれぞれ両国に直接利用できることが非常に多いと考えられ、従来も日本の研究者は米国の成果をかなり入手しているが、それらは部分的な成果であるので、現状における成果の総合、いいかえれば森林の効果の総合的評価についての情報が強く望まれている。また、こんども成果の交換を十分に行なうよう望まれており、このため研究機関や試験流域のリスト等を交換し、できれば両国の専門家が現地で直接協議できる機会を設けるなどのこ

とが望まれている。

付属資料 林野庁林業試験場の流域試験による成果の概要

- (1) 皆伐と伐採木搬出に伴う地表の攪乱と圧密に基づく林地浸透能の減退によると考えられる地表流出の増加、蒸散と遮断の減少によると考えられる出水時初期損失の減少等が増水量・増水ピーク流量を増加する。しかし蒸発の原因となる条件のきびしいとき、とくに春・夏期には伐跡地表層土の土湿不足がはげしくなり、初期損失はかえって増大して増水量・増水ピーク流量が減少することがある。
- (2) 一方、皆伐と伐採木の搬出後、蒸散の減少により低水流量は増加する。ただし積雪地方の根雪期間に起こる低水流量は、林冠除去による融雪の促進および秋期のリチャージ水分の増加のため、増加する。
- (3) 積雪のない流域では、皆伐・搬出後、多くの月の総流出量は増加する。しかし春・夏期の各月流出量は減少する。
月流出量は増水量と低水流量の両合計量であり、かつ量的にはほとんど増水量に支配されるから、(1)と(2)の理由で、当然このようになる。
- (4) 積雪のある流域では、皆伐・搬出後、融雪期前半の各月流出量が顕著に増加し、逆に後半の各月流出量は必ず減少する。この変化は主として林冠除去による融雪促進のための雪水流の時期的分配の変化のためと考えられる。他の多くの月の流出量は増加するが、夏期の各月流出量は、積雪のない流域の場合と同様に、減少することもある。
- (5) 年・季節各流出量は皆伐・搬出後増加する。これらの流出量は月流出量の合計量であり、多くの月でその流出量が増加するから、当然このようになる。
- (6) 日流出量の年間における分散程度で示す溪流々量の一様性は皆伐・搬出後悪化する。
- (7) 択伐によつても定性的には皆伐と同様の変化がもたらされるが、一般に皆伐・搬出よりも量的影響程度が小さい。
- (8) 伐採による流出変化は伐跡地への樹草の再生・発達あるいは植栽木の生育とともに小さく

なり、再生二次林の成立とともに流出状況は伐採前のそれに次第に復帰していく。

- (9) 皆伐・搬出による増水量・増水ピーク流量の増加あるいは減少の方向とその量は主として出水直前の流域の乾湿状態と降雨量・降雨強度で決まる。また低水流量の変化量は降水量・気温等の気象条件によつて左右される。したがつて当然増加水量・低水流量の合計量である月・季節・年各流出量の変化量も気象条件で左右される。
- (10) 皆伐・搬出跡地への階段工の築設は伐採による年・季節各流出量および低水流量の増加をいつそう顕著にするが、増水ピーク流量を低下させ、年間流出の一様性を向上させる。ただし階段工の影響については1試験流域で試験されただけであり、この結果の普遍性については、こんどの追加研究が必要である。

林野庁林業試験場森林理水試験地の概要

(昭和45年8月現在実行中のもの)

試験流域	所在地	流域条件							試験の方法 と 期 間	森林の試験処理	担 当 機 関	備 考
		面積 ha	高度 m	平均 傾斜	地 質 ・ 土 壤	年降 水量 mm	年流 出量 mm	試験開始 時の森林				
釜淵 1号沢	山形県 北緯 38°56' 東経 140°16'	3.06	160 ~ 247	35°	凝灰岩 頁岩質 凝灰岩 植壊土基 岩までの 深さ15 ~95cm	2641 (雪 35 / 40 %)	2016	広葉樹(ナ ラ・ブナ等) 天然林にス ギ・ヒノキ の人工林が 団地状に介 在	基準流域法 1939年以 降継続中 45°Vノッチ堰 自記水位計 自記雨量計	基準流域のため無処理	林業試験場東北支場 山形分場多雪地帯林 業第2研究室 (山形県最上郡真室 川町大字釜淵)	東北支場でライ シメーターによ る試験を行なつ ている。
2号沢		24.8	161 ~ 245	36°	〃	〃	2075	〃	基準流域法 1939年以 降継続中 45°Vノッチ堰 自記水位計	a. 皆伐・搬出 b. 皆伐跡地への樹草の再 生 c. 再生樹草の抑制 d. 皆伐跡地への階段工の 築設 e. 階段への造林, 造林木 の生長		
3号沢		1.54	163 ~ 239	36°	〃	2702	2262	広葉樹(ナ ラ・ブナ等) 天然林	基準流域法 1961年以 降継続中 45°Vノッチ堰 自記水位計	a. 流域中の低い高度の地 区半分の伐採 b. その後皆伐 c. 皆伐跡地への造林, 造 林木の生長		

試験流域	所在地	流域条件							試験の方法 と 期 間	森林の試験処理	担 当 機 関	備 考
		面積 ha	高度 m	平均 傾斜	地 質 土 壤	年降 水量 mm	年流 出量 mm	試験開始 時の森林				
4号沢		1.12	170 ~ 245	37°	凝灰岩 頁岩質 凝灰岩 植壊土基 岩までの 深さ15 ~95cm	2702	1676	スギ人工林	基準流域法 1961年以 降継続中 45°Vノッチ堰 自記水位計	a. 流域中の高い高度の地 区半分の伐採 b. その後皆伐 c. 皆伐跡地への造林・造 林木の生長		
宝 川 本 流	群 馬 県 北緯 36°51' 東経 139°01'	1905. 66	800 ~ 1945	24°	花崗岩 蛇紋岩 閃緑岩 凝灰岩 礫質 壤土基 岩までの 深さ80 ~125 cm(ただ し無立木 地域は露 岩地が多 い)	3673 (雪 40%)	3117	広葉樹(ブ ナ・ナラ等) にヒバ・ヒ メコマツの 介在する天 然林ただし 高度1500 m以上の地 域(面積 25%)が 樹木限界以 上の無立木 地	単独流域法 1937年以 降継続中 14×3.5×40 (長さ)mの 長方形水路 自記水位計 自記雨量計	国有林の通常の経営計画に よる伐採・搬出(一部地域) 林道築設を伴う	a. 林業試験場 防災部治山料理 水研究室) (東京都目黒区下 目黒5-37-21) b. 林業試験場 宝川試験地 (群馬県利根郡水 上町 藤原)	
初 沢		117. 90	800 ~ 1370	25°	凝灰岩 蛇紋岩 花崗岩 第4 紀層基 岩までの 深さ80 ~125 cm	2659	1850	広葉樹(ブ ナ・ナラ等) にヒバ・ヒ メコマツの 介在する天 然林	単独流域法 1937年以 降継続中 1.6×1.0(幅) 長方形ノッチ堰 自記水位計 自記雨量計	a. 団地状択伐 (蓄積で50%) b. その後皆伐 c. 皆伐跡地への造林・造 林木の生長		

試験流域	所在地	流域条件							試験の方法 と 期 間	森林の試験処理	担 当 機 関	備 考
		面積 ha	高度 m	平均 傾斜	地 質 土 壤	年降 水量 mm	年流 出量 mm	試験開始 時の森林				
1 号		6.48	810 ~ 1075	28°	凝灰岩 礫質 壤土基 岩までの 深さ80 ~125 cm	2085	1043	広葉樹(ブナ・ナラ等) (ヒバ・ヒメコマツの 介在する天 然林	基準流域法 1958年以 降継続中 60°Vノッチ堰 自記水位計 自記雨量計	基準流域のため 無処理		
2 号		4.42	895 ~ 1105	34°	〃	〃	1513	〃	基準流域法 1958年以 降継続中 60°Vノッチ堰 自記水位計	a. 単木択伐(蓄積で 60%) b. その後皆伐		
3 号		5.17	955 ~ 1195	34°	〃	〃	1341	〃	〃	a. 単木択伐(蓄積で 30%) b. その後皆伐		
竜の口山 南 谷	岡 山 県 北緯 34°42' 東経 133°58'	22.61	58 ~ 258	26°	硬砂岩 粘板岩 石英斑岩 植壤土基 岩までの 深さ100 ~250cm	1153	293	アカマツ天 然林に一部 ヒノキ人工 林が介在	単独流域法 1937年以 降継続中 60°Vノッチ堰 自記水位計 自記雨量計	a. 皆伐, 搬出 b. 皆伐跡地への樹草の 再生 c. 再生樹草の除去 d. 山 火 e. 山火跡地への造林, 造林木の生長	林業試験場 関西支場育林部防災研 究室(京都市伏見区桃 山町永井久太郎官有地)	
北 谷		17.27	45 ~ 250	31°	〃	1113	290	〃	単独流域法 1937年以 降継続中 60°Vノッチ堰 自記水位計	a. 皆伐・搬出 b. 皆伐跡地への樹草の 再生 c. 溪岸部再生林分の伐 採・搬出		

試験流域	所在地	流域条件							試験の方法 と 期 間	森林の試験処理	担 当 機 関	備 考
		面積 ha	高度 m	平均 傾斜	地 質 土 壤	年降 水量 mm	年流 出量 mm	試験開始 時の森林				
去 川 1 号	宮 崎 県 北緯 31° 51' 東経 131° 13'	6.56	263 ~ 370	35°	頁 岩 植壊土基 岩までの 深さ少な くとも 100cm 以上	3036	1820	常緑広葉樹 (シイ類・ カシ類・タ ブ・イス等)	基準流域法 1959年以降 継続中 60°Vノッチ堰 自記水位計 自記雨量計	a. 皆伐・搬出 b. 皆伐跡地への造林・ 造林木の生長	林業試験場 九州支場育林部防災 研究室 (熊本県熊本市黒髪町 下立田547)	
2 号		9.17	232 ~ 358	33°	◇	◇	1818	◇	基準流域法 60°Vノッチ堰 自記水位計	基準流域のため無処理		
3 号		8.18	202 ~ 288	33°	◇	◇	1883	スギ人工林 ただし中腹 以上には常 緑広葉樹の 混交が多い	基準流域法 1959年以降 継続中 60°Vノッチ堰 自記水位計 自記雨量計	a. 皆伐・搬出 b. 皆伐跡地への造林・ 造林木の生長		

試験流域による研究結果と将来の研究計画

(Research results on experimental watersheds and
future research programs)

(説明・執筆) アーヴィン C. レーナー
Irvin C. Reigner

試験流域 (experimental watershed) とは、水文学上の諸現象の研究のために選定し、計測機器を備えた河川流域をいう。この定義は、米国において水文学者やその他の河川流域研究者の間で認められたもので、試験流域と代表流域 (representative watershed) とを区別するために用いられる。後者は、広範な区域を代表するように選定・計測されるもので、比較的均質な地域内のすべての流域において測定を行なう方法に代わるものである。Coweeta 流域は、試験流域として研究される流域の一例であるのに対し、米国農務省山林局 (Forest Service) 所管のパロメーター流域 (barometer watershed) や、米国地質調査所 (Geological Survey) 所管の基準流域 (benchmark watershed) は、代表流域の好例であつて、研究用には使用されない。

米国に存在する試験流域の総数を正確に知ることは不可能であるが、約 600 から 700 カ所の間と思われる。農務省内部では、農業研究局 (Agricultural Research Service) が約 275 カ所に記録装置を備えており、さらに、山林局が 230 の試験流域を所管している。この他の試験流域としては、陸軍工兵隊・地質調査所・土地管理局・公衆衛生局・テネシー川流域開発局および若干の州政府の運営しているものがある。約 20 の大学もそれぞれ試験流域を有しており、その中には、連邦および州政府と協同運営のものもある。

代表および試験流域の総数等については、ハンガリーのブタペストで 1965 年に開催された河川流域に関するシンポジウムのために調査が行なわれた。(アメリカ地球物理学会、1965) 報告書は、すでに絶版であるが、図書館等には保存されているものと思う。当時からすでに多くの変更が行なわれているが、この報告書は、今日でも、情報源として有用である。

目 的

流域研究の多く、ないしほとんどは、土地管理方法のガイドライン (guideline) 設定のために、山林局・土地管理局・土壌保全局・TVA等の政府機関が設計したものである。流域内の土地管理方法に関する情報の入手は緊要であり、その情報利用の目的も多岐にわたっている。もつとも明白な目的は、河川・湖沼等への土砂石礫 (sediment) の流入防止をはかる土地管理方法の発見であろう。これとほとんど併行して、荒された (damaged) 土地を復旧して (rehabilitating) 土砂石礫の流出を防止し、かつ、その土地を生産目的に再使用する問題が存在する。

水質研究は、近年、いくつかの新しい方向に発展し、公害および環境の質の面にますます主力が注がれている。最近の研究としては、試験流域からの化学的栄養分の移動とか、河川流域における栄養分の循環 (cycling) などがあり、また、その他新しい研究が開始されつつある。植物管理に起因する水温の変化にも、若干の関心が示されている。

流水の頻度 (flow frequency) ならびに土地および植物管理のピーク流量に対する影響等の詳細は、洪水防止活動や流域企画関係者にとつて必要である。

試験流域のもつとも重要な用途は、流出量 (water yield) に関する実験である。植物管理による流出量の改善は興味ある課題であつて、米国において、森林流域の分野での研究の半分はこの点に集中している。

運営方法

管理方法の効果に関する情報を入手するためには、少なくとも3つの方法で試験流域を使用することができる。もつとも広く用いられているのは、流域を組み合わせる方法 (paired watershed approach) である。類似した特性の流域を2カ所以上選定し、比較計測を行なつた後、1カ所を標準 (control) として、他の流域にそれぞれ異なつた管理方法ないし取扱いを施す。上の方法ほど広く行なわれていないが、1個の河川流域を用い、場所的比較 (space differential) に代えて、時間的比較 (time differential) を行なう方法がある。比較的新しい方法として、多数の流域を用いる場合があるが、このためには、研究対象となる諸要件について、それぞれ異なつた条件を備えた流域を多数選定する

必要がある (Striffler, 1965)。以上の3方法には、それぞれ長所・短所がある。

結 果

試験流域からの土砂石礫の移動の測定によつて、大量のデータが集められているが、そのほとんどは、農地流域において測定されたものである。われわれは森林パネルであるから、この発表では、西部における低木林破復流域 (シヤパラルの流域) を含む森林試験流域にしほつて行なう。一般的に、森林試験流域は、その管理を誤まらなければ、注目すべき量の土砂石礫を造出しない。したがつて、試験によつては、流出土砂のサンプル取得をまったく無視した場合もある。しかし、ほとんどの場合、流出土砂がまったく、あるいは、ほとんど予想されなくても、浮游土砂 (suspended sediment) 測定のために水のサンプルを取つている。土砂石礫を流出するような極端な処理を故意に施した例もある。そのような場合には、土砂沈でん池 (catch basin) その他の流出土砂測定装置を用いた。後者のグループとしては Coweeta 試験流域2カ所があり、山腹の農耕および放牧を土地処理として行なつた。オレゴン州の H. J. Andrews 試験林では、道路建設によつて土砂流出が極度に増加した。

森林地帯で収集した流出土砂関係の情報は、そのほとんどが小区域測定 (plot study) の結果であつて、試験流域全域のものではない。しかし、入念に採せば、現在、流出土砂に関するデータが集められている試験森林地区が25ないし30カ所ぐらい発見できるであろう。これらのうち約半数についてのみ、今日までに有意な情報が集められている。幸いなことに、皆さんはデービス郡試験流域 (Davis County Basins) を視察されるが、ここでは、長期間にわたつて非常に重要な情報が入手されている。

流出土砂研究の結果は、森林管理にとつて非常に有用である。場所によつて土地の侵食がどのように異なっているとか、また、それに関係する条件因子についても若干の知識が得られている。深部まで風化した花崗岩が下部に存在する地域等はその他の地域より不安定であることも分つている。伐採作業も、良く計画され、慎重に実施された場合には、土砂の移動を重要な程度にまで増加するものではないが、伐採のための林道は重大な要因になる場合がある。

流出土砂関係の情報は、流域の計画担当者にも利用できる。流域の計画に関するもうひとつの問題は、洪水緩和であるが、計画担当者は土壌保全局、山林局等の開発した方法によつて、計画区域内の支流流域(subwatershed)のそれぞれにつき、水文学的な反応を予測することが行なわれている。この予測方法の作成には、試験流域で得られた水文学的な基礎資料や諸関係式が多く用いられた。オハイオ州 Coshocton の流域 — 農地および森林流域 — は、Coweeta流域とともに、重要な資料を提供した。ほとんどすべての試験流域から降水量および流出量(run-off)のデータが収集されており、その分析によつて、水流の頻度、直接流出量(direct run-off)、その他洪水時の流水変数(flood flow parameters)が得られる。あらゆる流域からの直接洪水流出量(direct storm run-off)を予測する方程式が案出されているが、まだ、その諸係数を強化・改善するために基礎データが蓄積されている段階である。

森林流域がもつとも利用されているのは、流出量(water yield)改善の分野である。森林が流水の状態(streamflow regimen)に与える影響は、林務官(forester)や水文学者にとつて、すくなくとも過去100年にわたつて、非常に興味のある問題であつた。今世紀初頭の有名な Wagon Wheel Gap の試験(Bates and Henry, 1928)以来、山林局では相当大規模の研究計画を作成して、森林の影響の調査や、水量、水質、流出時期等の点から流出量の改善をはかる方法の確立に努力してきた。現時点において、山林局の流域研究の約半分が、流出量改善の研究に向けられている。

知識は相当蓄積された。過去10年間に断片的であつた情報が次第にまとまつて来る段階に達した。最近、潜在的な流出量増加の定量的限界を測定することに成功し、この限界量を得るために植物を操作管理する方法を開発した。年間流出量の増加分は、年間降水量に正比例し、植生生産に反比例することが判明した。流水量(streamflow)を短時間に増減することは可能であつて、これは、とくに植物の根が常に水に通じている水路周辺において、植物の生長を一時的に抑制することによつて行なう。森林地帯における積雪量増加を目的とする帯状伐採(strip cutting)によつて、高山地帯の流域からの流出量は増大する。皆伐による初年度増加分は、降水量の多い北西部太平洋岸では最高460mmに達した。しかし、安定した

伐採量を得るために、何らかの形の同齢林育林法(even-aged silvicultural system)を用いて保続収穫管理した場合、持続した流出量増加は、雨の多い東部で平均100mm、乾燥した西部で50mmである。

このような方法を用いた場合、土砂移動にはさほどの影響は見られなかつた。ただし、一部の営利目的の伐採作業に類似させるために、土地処理を故意に不注意な形で行なつた場合は例外である。しかし、汚濁に加えて、他の水質条件がますます注目を集めている。水温の変化、流水中の栄養成分およびその他の化学成分の増加等が、森林管理方法の結果として発生し、環境の観点から好ましくないとされる場合も起こり得る。これら諸条件が、次第に多くの試験流域で測定される傾向が見られる。

将来の計画

すでに非常に多数の試験流域が広く分散して存在し、かつ、大量の情報がすでに蓄積され、また、現に収集されつつある実情から見て、現在より以上に米国で試験流域が増設されることは、あまり考えられない。水資源調査部(Office of Water Resources Research)が5年前に設置されたのを契機として、51の試験流域が各州およびプエルトリコ准州にそれぞれ1カ所ずつ新設された。多くの研究所において、試験流域の設置が提案・検討されたが、いずれも早期に計画中止の線が出されて、研究員には既存の流域を用いて研究を行ない、また、すでに収集された資料を利用する方法が講じられた。その後、米国における試験研究用流域の一覧表が、国際水文学10年計画米国委員会(U.S. National Committee of International Hydrological Decade)によつて作成された(1969)。この表には、個々の研究流域140を含む試験研究地域40カ所が挙げられている。これからの10年間に、これらの主要研究地域で活動が続けられるであろう。

研究の重点は、経験的研究から基礎研究に移行しつつある。前者は、試験流域から得た流水量(run-off)データを用い、後者の多くは、でき得れば流域内の小区域について行なわれるものである。試験流域は基礎研究から導かれた結論を吟味する目的に引続いて使用されるであろう。その試験結果は、山林局の国有林部(National Forest System)

＝林野庁業務部に相当）の運営するバロメーター流域に適用され、試験結果の実用化の第一段階を形成する。

流域モデリングは、水文学的諸現象の予測のために貴重な道具であつて、すでに、試験流域からのデータが高度に取り込まれている。モデル作成には、多数の小流域について、気象、植物、地形等に関する媒介変数が測定され、収集される。その過程において、予測のための方程式の設定とともに、これら諸変数の評価も行なわれるであろう。

試験流域の利用が、環境の質の研究の面で増大することは疑いない。環境の質に関する数値のなかには、ごく最近になつて吟味され始めたものがあり、したがつて、これらは、従前の試験では測定されていない。必要な情報入手のため、再試験を要する場合もある。

文 献

1. Ackermann, William S.
1966. Guidelines for research on hydrology of small watersheds. Off. Water Resources Res., U.S. Dept., Interior, Washington, D.C., 26 pp.
2. American Geophysical Union.
1966. Inventory of representative and experimental watershed studies conducted in the United States. Washington, D.C. (Out of print)
3. Bates, C. G. and Henry, A. J.
1928. Forest and stream flow experiment at Wagon Wheel Gap, Colorado. Monthly Weather Rev., Suppl. 30.
4. Croft, A. R. and Bailey, R. W.
1964. Mountain water. Unnumbered publication of Intermountain Region, Forest Service, USDA, Ogden, Utah.
5. Dils, R. E.
1953. Influence of forest cutting and mountain farming on some vegetation, surface soil and surface runoff characteristics. Station paper No. 24, Southeastern Forest Expt. Sta., Forest Service, USDA, Asheville, N.C.
6. Dils, R. E.
1957. A guide to the Coweeta Hydrologic Laboratory. Southeastern Forest Expt. Sta. Pap., 40 pp.

7. Hewlett, John D. and Hibbert, Alden R.

1961. Increases in water yield after several types of forest cutting. Intern. Assn. Sci. Hydrol. Bull. 6, 5-17.

8. Hewlett, John D. Lull, Howard W., and Reinhart, Kenneth G.

1969. In defense of experimental watersheds. Water Resources Res. 5(1) : 306-316.

9. Hibbert, Alden R.

1967. Forest treatment effects on water yield. Intern. Symp. Forest Hydrol., Pergamon Press, New York : 527-543.

10. Rothacher, Jack.

1966. Experimental watersheds used as a research tool by the Forest Service. In Notes on Unit Sources watershed Conf. U.S. Agr. Res. Serv., Soil and Water Conserv. Res. Div., St. Louis, Mo., Feb. 16-19, 1965, pp. 1-16 (Append. H).

11. Striffler, W.D.

1965. The selection of experimental watersheds and methods in disturbed forest areas. In Budapest Symp. Proc. Int. Ass. Sci. Hydrol. Symp. Publ. 66 : 464-473.

12. U.S. Department of Agriculture

1965. Fed. Inter-Agency Sedimentation Conf. Proc. (1963). (Includes Papers by many authors.) Misc. Publ. 970, 933 pp., illus. \$ 5.75.

13. U.S. National Committee for the International Hydrological Decade.

1969. Representative and Experimental Research Basins in the United States. National Academy of Sciences, Washington, D.C. \$ 3.50.

(議題 2)

山地流域の林業的流域管理

(Forest management for mountainous watershed)

(説明)海法正昌, (執筆)中野秀章

現 状

政府各機関その他の公共機関は、その主管する面に応じて、それぞれ流域管理に当たっているが、その中で林業関係機関は森林の機能を活用することによって分担している。すなわち、森林の持つ理水機能・山地荒廃防止機能を認め、山地で森林のこれら機能を維持し、また機能の低下もしくは消滅した土地ではこれを改良もしくは回復するよう、一般木材生産林を経営し、あるいは治山事業を実施している。すなわち森林の機能の維持のため、一般木材生産林をできるだけ国土保全的な面を考慮して施業するとともに保安林制度を設け、また予防治山事業を実施している。低下もしくは消滅した森林の機能の改良もしくは回復には水源林造成・復旧治山・保安林改良の各事業で対応している。

森林法により、主として重要河川の水源流域には水源かん養保安林・土砂流出防備保安林・土砂崩壊防備保安林が指定されている。その面積は506万ha(昭和44年現在)で、わが国森林の20%強にあたり、国有林ではその33%強、民有林ではその14%強に相当する。これらの保安林では立木の伐採および土地の形質変更に対して制限が行なわれている。すなわち原則として土砂流出防備保安林・土地崩壊防備保安林では伐採は択伐とされ、水源かん養保安林では伐採種を定めないとされており、択伐跡地の更新は天然更新とされている。しかし地盤が比較的安定している森林、択伐跡地の更新が困難となるおそれがない森林は皆伐をやり、更新を人工植栽でやつてよいこととなつている。また択伐の伐採量は生長量の範囲内、伐採率は伐採区域の蓄積の30%以下とし、皆伐の場合は1年間の伐採面積を、定められた区域内で皆伐を許されている面積を標準伐期齢で割った商以内とするようにされている。落葉・下草・土石の採取は一般に禁止されている。そして立木の伐採や土地の形質の変更は都道府県知事の許可を受けて実施される。

一般木材生産林の施業に防災的な面の考慮を払う必要は重要度を増加しつつあり、近年大面

積皆伐への反省と択伐方式の再認識、林道築設に際しての防災的な考慮(議題2)等に対する関心が強くなりつつある。

森林の効果を越えたいきびしい条件下では、林地も荒廃することが考えられるが、これを予防するため荒廃危険地域を予測し(議題8)、これに土木工作物等を導入して、林地の荒廃を防止する予防治山事業が実施されている。

近年伐採は年間49万ha(昭和43年現在)に及ぶが、その跡地の更新は人工造林約35万ha、他は天然更新で行なわれている。この人工造林中保安林あるいは保安林を予定している地区内の不良林相部分の改善には特別の財政措置がとられている。これらが水源林造成および保安林改良事業である。

一般木材生産林の造林にも補助金が出され、造林面積の拡大がはかられている。しかし同一樹種の一斉林形態が多く、人工林の伐採跡地では土壌生産力の維持が問題となつてきている。このことは保全上にも問題で、再造林地における樹種の混交を考える必要があるとする意見がでている。

林内に生じた崩壊地・はげ山・地すべり地・荒廃移行地には当然復旧治山事業が実施され、森林地への復旧がはかられている(議題4)。

必要とされる情報

米国で、林業関係機関が流域管理において分担している部面とその実態についての情報を知ることがきわめて有益である。とくに森林の機能を活用している具体的事実についての情報が望まれている。

山地流域に対する森林管理

(Forest management for mountainous watersheds)

ラルフ C. マローニー

(説明・執筆) Ralph C. Maloney

はじめに

米国の大半は森林でおおわれている。多くの人の種々な必要をかなえるよう森林のはたす役割の重要さに対する一般の認識は、過去より多くの森林管理の努力とか法律によつて逐次表現されてきた。初期の開拓時代のあとの時代では、わが国における森林管理は主に保存的あるいは保護の性質のものであつた。今日我々の考える集約的森林管理はようやく2, 30年前に発展し始めたにすぎない。

人間に対する森林の価値の認識

山地流域の森林地は適正に管理されると人間に多くの恩恵をもたらす。これらの恩恵とは材木と木材加工品があり、良質の水、野生動物及び家畜のエサである。森林はまた野生動物及び魚の棲息地となり、多くのタイプのレクリエーションの環境をつくる。山地流域はまた鉱物資源の多くを供給するみなもとでもある。もし、これが適正に管理されないと山地流域は汚染水の元となり、洪水及び流出土砂を増し、人間や動物の生活に有害となり他の種々な害をつくり出す。米国の公有林地の大多数と私有林の多くが多目的利用と収獲保続という原則の上に管理されている。そのような原則に立つて、林地の種々な更新し得る地表資源が人間の必要をかなえるような組み合わせ利用のために管理される。これには変化しつつある必要、状態に合うように定期的な調整を十分な範囲で出来るような、大きな地区のサービスとか、これらの資源の一部または全部の土地を賢明に使用することが、もつとも必要である。またこれは土地の生産性をそこなうことなく、種々な更新し得る森林資源の高い年間生産の持続性を達成及び維持するためにお互いに種々な資源を調和して協力して管理することが必要である。公共有地においては、種々な資源の相対的価値に考慮が払われ、必ずしも最大の単位生産とかまたは最大のドル収益をもたらすというような利用の組み合わせが考慮されるという。

土地管理方式決定のための基礎を作ること

同時に森林環境の中のすべての資源を最大限に使つて、それを楽しむということは生物学的にも、物理的にも不可能である。森林流域からより良い価値を生むためには管理方式の決定はそれぞれの地域の自然環境を作る多くの物理的、気候的、生物的要因の間の基本的な自然相互関係を十分に認識してなされなければならない。また同時にその地域が提供出来る物及びサービスに対する経済的、社会的、政治的必要性も考えなければならない。この関連性の決定は簡単なことではない。これには多くの科学や技術部門の組み合わされた知識や技術と研究成果をフルに利用することが必要である。今日、米国内では森林流域に関する決定のための確立された標準とか、一律の基本的アプローチはない。土地管理方式の決定は多くの場合、可能性、限度、選択に関する十分な基本的な情報が足りないため主観的推論の基礎の上になされる。国内の森林で管理の直視的なアプローチから結果的に損害を生ずるという証拠がかなりある。しかし連邦、州、市町村機関及び私企業がこの状態を改善すべく手段を講じている。一つの例として山林局では管理計画は部門間のチームのアプローチでなされている。このアプローチでは、種々な広い技術訓練と経験のある科学者のチームが全体の可能性、限度、管理の仕事いかんによつての害を管理者と密接に協力することによつてたしかめられ、また管理目的に対しての各々の出来得る仕事に対してその効果を評価される。この部門間のチームアプローチの主な目的は、土壌の生産性とか水の保有能力とかの基本的な資源価値を守りながら、かざられた資源の能力をもつとも都合良く使つて利益を生むための調整された管理計画を作ることにある。土壌、気候、水資源の量と質、地形学的特徴、植生などの調査は種々なタイプの管理、洪水及び流出土砂の源となる地域、現在ありあるいは将来起こるかもしれない不安定な地塊のような特別な土地使用上の問題のある地域などを、はつきりさせるために行われる。この調査データの科学的解釈の中で、木質せんい・飼料・水・レクリエーション・野生動物・魚などの地域ユニットの生産性の能力のたしかめが行なわれる。これが、その地域の特別な気候条件・地勢特性・地質・土壌の中で何が生産されるかという情報を提供する。この解釈はまた最高水温とか混濁とか洪水流出とかの特定許容限度も含んでいる。この限度は下流のある地点とか森林そのものの価値に害をあたえることのないものでなければならない。

森林管理の要素

一般に知られている森林管理には三つの要素がある。すなわち保護・開発・復旧または改良である。

(保 護)

保護とは山火事や害虫と病気のコントロールと予防のための仕事をさす。また、森林使用者に対して、なだれ、洪水のような切迫した危険を警告するシステムをも含む。森林管理者は山火事や害虫と病気の発生のコントロールと予防に必要な方法を知らなければならない。またこのような事態が発生した時に必要な警告システムとか、治療方法をまえもつて計画する必要がある。また管理者は、こういう事態が発生した時の資源の生産性、土壌流失、洪水及び岩屑の流れのなす影響を予測して適正な治療方法のタイプと程度を決定する助けとしなければならない。

(開 発)

森林地の利用とより多くの生産物に対する要求が増している。これには今ある資源を使用する際、それをより良く能率的にすることでなされなければならない。もし手に入る機会が利用され、適正な安全性が実行プログラムに組み入れられれば、森林地開発の仕事は、森林地内外に恩恵をもたらす。通常の森林行政の一部と考えられるいくつかの仕事が余計な費用をかけないで多くの利益を生み出す良い機会を作る。この一つは木材収穫プログラムである。他国と同じように米国の森林はあまりにも多様で、管理のための一種類の育林方法を一般的に適用することは出来ない。各々の育林方法は森林の更新だけでなく、自然美・水生産のタイミングと量・飼料生産・野生動物棲息地についても異なつた影響をあたえる。収穫の方法も土砂生産・水質・魚資源などの森林地から得られる利益に影響をあたえる。皆伐のような、ある与えられた育林方法でも、その地域が帯状またはブロック状で皆伐されたかどうか、伐採パターンのサイズまたは方針によつて、ちがつた影響をあたえる。

(復旧または改良)

過去に起こつた火事とか他の原因によつて荒廃されたり、またはあまりにも使い過ぎた地域で復旧計画が実施されている。これらのプログラムはその地域を生産地にもとすだけでなく、また洪水減少・侵食と土砂流出のコントロール・より安定した水路・水生産のより良いタイミ

ングなどの利益を提供するために作られる。山岳国においては森林管理の仕事の一部として流域の価値を高め、保護するためにとられている特別の方法は下記のいくつかである。

- (1) 適当な排水を最短距離でデザインする；道に緩な傾斜をつける，排水溝を作る，水を道の盛土の下端に導くように縦樋をつくる。
- (2) 木材収穫の時の土場を水路及び主排水路からはなすこと。
- (3) 侵食のおそれのある地域へのトラクターの使用を制限すること。
- (4) 地表流出・洪水流出及び土砂流出への影響を少なくするような木材収穫地域のレイアウトを計画する。また土壌と地形が崩壊やなだれを起こすおそれのある所の伐採をさける。
- (5) 道の切り取り・盛土の必要な所に植物をうえること。
- (6) 土地の悪化，人間の健康や安全への害がなく，また他の望ましからぬ結果をもたらすことなく環境を出来るだけ広く利益を生むような状態におく一番良い育林方法をえらぶ。
- (7) より好ましい植生を得るために，密な低木叢地の山火事のようなカストロファイを利用すること。
- (8) 水路岸の植物を残して水温を保護し，溪岸上部からの土壌をフィルターさせる。
- (9) 積雪地帯で水生産量・そのタイミングを改良するため木材収穫の方針，伐採区域のレイアウト，サイズ，スペース，形などを出来る限りデザインすること。
- (10) 低木地域における野生動物棲息地と自然美への要求をタイプの転換計画に織り込む。

森林管理プログラムは多くの場合，山地流域の森林及び草地の試験結果によつて支配される。試験結果は土壌，気候，地形，植物のような重要なファクターの相違の科学的評価にもとづいて他の地域にも外挿して適用される。森林管理の重要な要素は，目的を達成する上でいかに管理の仕事が効果があつたかをたしかめるため，追跡評価をすることである。国有林について，これらの追跡評価をするための助けとして“インデックス”またはバロメーター流域のシステムを始めた。この種の流域には，おのおの種々な気候及び水の行動の重要な変数を計るため計器をつけられる。そして管理の仕事の影響を反映している生態・土壌の動き・排水の状態・水質とか他の要因についての変化をくわしく記録する。我々はまた国有林について全部水質を監視する広いプログラムを計画中である。そしてどの程度水質特性が管理によ

つて影響されるか、そして必要な時にどのような補正措置をすべきかを定める。

要 約

山地流域の森林は人間に恩恵と健康をもたらし、生物体や環境への害をなくし、あるいはそれを予防するためには、森林がその一部であるエコシステムを良く知った上で、管理されなければならない。国有林の土地を安定し、バランスのとれたエコシステムを維持し、多目的利用管理に調整して資源を利用するための現在の努力は、部門間の計画アプローチを必要とする。これは人々の必要に見合うような使用を可能にするため、ある地域の災害・自然の可能性・限度とその資源を充分認識して前もって計画する仕事である。同じく重要なことは管理目的が達成されたかを知るため追跡評価をすることであり、もし達成していなかったら、すぐにこれを修正すべき手段をこうじることである。

文 献

1. Wooten, Hugh H. and James R. Anderson
1958. "The Uses to Which We Put Our Land." In LAND, the 1958 yearbook of Agriculture. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. pps. 53-62.
2. Dana, Samuel Track
1956. "Forest and Range Policy, Its Development in the United States." McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, Toronto, London. 455 pps.
3. Moore, Walter L. and Carl W. Morgan
1969. "Effects of Watershed Changes on Streamflow." Water Resources Symposium No. 2. Center for Research in Water Resources, the University of Texas at Austin, Austin, Texas. 289 pps.
4. Sopper, William E. and Howard W. Lull
1967. "International Symposium on Forest Hydrology, proceedings of a National Science Foundation Advanced Science Seminar held at the Pennsylvania State University," University Park, Pennsylvania, August 29-September 10, 1965. Pergamon Press. 813 pps.
5. Kneese, Allan V. and Stephen C. Smith
1966. "Water Research." The John Hopkins Press, Baltimore, Maryland. 526 pps. (Papers presented

at the Seminars in Water Resources Research,
sponsored by Resources for the Future and the
Western Resources Conference at Colorado state
University, July 1965).

6. Wollman, Nathaniel, et al,

1962. "The Value of Water in Alternative Uses,
with special application to water use in the
San Juan and Rio Grande Basins of New Mexico."
The University of New Mexico Press, Albuquerque,
New Mexico. 426 pps.

(議題3)

流域管理の観点からみた山地流域の土地利用区分

(説明)竹原 秀雄, (執筆)中野 秀章

現 状

近年、経済・社会の変化ははげしく、その影響は山地流域の土地利用のあり方にも及ぼうと
している。

すなわち、農政においては、稲作中心の農業を是正し、畜産・園芸等の振興がはかられ、こ
れに必要な土地は山地にも求められようとしている。また人口分布の都市集中化傾向は自然に
接しようとする国民の要請をますます高め、これに応じて山地における観光開発が多くの地域
ですすめられつつある。一方、自然の保存の必要性も次第に強く国民の間に意識されようとし
ている。これらのことから山地流域では、従来その主たる産業であつた林業とこれら諸産業あ
るいは自然保護との間に利用地域の調整の問題が生じ、その調整の基準が必要となりつつある。

このような土地利用区分の基準は、まず国民経済的な側面から諸産業間の比較で考えられ、
また自然の保存に対する社会的要請の判断からも考えられよう。しかし、これらの面での基準
の作成は幾多の困難な問題を内包しており、その検討は現在きわめて不十分である。

一方、山地流域のあり方は水害等各種自然災害の発生と河水資源の確保に重大な影響を及ぼ
す。したがってさらに国土保全的な側面からも適切な産業の選択とその山地における合理的な
配置が考えられねばならない。さらに選択された諸産業のいずれにおいても、生産基盤として
の土地の保全はもちろん災害防止・水資源の確保等をも考慮した経営方法が考えられねばなら
ない。国土保全的な側面での土地利用区分の考え方は経済的側面のそれと比較して多少自然条件
にもとづく客観的把握が可能と考えられるが、経済的側面と同様に現在その検討はきわめて不
十分である。

しかしながら、この問題はきわめて重要で、こんご次第に行政面で検討が加えられ、また関
連した研究も実施されるものと考えられる。

必要とされる情報

上述の実情から米国における山地流域の土地利用区分の考え方と区分の実態についての情報

は当面の問題処理にきわめて有益と考えられる。

また、この種の問題に関連した研究の現状についての具体的知識も、こんどの研究展開に有力な示唆を与えるものと考えられる。

流域管理からみた土地利用の分析

(Land use analysis from the viewpoint of watershed management)

エドワード・A・ジョンソン

(説明・執筆) Edward A. Johnson

全国・地域・州各レベルの土地利用計画のシステムをより総合的にする必要が米国には存在する。このような必要性は、この国が環境と土地利用、計画を立案する権限を持つ政治機構が細分化されている事等に関心を持つていることからきている。米国の西部地方へ見学旅行をされる際、皆さん方は、連邦の所有していない土地利用計画の立案と管理を行なう権限と責任は、ほとんどの場合、州政府および他の地方自治体に持たれ、財政および物的な支持という形で連邦の援助が存在することに気付かれると思う。これは短期的な経済考慮・便利性・伝統等に準拠して、決定がなされた例である。皆さん方はまた、地方公共体によつてその責任の履行の仕方が異なることに気付かれると思う。この事実は国有林・国立公園・国定海岸・国定湖岸・国定遊楽地域・荒野 (Wilderness) 内の連邦保有地の有用性・価値および将来に重大な影響を与える。

いくつかの連邦機関が土地利用計画の立案および管理に関与している。これらの機関は生態学・環境学・美的感覚・経済学・社会学その他適切な要素を取り込んで、限りある森林資源・土地資源・水資源の均衡のとれた利用を行なうことを試みている。森林管理に責任のある連邦機関は、生態学や土壌学の原則にそつたいくつかのパターンの土地利用計画や土地利用分析を用いている。これらの計画は特定の活動 (事業) に対する一連の選択方向を提供するが、これには土地利用のデータが必要となる。

たとえば、土地管理局の土地では、当面の問題の要求するところに丁度充分なだけの詳細さをもつたシステムを視せられることであろう。このシステムに含まれるのは、(1) 多目的用地として文句なく認められるに足る充分な大きさを持つた管理単位。これらの単位の平均は約 22500 エーカー (9090 ha)、範囲は 5000 ~ 2000000 エーカー (2020 ~ 808000 ha) である。森林地域ではこれらの単位はずつと小さく、範囲は 15000 ~ 50000 エーカー (6060 ~ 20200 ha) である。(2) 鉱業・レクリエーション・木材生産・野生鳥獣・水生資源・放牧などを含む様々な利益対象の間の相互関係を評価するための資源データの処理 (3) 種々の事業プランの基礎としての一般的な指導と制限をもつた管理計画の作成。この管理計画に含まれるものは、たとえば不安定な土壌のように特別の注意を要する地域の自然条件の特徴。また、地質・水質・水量・水を都市の用途に供する時期・魚の増殖期・レクリエーションの季節もこの計画の中に含まれる。林木管理計画は、他の利益対象に対する影響を少なくするという観点からだけでなく、同時にすべての資源の向上を計る意図をもつて立案されている。たとえば、この計画に従えば、不安定もしくは浅くやせた土壌をもつた場所においては択伐や、ある場合には伐採をしないことが要求される。また、水質の悪化を防ぐため、川の流れや道路やぜい弱な土壌地域に沿つて伐採しない、また伐採するとしても択伐をする緩衝帯を設けることが計画される。

山林局は多目的計画を用いて国有林の土地を生態学・環境学の面で健全な利用の仕方をするという目的を達成しようとしている。森林環境を保護し、向上させるための土地利用の分析や分類を行なう上で、様々なたがいに低触する要求をすることによつて起こり、たかまりつつある圧力に対処するためには多様な訓練を受けた専門家チームを駆使するアプローチが適しており、また効果的であることを我々は体験しつつある。自然環境や文化的環境の特徴がいかに土地利用の計画や分析に含まれているかを示す具体例は、皆さんがユタ・オレゴン・カリフォルニア各州に見学旅行をされる際、目撃また討論されうることであろう。

流域管理の研究をしているものや行政当局は、粗放管理から集約管理への転換に対処するためには新しい資源の調査結果とデータが必要であることを体験しつつあり、この調査結果・データづくりは次の事項に関する情報を収集分析する作業を含んでいる。(1) 微小気候と

広域気候・地質・地形・崩壊・土壌・植生・水量と水質・地下水・湖・流路と流路岸・水の
流れ・野生動物の生息地・火災の潜在性・荒地地等。(2) 人口の特徴とすう勢・密度。
(3) 経済の傾向・分布・予測。(4) 運輸および utility corridor。(5) レクリエ
ーション活動の需要。(6) 水源開発計画のような公共事業。(7) 既存のえさの供給量と生
息地の枠内で自生できる魚類と野生動物の数。(8) 危険にさらされている魚類・鳥獣の種
類。(9) エネルギー源を得るためと国家経済の発展のための鉱業への需要。

土壌学者や森林水文学者に対して、森林地管理者のために管理サービスを提供せよという
要求がたかまつている。これらの専門家は、地質・土壌・水およびそれらと現行・将来の土
地管理計画の案との相互関係、土壌の生産能力、土地利用に対する反応等について技術的な
勧告を行なう。この現場での調査によつて、生態学的・環境学的・地質学的・土壌学的、そ
の他の自然的条件が、あるタイプもしくは集約度の土地利用の仕方は最近の大気・水・土砂
石礫・氾濫原・環境の質等に関する基準と相容れなかつたり望ましくないことを示す地域を
認定する。これらの専門家が土地利用の仕方に順位をつけるために行なう解釈の対象となる
のは次の事項である。

- イ 一つの限定された管理制度に関連しての土壌生産力と水資源
- ロ 各種の利用と活動に対する土壌の諸能力
- ハ 表面侵食と崩壊の危険
- ニ 洪水と土砂石礫流出の源泉地域
- ホ 流路の容量と安定性
- ヘ 流出水量と流出の時期
- ト 水 質
- チ 水需要と供給能力

米国の林務官は、資源管理計画を実施する場合、すべての水について水質に関する要求を
満足させるよう、議会から明確な強い命令を受けている。これらの要求とは、

- A) すべての地表水は美的見地から満足であるべきであり、美的価値のある生きものを維
持する能力を持たなければいけない。

B) すべての地表水は次に見るような排出あるいは廃棄に原因する物質を持たないものと
する。

- (1) 好ましくない堆積物を構成するような物質。
- (2) 浮遊する土砂、ゴミ、浮きあわ、およびその他の望ましくない物質。
- (3) 不快な色、汚濁・におい・味等をそれ自体で、もしくは動・植物体内において発生
するような物質。
- (4) 濃厚な状態において、もしくは混合された状態において、直接または間接に毒性が
あるとか、あるいは人・魚類・その他の動植物に好ましくない生理学的な反応を引き
起こす物質。放射性物質もこの内に入る。
- (5) 濃厚な状態において、好ましくない水性生物を発生させる物質や状態または両者の
組み合わせられたもの。たとえば、洗剤・肥料やリン酸塩・ボタシウム・窒素等。

土壌や水資源に関して異なる管理活動を執つた時のありうべき影響を予測したり順位づけ
たりする技術の具体例では、種々のタイプのインプットデータが用いられている。例えば
木質繊維・魚類・野生動物・動物のえさ・水等。そのモデルは(代紋方程式のセットである
が)古典的なリニヤープログラミングの技法によつて(いくつかのタイプの指示やコンスト
レインツ(制約)にしばられたりする。)解明される。土地と水生産地の配分をこのよう
な手続で行なえば、伐採・放牧・野生動物の保護・洪水の防止といった事業の相対的な必要
性とこれらの事業の経済的価値を分析することができるような指標が資源管理者に提供され、
同時に、各種の生産への要求に応えるためのコストが最小化される。これらの分析の結果
は、もちろん社会的・政治的要求にもまた照して考慮されるべきである。

土地管理者が用いるもう一つのシステムは、異なる水資源開発計画案の順位づけをする
という地域分析を行なうことである。これをやる目的は、異なる地域の水資源開発計画案が
およぼす地域間の影響のあるものを分析する能力を持つシステムを造り出すことである。この
システムは初期の一群の予測のために用いられる。この予測は、土地利用・水資源開発・水
収入レベルの変化・土地資源ベースの変化等のもつ地域間の関係についての影響を評価する
のに有用な情報を提供する。

この分析・予測システムは三つの主たるサブシステムより成っている。

インプット サブシステムは、需要の計画・資源ベースのインベントリ・生産係数・システムの制約条件（コンストレインツ）等から成る。

数学的サブシステムは、異なるレベルの制約条件（コンストレインツ）において要求を満たすエーカー数と生産係数の組み合わせを求めるリニヤープログラムから成る。このサブシステムからの一つのアウトプットはそれぞれの土地資源グループのトータルのシリーズである。

経済変形（economic transformation）サブシステムは、土地利用・土地利用形態の変更・生産・雇用・所得・生産コストの変化等を範ちゅうに取り入れた実際の予測となる。

このシステムは、森林地管理者にとつて開かれていた多様なコースを説明するところの修正されたインプットに基づく新しいアウトプットを造り出す目的でつくられたフィードバック（feed back）にも用いられ得る。評価され得る選択方向の一つは、水の供給状況にあるパーセントで変化が起こった場合の影響であろう。コンストレインツの感受性を知るため、そのコンストレインツのいずれのものをテストすることもこのシステムでは可能である。

公有森林地にとつて影響をあたえるもう一つの活動は合衆国の保有するある土地を公共の目的で利益を保留したり、あるいは取り下げしたりする制度である。合衆国の国有林地のほぼ5パーセントが、水力発電所用地・開拓用貯水池・連邦飛鳥獣類保護地域・軍用地・洪水制御・米国山林局の庁舎用地・公共福祉およびレクリエーション地域・水際および道路隣地区・実験林等の目的で既に利益保留の取り下げを受けている。これらの取り下げはときどき審査される。もはや取り下げの要のない土地は、これの取り消しを受け、国有林に復帰されることになる。

皆さん方が旅行をされ、米国の土地管理者と討論をされる際、ほとんどいかなる土地利用の仕方に関しても、誰かが分析・分類・調整のシステムを造り出していることを観察されるであろう。土地利用区分はダイナミックである。見かけはまったく同じ特徴をもつた土地や水面でも、場所・時・経済単位が違えば「最善」の利用法もいくとおりもあることに気付かれると思う。資源開発や土と水のベースでの土地利用の仕方の選択方向を立案したり評価する上で、いろいろな発達度のレベルで、人と機械とが一緒になつて働く組み合わせのやりかたが数年先に

は森林管理者によつてもつともつと用いられることであろう。

文 献

1. Baker, Simon and Dill, Henry W.
The Outlook of Our Land. An airphoto atlas of the rural United States. 1970. USDA, Agricultural Handbook #372. 48 pp.
2. Baker, H. L., T. Schara, T. M. Ryan, et al.
Detailed Land Classification - Island of Hawaii Land Study Bureau. 1963. 141pp. illus. Univ. of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
3. Brown, Harry E.
Status of Pilot Watershed Studies in Arizona. Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the Amer. Society of Civil Engineers. Vol. 96, No. IRI, March 1970. 23 pp.
4. Clawson, Marion and Stewart, Charles L.
Land Use Information - A Critical Survey of U.S. Statistics Including Possibilities for Greater Uniformity. 1965. Resources for the Future. Washington, D.C. 402 pp.
5. Conklin, H. E.
The Cornell System of Economic Land Conservation. Cornell University. Agr. Coll. Bulletin A&E 980. 10 pp. March 1955.

6. Dill, Henry W. and Otto, Robert C.
Urbanization of Land in the Western States. USDA,
1970. Economic Research Service Report 428. 30 pp.
7. Dill, Henry W. and Otto, Robert C.
1965. USDA. Land Resource Regions and Major Land
Resource Areas. Agriculture Handbook 296. 82 pp.
8. Dill, Henry W. and Otto, Robert C.
1961. USDA. Land Capability Classification Hand-
book 210. 21 pp.
9. Frey, H. Thomas
Major Uses of Land and Water in the United States,
Summary for 1964. 1968. USDA, Agricultural Econo-
mic Report No. 149. 74 pp.
10. Holm, Paul L.
National - Interregional Projections of Agricultu-
ral Production and Systems of Analysis. 1968.
Water Resources Council's Economic Conference. 19
pp.
11. Hull, Richard
Land Classification and Land Adjustment Game
(LACLAG-1). 1969. M. S. Thesis, University of
Michigan, Ann Arbor, Michigan.
12. Nelson, Larry A.
Detailed Land Classification - Island of Oahu
Land Study Bureau. 1963. 141 pp. illus. University
of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

- (4)
13. Storie, R. Earl

Revision of the Soil Rating Chart. Agr., Exp. Sta.
Extension Leaflet 122. 1959. Sacramento,
California.

(議題 4)

山地流域の蒸発散量の測定法

(Measurement of evapotranspiration on mountainous forest lands)

(説明・執筆) 中 野 秀 章

現 状

議題5で述べたように、日本では遮断・蒸発散・林地浸透能など個々の森林水文現象の研究の新しい手法による再発展が、流域試験結果を十分実用に活かすために必要と考えられており、これらの研究が展開されようとしている。とくに流域の消失水量を樹種別・林相別に気象・地文条件との関連で知る必要が考えられている。

従来は、まず苗木を植栽した苗木鉢の重量変化による方法で特定条件下の主要樹種間の蒸散量の比較が行なわれた。ついでポトメーター法による単葉もしくは小枝の蒸散能を測り、これに推定された林分の全葉量を乗じて林分の蒸散量を推定する方法が研究されてきた。しかし、ともに現実の森林の蒸散量を知ることはできない。前者は非現実的な特定条件下での樹種間の比較にすぎず、後者は現実の土壌水分による植物への給水とは、まったく異なる給水条件下で、いわば蒸散の最大能力を示しているにすぎず、得られた結果はそのまま流域の水収支の量的検討には使用できない。

必要とされる情報

上述のことから、現地で直接蒸発散量を測定することが必要となり、とくに熱収支法・土壌水分変動法などの応用による直接測定法が研究されねばならないと考えられ、これらに関する研究の具体的情報が望まれている。

山間森林地に於ける蒸発散の測定

(Measurement of evapotranspiration on mountain forest land)

(説明・執筆) Irvin C. Reigner

蒸発散の良い定義は次の通りである。水が湿った地表から蒸発し、植物が水を発散する過程。文献には他の定義が沢山あげられているが、それらのいくつかの定義は上の定義と必ずしも同様でない。我々は遮断された水の蒸発をこれに含め、土壌から離れた水であつても植物によつて保持されている水は、蒸発散の定義から除外する。

ペンマン (Penman) ら多くのヨーロッパの科学者たちは「蒸発散」という語はむだな語であるとし、単に「蒸発」という語を好んで用い、蒸散 (transpiration) の語は単に特定のタイプの蒸発を表わす時にのみ用いる。ウイヒト (Wight , 1917) は総括的な用語として「蒸気化」 (Vaporization) という語を用いることを提案した。しかし、米国の科学者たちは蒸発散という語が有用であることを体験し、この言葉は現在では米語の一部となつている。

測定と推定

潜在的蒸発散 (蒸発散位 ; 水分は必要なだけ存在すると考えられる場合) と実際の蒸発散を区別することが必要である。潜在的蒸発散を満足させるような条件は自然には非常に稀にしか起こらない。一般的にいって、一年中のある時期には土壌水分が少なくなつて、潜在的蒸発散率を下まわつて蒸発散がおこなわれる事がある。このようにして実際の蒸発散の方がより小規模で、一般的に言つて、両者のうちではこの方がより実用的である。しかし、実際の蒸発散は測定をしたり、推定をするのが、より多くのパラメータが関連しているのでより難しい。

紙面の関係で、蒸発散の測定または推定をする多くの方法について詳しく述べる事ができない。そのかわり、より多くの情報を載せている参考文献を掲げておいた。

方法 (応用と評価)

A. 直接測定

- 1) 過去十年間換気装置をほどこしたプラスチックのテント (ventilated plastic tent , 5. 6. 26) が研究の目的のために用いられてきた。一つのプラスチックのテントが、そこにあるすべての植物ごと小区域の土地をおおう。そのテントへ入る空気流とそこから出る空気流の水分含有量の差を測定することによつて、蒸発散量は判定される。このようなテントは不自然な環境を造るというきびしい批判があつた。それにもかかわらず、この方法は短い期間で小区域については合理的な結果を生み出した。
- 2) 乱水蒸気伝導 (turbulent vapor transfer) (7. 14. 29) , これは小渦巻き伝導 (eddy transfer) または小渦巻き流動 (eddy flux) としても知られているが、この方法では大気を突きぬける水蒸気の垂直流動を測定する。オーストラリアでエヴァポトロン (Evapotron) が開発されたにもかかわらず、これはまだ研究開発の段階にある。エヴァポトロンはこれらの流量を測る半自動システムである。これを用いて良い結果が報告されている。オーストラリアでは多くの分野の研究にこの技法を用いることを望んでいる。

B 間接測定

- 1) 土壌中の水分を繰り返し測定することから蒸発散量を推定するところの土壌水分測定法 (soil moisture measurement method , 2. 3. 22. 28) はかなりの研究努力の結果よく発達してきている。測定装置も重量測定法から電気コンダクタンスシステムを用いる方法を経過し、原子核を利用した器械へと発展してきた。中性子水分計 (neutron scattering device) は高価であるにもかかわらず、今日では他の方法が除外されるほどにまで用いられるようになっている。この方法是一種のサンプリング法であり、サンプリングに伴う限界の他にサンプリング地域から水分が下方あるいは側方へ飽和あるいは不飽和流動することに主として関係する限界がある。それにもかかわらず、この方法は中期間の研究にとつてはかなりの価値がある。
- 2) 浸漏計 (Lysimeter) またはタンク (3. 18. 19. 31) は上項で述べた飽和流不飽和流の測定を可能にするため、もしくはその測定のために用いるため、造り出された。しかし浸漏計もまた植物の根の成長をとじこめたり、他の人為的な環境を造り出した。

林業研究においては多くの生産的な問題についての研究用途がライシメーターに対してあるけれども、蒸発散の測定にはあまり有用ではなかつた。

- 3) 一種の蒸発散計 (evapotranspirometer , 1. 31) はミネソタ州の泥炭地においては有用な器具となつた。直径10フィート (約3m) の板金シリンダーを有機質土壌内に3フィート (約1m) ばかりさし込んだ。泥炭塊の水圧伝導 (hydraulic conductivity) はその深度においては極端におそい。従つて水の下降運動はほとんど考える必要がない。水の消失分を測定した値を蒸発散量の近似推定値と考えた。最初のテストは木の切り開かれた泥炭地で行なわれたが、その後木でおおわれた泥炭地2箇所にそれぞれこの器具を備えつけられている。
 - 4) 蒸発散を測定するための水収支の原理 (Principle of water balance) (3. 14) は世界中で広く用いられてきた。この原則を用いて、そこから長期間の蒸発散量の平均が取り出せるような情報のほとんどすべてが産み出された。よく知られている方程式を解けば良いのである。蒸発散量 = 降水量 - 流出量 (run - off) 土貯留量の変化。貯留量は何年かの後にはゼロに近づく。したがつて、年間蒸発散量の平均値の良い推定値が得られる。米国内に試験流域が600ないし700あるが、それらのほとんどにおいて蒸発散量の推定値が得られる。
 - 5) エネルギー収支の原理 (energy balance principle) は正味の太陽エネルギーの測定を利用する。この太陽エネルギーを、河川流域または1つのプロットの土地の上で太陽エネルギーが他の形態のエネルギーに変えられる四つの自然の過程に区分する。蒸発散に使われる部分が他に較べてずっと大きい。他の部分もいろいろな程度の困難は伴うにしろ推定をされ得る。
- 太陽輻射の成分については米国内の多くの大学の林学科や林業試験場で現在測定中であるが、まだ何処も蒸発散量の継続的な測定を行なうための実用的なシステムを完成していない。将来の方法としては有望である。遠隔測定 (telemetering) を含めてエレクトロニクスシステムが急速に進歩しつつある今日、エネルギー束の原理 (energy budget principle) が成功を遂げることは明らかである。

C. 蒸散に関連した測定

1) ヒート パルス法 (heat pulse method) (24, 25, 26) はエレクトロニクスを用いるもう一つのシステムである。これもまた開発段階にある。この方法では少量の熱を一本の木の木質部の組織に与える。同時にセンサー (sensor, 感知器) が熱の拡散率を測る。上方に熱が拡散すると下方に熱が拡散するとの差が樹液の流動速度を表わす。これは普通上方に動いている。樹液の流動速度は他の手段で測定された — 特に換気装置のほどとしてあるテントを用いた方法 — 蒸散率と蒸発散率に関係づけられなければならない。関係がすべて明らかにされた際には、ヒートパルスシステムは長期にわたる蒸発散の微小変化を測定するには、最も良い方法になるかもしれない。

2) アイソトープの注入 (15, 16, 17) は樹液の流動速度を測るもう一つのシステムである。放射性同位元素を木の樹身の下部に注入するか、または根から吸い上げられるようにしてやる。感知器でもって放射性同位元素が樹液と一緒に木の幹の内を動くのを測る。この方法も蒸発散を測定する方法として有望であるが、前に述べた方法ほど現在の段階では発達していない。

3) 蒸散率を測定するもう一つの他の方法は迅速重量測定法 (quick weigh method) (23, 26) であるが、この方法は一本の木の小さな部分にしか応用できない。すなわち、葉とか、小さな枝等である。この方法は目新しいものではなく、多くの国の農業研究者によつて用いられてきたところのものである。森林樹木に対してはあまり応用されていない。

D. 蒸発に関連した測定

1) 普通蒸発計 (evaporation pan) (3, 20, 31) は、世界のすべての国で多くの科学分野において広く使われてきた。国際的に標準化された普通蒸発計をもつて合意を諸国間にもたらすための努力が現在世界気象機構 (World Meteorological Organization) によつてなされている。普通蒸発計によるデータを実際に起こる蒸発散の推定値に換算をする作業は複雑である。何故なら多くの変

数が関連し、また両者の関係が不正確だからである。ゆえに結果は特に信頼度がおけるというものでもないし、またこの方法も広くは用いられてはいない。

2) アトモメーター (3, 31) も蒸発を測定するのに普通蒸発計と同じ目的でも用いられる。しかし、これは短期間の研究や違った場所の間や植物の群落間の蒸発力の比較に特に用いられる。この種蒸発計は普通蒸発計と同じ短所をもっているのに加えて、こわれやすいという欠点をも持っている。

リヴィングストン蒸発計とベラニ蒸発計は蒸発表面として素焼きの陶器材を用いている。ピッチ蒸発計は多孔質の紙のエレメントを用いているし、日本で開発された二つの器具も同様のものを使っている。大後型の蒸発計と平田型の蒸発計のことである。蒸発計は森林地域からの蒸発散を測定するにはどれ一つとして広く用いられているものはない。

E. 蒸発散量を推定するための方程式

蒸発散量を推定するための方程式は数多くある。研究者は常に新しい方程式を造り出し、古い方程式を直したりしている。推定の手順はほとんど実際の蒸発散量が潜在的な蒸発散量 (蒸発散位) とほぼ同じであるような灌漑された土地を対象として造り出されているが、いくつかの手順は灌漑されていない木の植わっている河川流域に対して応用されたこともある。

1) ソーンズウエイ法 (Thornthwaite method) (30, 31) は森林水文学においては多分他の如何なるものよりもより多く使われているであろう。現場においても良く知られているし、比較的使いやすい。さらに良いことにはソーンズウエイトらは実際の蒸発散量や水収支を推定する手順をも考え出した。幾人かの観測者の意見では、ソーンズウエイ法は夏には過大推定をし、冬には過小推定をする傾向があるといふことである。

2) ハモン法 (Hamon method) (9, 10) はソーンズウエイの手順の改案であり、多くの場合に前述のような欠点を正しているように思える。ハモン法においては潜在的な蒸発散量 (蒸発散位) を実際の蒸発散量の推定値に適合させるための手

順を詳述していないが、このような調整も、もしゾーンズウェイトのシステムを用いるならば困難とはしないであろう。

3) ベンマンの方程式 (21. 31) は熱収支の原理に基づく理論的なアプローチにのつとつて考え出された。これは先の二つのシステムに較べるとより複雑で、実際に用いるのにより困難のように思える。しかし、ベンマンは、普通には存在しない輻射熱の測定値以外のデータも用いる手段を考え出した。他の研究者もベンマンの手順をより簡易に適用できるような手段を考え出した。

4) ホルドリッジ法 (Holdridge method) (11. 12) は経験的なアプローチであり、そこでは潜在的な蒸発散量 (蒸発散位) と実際の蒸発散量を推定するのに用いるやや複雑な早見表が用いられている。他のシステムに較べて、この方法は熱帯を含む多くの気候帯でより広く用いられてきたようである。

今述べた諸方程式から得た推定値を比較することが今までに何度か試みられた。具体例としては、ゾーンズウェイト、ハモン、ホルドリッジのそれぞれの方法によつて得られた潜在蒸発散量 (蒸発散位) の推定値が最近の論文の中で比較されている (13)。そこでは、ホルドリッジ法による実際の蒸発散量の推定値も示されている。他の最近の研究 (4) では、六つのよりよく知られている方法によつて得られた潜在蒸発散量の推定値間の比較が行なわれている。断定的な結論を下すことないしは順位の判定といったことは行なわれていない。

蒸発散量の測定に関するいかなる方法に対しても、理想的と考えたり、あるいは「秀」の点をあたえたりすることはできないようである。長期の測定のためには、水収支の原理が最善であることは疑いを入れない。土壌中の水分をサンプルする方法は多くの人によつて注意深く研究され、今日では中期の研究に用いるのに良く発達している。短期間の実験には換気装置をほどこしたテント、あるいは迅速重量測定法を用いてよい。どちらの方法も植物間の蒸発散レートの差を決定するのに適している。

エネルギーバランス法やヒート パルス法は、将来の諸方法の内にはどうしてもとり入れられなければならない。両方法ともエレクトロニクス器具に則っており、両者のシス

テムが完全化される時には、長・中・短期研究に用いることもできる。とはいえ、より良い方法を求める探索はずつと続いている。

文 献

1. Bay, R. R.

1966. Evaluation of an evapotranspirometer for peat bogs. Water Resources Res. 2 (3) : 437-442.

2. Burroughs, E. R., and Schultz, J. D.

1965. Evapotranspiration and soil moisture depletion. Proc. Soc. Amer. Foresters Annual Mtg. (1964) : 98-101.

3. Chow, Ven Te (ed.)

1964. Handbook of applied hydrology. McGraw-Hill Book Co., New York. 1418 pp.

4. Cruff, R. W., and Thompson, T. H.

1967. A comparison of methods of estimating potential evapotranspiration from climatic data in arid and subhumid environments. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1839-M, 28 pp.

5. Decker, J. P.

1962. Water relations of plant communities as a management factor for western watersheds. Science 138 : 532-533.

6. Decker, J. P. Gaylor, W. G., and Cole, F. D.
1962. Measuring transpiration of undisturbed
Tamarisk stands. Plant Physiology 37 (3) :
393-397.
7. Dyer, A. J.
1961. Measurements of evaporation and heat
transfer in the lower atmosphere by an
eddy-correlation technique. Quart. J. Roy.
Meteorol. Soc. 87 : 401-412.
8. Fowler, W. B.
1964. The energy budget and its use in estimating
evapotranspiration. Proc., Soc. Amer.
Foresters Annual Mtg., Denver, Colo. : 101
-104.
9. Hamon, W. R.
1961. Estimating potential evapotranspiration.
Proc. Amer. Soc. Civil Engrs., J. Hydraulics
Div. 87, HY3, Pt. 1 : 107-120.
10. Hamon, W. R.
1964. Computation of direct runoff amounts from
storm rainfall. WMO and IASH Symp.
Surface Waters. Gen. Assy. Berkeley, UGG.
Publ. 63 : 52-62.
11. Holdridge, L. R.
1959. Simple method for determining potential
evapotranspiration from temperature data.

- Science 130 : 572.
12. Holdridge, L. R.
1962. The determination of atmospheric water
movement. Ecology 43 (1) : 1-9.
13. Lull, H. W., and Sopper, W. E.
1966. How harvesting forest products affects
water yields in Appalachia. Proc. Soc. Amer.
Foresters Annual Mtg. (1965), Detroit,
Michigan : 108-112.
14. McIlroy, I. C.
1963. The measurement of evaporation. Paper B3,
National Symp. on Water Resources, Use and
Management. Australian Academy of Science,
Canberra. 8 pp.
15. Moreland, D. F.
1950. A study of the translocation of radioactive
phosphorus in loblolly pine. J. Elisha
Mitchell Sci. Soc. 66 : 174-181.
16. Owston, P. W., and Smith, J. L.
1968. Use of radioisotopes to trace water
movement in coniferous trees. (Abstr.) Amer.
J. Botany 56 (6) : 728-729.
17. Owston, P. W. Smith, J. L., and Halverson, H. G.
1968. Development of some radioisotope procedures
for measuring water movement in trees. U.S.
Atomic Energy Commission, Div. of Isotopes

Development, 55 pp. (\$ 3.00 per copy)

Clearing-Springfield, Virginia 22151

18. Patric, J. H.

1961. A forester looks at lysimeters. J. Forestry
59 (12) : 889-893.

19. Patric, J. H.

1961. The San Dimas large lysimeters. J. Soil
and Water cons. 16 (1) : 13-17.

20. Patric, J. H.

1967. Evaporation and transpiration. Trans. Amer.
Geophys. Union 48 (2) : 701-707.

21. Penman, H. L.

1963. Vegetation and hydrology. Commonwealth
Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Bucks,
England. 124 pp.

22. Robins, J. S.

1965. Evapotranspiration. Part 1, Black, C. A.,
(ed.) Agronomy 9 : 286-298.

23. Rutter, A. J.

1959. Evaporation from a plantation of Pinus
sylvestris in relation to meteorological
and soil conditions. Symp. Hannoversch-Munden.
International Assoc. of Sci. Hydrol. Pub.
48 : 101-110.

24. Skau, C.M., and Swanson, R. H.

1963. An improved heat pulse velocity meter as
an indicator of sap speed and transpiration.
J. Geophys. Res. 68 : 4743-4749.

25. Swanson, R. H.

1962. An instrument for detecting sap movement
in woody plants. Rocky Mountain Forest and
Range Exp. Sta. Pap. No 68, 16 pp.

26. Swanson, R. H. and Lee, R.

1966. Measurement of water movement from and
through trees and shrubs. J. Forestry 64
(3) : 187-190.

27. Tanner, C. B., and Pelton, W. L.

1960. Potential evapotranspiration estimates by
the approximate energy balance method of
Penman. J. Geophys. Res. 65 (10) : 3391-
3413.

28. Taylor, S. A., Evans, D. D., and Kemper, W. D.

1961. Evaluating soil water. Utah State Agricul-
tural Exp. Sta. Bull./426, 67 pp. Logan,
Utah.

29. Thornthwaite, C. W., and Holzman, B.

1942. Measurement of evaporation from land and
water surfaces. U.S. Dept. Agr. Tech. Bull.
817.

30. Thornthwaite, and Mather, John R.

1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publications in Climatology, Vol. X, No. 3 : 311 pp. Laboratory of Climatology, Centerton, N. J.

31. World Meteorological Organization.

1966. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. Technical Note No. 83, 121 pp. Secretariat WMO, Geneva.

(議題 5)

荒廃山地の林業的安定技術

(ECological method for stabilization of denuded lands)

(説明) 山本武義, (執筆) 中野秀章

現 状

日本の荒廃山地は、現在33万ha(昭和43年現在)で、全林野面積2500万haの1.3%、国土面積の0.9%に相当する。これは崩壊地・はげ山・荒廃移行地・地すべり地でこれらは雨水・融雪水による異常な高水と多量の土砂を排出して水害の原因となつている。

このため荒廃地を森林植生の被覆する土地に復旧する事業が行なわれている。その方法は1600年ごろ以来発展してきた固有の緑化技術に1870年ごろ以降ヨーロッパの溪流土木工法が附加され、その後日本の自然条件に適応した技術に改良されてきたもので、まずえん堤・よう壁・階段工・排水工などの工作物を溪流・山腹に施設し、荒廃斜面や溪岸・溪床の安定をはかり、土砂の移動を緩和し、ついで種子の散布または苗木の植栽等により草・樹木を生育せしめて、永く水・土砂の流出を安定させるものである。もちろん荒廃山地の種類に応じた方法が考えられている。

これらの技術に支えられた荒廃山地の緑化事業は成功率は高いが、なお年々豪雨による山崩れなどにより新荒廃地も発生しており、荒廃山地の減少は必ずしも多くない。このため新たな荒廃地とくに山崩れの発生を予防する技術の確立が急務となつているとともに成功率をさらに高めるため荒廃地の種類はもちろん、さらに詳細な荒廃の特徴や気象・地質・土壌条件に適応した復旧工法の改善が望まれている。

また一方労働力の不足に対応して省力的な工法の開発や工事の機械化が重要となつている。

以上に対応して、まず豪雨による荒廃の危険の高い場所を地形・地質・土壌・林相などの諸因子によつて予測する技術、予測された危険箇所適切にかつ安価な予防工法の開発について研究が行なわれている。全国に多数の調査地域を指定し、侵食・土砂流出の程度やそれぞれの気象・地文条件に適した草・樹木の種類・その新しい導入方法の選択の研究が行なわれている。労働力不足対策としてヘリコプターによる種子の散布方法などの研究が行なわれている。

日本は個々の荒廃地緑化技術については、かなり成功率の高いものを持っている。しかしながら、これらの技術を投入して緑化を行なう意義については事業実施の場所によつては、いろいろの意見がある。すなわち直接人命の保護・交通路の安全をはかる等のための事業実施には経済的効果の議論は比較的少ないが、奥地山地における事業実施の効果については投資と経済効果との関係について客観的説明がなされねばならないとの意見がある。このような説明の実例あるいは、研究についての情報が望まれている。

荒廃の特性・気象・地文条件によつて異なるが、米国で用いられている新しい復旧工法あるいは新しい材料があれば、その適用実例が日本のこんどの事業実施または研究の展開に参考になると考えられる。

荒廃地緑化あるいは法面保護用の草種として、もちろん日本在来の雑草も用いられているが、緑被形成が速く、しかも侵食防止効果にすぐれている外来牧草類（ケンタッキー31フエスク、ウィービングラブグラス、オーチャードグラス、レッドトップ、チモン等）も多く用いられている。しかしこれら牧草類には問題が生じている。すなわち、これらには耐陰性に欠け、かつ比較的短期間で消滅して永続的な緑被の形成が必ずしも期待できないものが多いこと、さらに永続的な植被としての森林の成立をはかるため木本類を混播しても生長の速い草が木本の発芽・生育の支障となることなどである。これらの問題を解決できるような新しい草種に関する情報が必要とされている。またやせ地や凍上・霜柱のため表土の崩落がはげしい土地ではほふく茎・地下茎などによつて繁殖し、被覆する性質の草種が望まれ、これにはバーミュダグラス（暖地）、クリーピングレッドフエスク（寒地）などが注目されているが、この種の新草種が必要となつている。

木本類については、とくに温帯地方において耐乾性、耐やせ地性のすぐれた種類についての情報が必要とされている。

(Vegetative methods for stabilizing denuded lands)

（説明） ユージン V. ズムウォルト
Eugene V. Zumwalt
（執筆） ハロルド リンド
Harold Lynd

米国全土を通じて、裸出地(denuded land)の復旧(restoration)が、ますます政府および民間の土地管理者の関心を集めている。関心の中心は、土砂・石礫の移動(Sediment movement)に対する影響であるが、これは、水質および土地劣化に土砂流出が関係するためである。人間による家畜の飼育および森林その他天然資源の使用によつて、加速的な土地の劣化と生産性低下の連鎖反応が始まつた。世界人口が急増するにしたがつて、地球上に荒廃遊休地を残すことは、もはや、許されない。裸出地に土地改良(reclamation)を計画、実施しなければ、汚濁の増加、経済成長の鈍化を招来し、多目的利用をさまたげ、当該地域外の資源にまで過度の損害を惹起する。急速かつ効果的な植林等(revegetation)についての進歩のあとは見られるが、土地管理者は、侵食性の高い土地の取扱いに関する知識をなお必要とし、つかみにくい資源の価値を定量する適切な方法を求めている。

自然の異変や土地の悪用によつて植生地被が破壊され、ひいては、帯状露天堀(stripmining)、火災、道路築設、農地の放置、伐採および風水による砂の移動等による表土の亡失を招く。究極的に、気候、土壌の水文学的性質、および河川流域の特性は相互に密接な関係に立ち、これらの要因すべてについて完全な情報を入手することが、裸出地改良のための健全な総合計画作成には、不可欠である。

とくに、石炭の帯状露天堀は、過去25年の間に増加の傾向を示したにとどまらず、さらに急速なペースで将来も増加するものと思われる。国民一般も、無軌道な露天堀にまつわる諸問題には、ますます関心を寄せている。大衆からの圧力によつて、炭鉱会社による積極的な土地改良の努力が促進され、規制立法の整備が推進されている。

鉱山廃棄土砂の積上げ(spoil bank)への植林等については、1918年に最初の事例

が見られるが、その目的は、今・昔とも、地表のけずれ(scar)を被覆し、土地を生産的用途に復旧するにある。経験に照して、植樹は必ずしもそれだけで完全な解決ではなく、むしろ、土地改良(reclamation)、復旧計画(restoration)の一段階(多くの場合、最終段階)にすぎない。他の手段、たとえば、土砂崩れの防止、傾斜の緩和(regrading)、排水管理が、まず施されなければならない。鉱業生産活動全体の一環として土地改良を実行することによつてこそ、事態の改善が達成できよう。

pH 4.0 以下の鉱山廃棄土砂は、本来植林等は不可能である。石灰の添加が、ペンシルバニア州無煙炭地帯の砕炭廃石に *Coronilla varia* を定着させる際には不可欠であり、また、マルチング(Mulching)による植物の保護措置はきわめて有効である。肥料は、植物の定着および成育に対して、限られた効果しか示さない。

ケンタッキー州では、*Eragrostis curvula* (weeping love grass) によつて、きわめて酸性の露天掘投棄土(spills)上に急速に初期被覆(initial cover)が施されているが、これは、他の寒冷期適応の草より乾燥する土地と夏期の生育条件に良く適応しているからである。理想的には、最後の地均しの後ただちに播種すべきである。播種の期間を延長するために、温暖性および寒冷性の両種の草本を用いることも可能である。*Platanus occidentalis* (Plane tree), *Pinus monticola* (Western white pine) および *Pinus taeda* (Loblolly pine) の苗木の生存には、事前に定着させた *Fescue* による被覆の有無はたいした影響を示していない。しかし、樹木の成長は、草本との競争によつて低減する。

オレゴン州西部のティラムーク(Tillamook)附近にある高生産性の森林で、3回にわたる大火災のため355,000エーカー(約143,000ha)が重大な焼損をこうむつた。初期における *Pseudotsuga menziesii* (Douglas-fir) の直接播種は失敗した。失敗の主な原因は、動物が種子を食したためで、しろあしはつかねずみがそのような動物の主な種類と認定された。直接播種は、種子を食する動物を効果的にコントロールできなければ、将来とも、その実用性に欠ける。このような動物の駆除剤、その餌としての使用法、および発芽に係る諸要因の理解等によつて、はじめて、直接播種は効果的となる。広範な焼損林地にお

る種子の生存状況から見ると、播種の成否には地形の向き(aspect)が顕著な影響を及ぼしている。播種後1年目の苗木の調査をした結果によれば、北向きの地形には苗の定着が良好であるのに反し、南向きの場所では定着状態は不良であつた。植樹、播種の方法は、それぞれの場所における土地再生上の問題を予測し、これに適合したものにななければならない。

オレゴン州西部のオックスボー(Oxbow)における火災では43,368エーカー(約17500ha)が焼損し、景観の回復には莫大な努力を必要とした。峻険な山腹はしばしば100%の勾配を示し、表土の安定に複雑な問題を提起した。齧歯類動物を事前に駆除して、補助植物(Nurse crop)として生育の速い *Brassica juncea* を播種した。基盤目状に飛行機を運航させ、エーカーあたり2.5ポンド(約1.1Kg)および0.5ポンド(約0.23Kg)の種子を散布し、1カ月後に、事前処理を施した *Pseudotsuga menziesii* をエーカーあたり0.75ポンド(約0.34Kg)散布した。オックスボーでは、部分的に成績の良否が見られるところから、播種のみでは目的達成は不可能と思われる。

カリフォルニア州南部の短性かしわの木(chaparral)が叢生している流域では、土壌の安定がとくに重要であるが、これは、火災のあとでは侵食が場合によつては30倍にも増大するからである。下流における測定値が高い場合には、工作物による措置と並行して植林等の施策を講ずる必要がある。*Brassica juncea* をエーカーあたり3ポンド(約1.4Kg)の割合で空中散布する方法が、草本被覆の自然定着までの間、補助植物によつて土壌を安定させるのに経済的かつ効果的であつた。

主として米国西部においては、道路建設が峻険な山岳地帯にますます進入している。道路が急勾配の地勢に建設されるにつれて、効果的な土壌安定の必要性も、これに伴つて増大する。道路の盛土として、大量の土砂を山腹上部から削り落とすことによつて、裸の鉱物質土壌(raw mineral soil)が広範に露出し、容易に侵食を起こす。木材収穫用林道に加えて、幹線道路も森林地帯を通過する場合があります、重大な侵食の問題を惹起する。

オレゴン州において、露出した切り取り(road cut)および盛土への植物定着方法がいくつか成功しており、水質に対する流出土砂による悪影響の緩和に曙光が見られる。

ハイドロマルチング(吹付工, hydro-mulching)は、水、小枝(Spring)あるいは種

子、肥料、木質繊維、および場合によつては殺虫剤を混合した粘液状(Slurry)のもので、一回の散布で強力な被覆を形成する。これは、凹凸のある地形にもしつかりと粘着して土壌を安定させるとともに、急速な発芽と成育に必要な水分を保存するのに効果がある。不質繊維は、いつかは分解するが、充分な植物の成育が見られるまでは分解しない。現場実験の結果によれば、エーカーあたり1400ポンド(約635Kg)の混合粘液の散布が最適であつた。専用の散布機が必要であるから、他の方法よりコスト高になる。さらに、道床から200フィート以上(約60m)離れた場所の処理には困難を感じる場合もある。

新しい切り取りや盛土には、乾式の散布機(blower)を用いて植物被覆のための種子を播いている場合も多い。風化によつて地表がクラスト状に固まらない以前に、やわらかい土壌に播種すれば最良の結果が得られる。ブローホッパー型(blower-hopper)の散布機で種子と肥料を混合して散布する方法が、オレゴン州西部では好調であつた。エーカーあたり、種子40ポンド(約18Kg)の散布が最良の結果をもたらしており、この場合には、混合種子として、Fescue spp 65%、Lolium spp 20%およびTrifolium spp 15%の割合のものを使用している。肥料には、16-20-0をエーカーあたり300ポンド(約136Kg)用いており、これで、エーカーあたり窒素50ポンド、(約23Kg) 磷酸60ポンド(約27Kg)が与えられる。

放置された農地(abandoned farmland)の安定に関しては、現場経験および文献資料によれば、植物の自然再発生によつて、米国各地において、充分な保護が得られている。ウエスト・バージニア州では、放置された農地が州の全面積の9%にあたっているが、充分に植物が再発生していた。ウエスト・バージニア州パーソン(Parson)附近の放置された農地に設定された測定流域では、森林を伴った河川と同程度に汚濁度が低いことが知られた。1957年に開始された河川流域測定の結果によつても、自然の森林再現(volunteer afforestation)によつて流出量が減少する証拠は見られない。研究結果の示すところによれば、大きな河川流域におけるPinus taedaの植林によつて、流出土砂は減少し透過性の露出面(permeable outcrop)が降雨を吸収、貯留する能力も復旧している。排水の良好な土壌が透過性の地層を覆っている場合には、年間降水量は、全然、流出水として発現せず、すべ

て土壌に吸収されることもある。

皆伐ののち切り捨てられた枝葉等(slash)を焼却して裸出地となつた森林については、問題は再植林等そのものではなく、むしろ植林するものの種類と組合せである。枝葉等の焼却の主目的は、火災発生の危険を除去し、かつ、適当な樹種による植林を容易にするよう土地を改良することにある。オレゴン州西部においては、高樹齢の森林の皆伐の場合には、エーカーあたり最高235トンの枝葉等が生ずる。米国では、林木伐採後の人為的な森林回復のためのもつとも主たる方法は、植栽であり、根を裸出した苗木(bare-root seedlings)の植栽は年間15億本にのぼっている。直接播種は、エーカーあたりのコストが苗木植栽より低廉なため、苗木植栽より急速に伸びている。

海岸地帯の活動性砂丘によつて、広大な地域が荒地地になつている。土地管理局の砂丘安定計画は、砂丘の移動によつて生じる、樹木、草、野生動物ならびに当該地区の海洋性および淡水性の水産物に依存する産業等への損害の防止を、その目的としている。オレゴン州の海岸地帯2カ所で、活動性砂丘により航行用水路が閉塞し、淡水湖が埋まり、幹線道路が妨害されていたが、砂丘安定化の措置がとられた。この砂防計画では、防砂垣と低木叢生(brush matting)が第一段階として必要で、次いで、Ammophela arenaria (European beachgrass)の植栽によつて海洋に面した前砂丘(seaward fore-dunes)の安定をはかることで事業が完成された。次いで主砂丘(high dunes)には風上側から内陸へ向つて、漸次、林木植栽が行なわれた。冬期中にまめ科の低木Cytisus scoparius(エニシダ) Pinus contorta (Rodgepole pine)の海岸変種とが、安定したAmmophela spp地帯内に8フィート(約2.4m)間隔で植栽された。定着したAmmophelaは、その後に行なわれる植林のための補助植物(nursery)として、ほとんど追加肥料なしで用いて、被覆がまばらになつた地域の復旧をはかることができる。1砂丘(hill)あたり3束(culms)を18×18インチ(約46×46cm)間隔で植えればエーカーあたり60,000束を必要とする。Ammophela sppによつてPuget Soundからカリフォルニア州南部にいたる間の砂丘が安定されている。これらの砂丘地帯は、野生動物に棲息地を与え、また、行楽地開発にも適している。

文 献

1. Bailey, Arthur W. and Poulton, Charles E., Plant communities and environmental interrelationships in a portion of the Tillamook burn, northwestern Oregon. Ecology Vol. 49 No. 1 P 1-13. 1968.
2. Brown, Robert L., "Permanent Coastal Dune Stabilization with Grasses and Legumes." Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 3, No. 2,
3. Brown, Robert L. and Hafenrichter, A. L., Stabilizing Sand Dunes on the Pacific Coast with Woody Plants. Miscellaneous Publication 892, U. S. Department of Agriculture, Washington, D. C. 20250, 1962.
4. Cronemiller, Lynn F., Oregon forest fire tragedy. Amer. for. 39: 487-490, 523, 1933.
5. Cooper, William S. Coastal Sand Dunes of Oregon and Washington. The Geological Society of America Memoir 72 169pp., Baltimore, 1958.
6. Dyrness, C. T., Soil surface condition following tractor and high-lead logging in the Oregon Cascades. Jour. Forestry 63: 272-275 illus., 1965.
7. Hafenrichter, A. L., "Lassoing the West; Rampaging Dunes" in Outdoors U.S.A. The Yearbook of Agriculture 1967 United States Department of Agriculture. U.S. Government Printing Office; Washington, 408pp., 1967.
8. McLaughlin, Willard T., and Brown, Robert L., Contro-

ling Coastal Sand Dunes in the Pacific Northwest.

Circular 660, U. S. Department of Agriculture,

Washington, D. C. 20250, 1942.

9. Smith, Orrie W., Jacquot, H. D., and Brown, Robert L., Stabilization of Sand Dunes in the Pacific Northwest. Washington, 1947.

(議題 6)

山地における侵食危険度の予測法

(Method of prediction erodibility in mountainous areas)

(説明・執筆) 中野 秀章

現 状

議題 3 でふれたように、山地の荒廃を予防する技術の確立が重要と考えられているが、このためまず荒廃の危険が考えられる地域の予測が必要となる。そこでこのような予測の技術の研究が行なわれている。

表面侵食については、主として傾斜と土性によつて危険度を地区別に区分することが試みられている。

崩壊に対しては、山腹地表土壌の土質力学的性質を調査することによつて危険地区を指摘する方法も試みられているが、地形等各種流域条件を数量化し、それらと崩壊との関係を相関分析法・判別関数法で多次元解析し、各種地文因子の崩壊に関係する度合を求め、影響度の高い因子の組み合わせによつて山地の崩壊危険度を地区別に予測する方法が次第に行なわれるようになってきている。そしてかなり大面積の危険地帯を指摘することから検討がはじめられ、近年は予防治山事業の合理的実施のため、かなりせまい危険地区の指摘が求められるようになり、現在そのための研究が行なわれている。このため、荒廃に関係する数多くの地文因子とくに地質・土壌・林相(植生地被状態)についての客観的な表示法(数量化の方法)を知る必要が生じている。

必要とされる情報

米国では土性・傾斜・斜面長・植生地被状態等によつて表面侵食の危険度を類別する基準がつくられているようであるが、この基準がつくられるまでの研究過程、すなわち調査地のとり方や調査結果のとりまとめ方などについての情報が得られれば有益である。さらに山崩れその他の型の荒廃に対しても前同様の危険度予測の実行例があればその概要を知ることがきわめて有益である。

山地地域の侵食度の予想

(Method of prediction of erodibility in mountainous areas)

(説明・執筆) ロバート L. ホバ

Robert L. Hobba

侵食は水、風、動く氷の働きによつて岩石物質及び土が分離し、運ばれて地表面が損耗されることをいう。侵食は度合によつて特徴づけられる。平常又は地質的侵食は自然の環境のもとで土地が損耗するということである。

加速侵食は、その場所では平常より高い率で起こる侵食のことをいう。これは主に火事、放牧、伐採、道路建設などの種々な理由によつて植生被覆が少なくなるることによつて起こる。侵食はまたそのタイプによつても特徴づけることが出来る。ここでの議論は道路などからの集中した流れによつて出来たものでなく、又はつきりした水路を形成することなく、ある地域から土が一律に動かされた、地表流出による表面侵食に限られる。又議論は流出土砂(sediment)が副産物であり、主に水によつて運ばれ、堆積される侵食物であるところの地表の侵食に限られる。

土壌流亡を最少化するのを一つの目的とした科学的土地管理には、これらの流亡を少なくするために侵食を起こす因子と減らす因子の間の関連知識が必要とされる。

1930年以來この複雑な因子間相互の關係に関する貴重な情報が、フィールドプロットとか小さな試験流域を使い管理された研究にて得られた。

米国において1930年代に農地や牧場の土壌資源が急速に悪くなったので、最初の研究は農地に集中された。

しかしながら、多くの場合、農地の侵食を調べる同じアプローチが山地の状態にも応用されている。

侵食度予想の歴史

土壌流亡の計算方程式の開発は1940年から始つた。ZINGG(10)は1940年に斜面の傾斜(%)と長さに対する土壌流亡の関連方程式を発表した。翌年、SMITH(5)が中西部のある土壌の保護方式を決定するため図式法を考え、特定の土壌流亡限界という考え方をだし、

作物及び保全実行のためファクターを加えた。BROWNINGとその共同研究者(1)が土壌侵食度と管理ファクターを加えた。

1946年に土壌流亡予想の全国委員会が侵食問題がある地域全部に合う方程式を決めるために開かれた。このとき出来た方程式はMUSGRAVE方程式として知られ、あたえられた地被条件の下で、特定の地域が1エーカーあたり何トン又は何インチの年間平均土壌流亡をする推定するため広く用いられてきた。(4)

同様な方式の森林条件での開発は、森林高地は農地地域よりかなり雑多(heterogeneous)である傾向があるという事実にてらしてより困難である。なぜなら侵食作用に影響する種々なファクターがあるので、多くの研究は一地域的な意味しかもたなくて、これらから引きだされた情報を評価できるほどの地域に應用することは困難である。(2)(3)

しかし土壌流動に影響のある重要なファクターの相互関連についてはつきりした、より完全な情報を得るべく研究がつけられている。最近、山林局は非農業用高地への應用における精度を確実にするためMUSGRAVE方程式の傾斜係数及び森林地被係数を確かめ、しつかりしたものにさせた。(6)(7)

侵食度の予想

流出土砂(sediment)のもとをたしかめるため、その根源の相対的重要さを知るため、土砂生産を推定するため、土地の取扱い及び土地管理の種々な内容へのon-site及びoff-siteの侵食損害を防ぎ又は少なくするため、さらに貯水池への土砂貯留要件を知るため、侵食の量的推定をする必要がある。

雨量、土壌その他の土地の特性によつて侵食度を推定する方法はMUSGRAVEとその共同研究者によつて提案された関係を使うことによつてなされた。これらの関係は、ある土壌侵食特性、土地の使用及び地表植生の状態、傾斜度と傾斜の長さ、2年に1回予想される30分間の雨量の最大値によつて表わされる雨のエネルギーの各因子の関数として土壌流亡あるいは土壌の流動をあらわす。

この関係は、全米での1エーカーにも満たないプロットに起こった約4万の降雨によつて起こった土壌流亡量測定から求められた。

以上述べた因子の要約と方程式は次の通りである(6)

$$E = F R S^{1.35} L^{0.35} P^{1.75}$$

ここで E=年間侵食(インチ)

F=先天的土壌侵食度因子

R=植生型と状態の因子

S=傾斜(パーセント)

L=傾斜の長さ(フィート)

P=2年頻度の最大30分間雨量(インチ)

土壌特性 (F)

40年以上にわたつて土じょう学者達は、すべての他の環境条件が同じ状態であるとき、ある土壌が他の土じょうよりも侵食性が強いという先天的特性について関心をもつてきた。これらの特性は複雑な因子の組み合わせである。しかし土壌断面に入り込むあるいはそれを通過する水の流れの速さと分離移動することについての土壌の抵抗とは密接に関係しているので侵食度の指標がこの特性の程度となんらかの形で結びつくと言つても驚くにはあたらない。

透水性階級、土性、土じょうの深さに関連した年間侵食量(インチ)で表わされる先天的土じょう流亡の値が表-1(8)に示される。これらの結果は被覆による保護なく、同じ傾斜(S=10%),傾斜の長さ(L=72.6フィート)と2年間頻度30分間最大雨量1.375インチという共通の条件下のものである。

植生特性 (R)

植生地被は気候、土壌、地形、人間の活動などがかわることによつて密度とタイプが大いに変化する。幅広く植生のタイプと密度がちがうにもかかわらず、侵食に関して重要なある特性をすべての植生型がもつ。

土地の上の林冠と地表の被覆、落葉落枝などは土壌と大気にはさまつて障害物となり雨のショックエネルギーを分散させ、遮断する役割を果たす。

地被は地表の水の流れを妨げ、土壌の崩れおこしと移動を防ぐ。植物の腐敗による有機物は土中にまじり、団粒多孔質土壌構造をつくり浸透レートを高めるのに役立つ。根の生長、あ

とで死んで腐はいすることが水の貯留と透過に重要な機能を果たす。

又その根を通じて植物は蒸散によつて水を動かし、土壌の貯水容積を増加する。

土壌流亡分析が主要な植生グループに対する相対的侵食率の開発を許した。地域地域によつて異なる影響の程度によつて各主要グループの下にサブグループが認められた。方程式の中の地被因子(R)は地被保護がないときの相当量に対する特定の地被条件のもとでの土壌侵食量の比である。表-2は山地に対して作られた地被係数を示す。これらは地被密度に関連づけられている(7)

斜面特性(S)と(L)

調査データがはつきりさせたことは、侵食要因——水——は水が流れる傾斜の長さと勾配によつて土壌におよぼす影響がちがうということであつた。他のことが同じであつた場合、急勾配で長い傾斜に水の流れの速度がより大きいということである。

MUSGRAVE 委員会は土壌流亡量は傾斜(%)の1.35乗で変わると結論した。

米国山林局によつて集められたデータを分析することによつて(6)、山地に対しての使用には傾斜(%)の0.9乗が提案された。斜面の長さは地表流出の始まる点から次の2つの内のいずれか、考える地域の大部分を占めているどちらか、までの距離と定義される。

② 沈殿が始まる程度に傾斜がゆるやかになる地点

⑤ 地表流出水がはつきりした水路に入る地点

土壌流亡の研究は土壌流亡は斜面の長さの0.35乗に比例するということを明らかにした。

降雨特性 (P)

水の流れによつて土壌が分離し、動くことを考えると、主な原因となるのはもちろん雨である。雨滴の大きさは、降雨ごとにより異なるし、又そのしよとつとつ速さも同じ様に異なることが明らかにされている。

しよとつとつのエネルギーが土壌表面で土を分解する力を作る。一般に雨滴の大きさは与えられた時間に降つた雨量と関係があると言われている。土壌及び植生の両方の季節的变化を示す種々なちがつた状態で何回かの降雨のあとでの土壌流亡の測定をした結果、30分間に降つた雨の最大量とその一降雨の間に侵食された土壌量の間に相当な関係があることが明らかにされ

た。

他の因子が同じであれば、侵食量は大体Pの1.75乗に比例するということが明らかになつた。こゝでPとは2年間に1回予期される30分間雨量の最大量である。

侵食予測方程式の応用

表-1の先天的土壌流亡の値が地被(R=1)、傾斜(S=10)(L=72.6)と雨量(P=1.375)という状態に対して出されているので、土壌流亡を予測するためには、これらを研究地域の物理的状态に合うよう調整されなければならない。

必要な調整を示す土壌流亡の方程式は下記のとおりである。

$$E = F R \left(\frac{S}{10} \right)^{0.9} \left(\frac{L}{72.6} \right)^{0.35} \left(\frac{P}{1.375} \right)^{1.75}$$

土壌流亡予測方法を応用する1例として、考えている場所が深く、粗い土性で適度な透水性をもつた土壌だと仮定しよう。又さらに地被密度が30%でその半分は良い地被タイプであると仮定しよう。傾斜は平均19%で、斜面の長さは500フィート(約150m)で、雨量は1.13インチ(約29mm)とする。

表-1より深く、粗い土性で、適度な透水性をもつた土壌の基本侵食率は年0.15インチ(約3.8mm)である。植被係数は表-2より0.21と解る。19%の傾斜の係数は図-1より1.8である。又斜面の長さ500フィートの係数は図-2より1.9である。1.13に対しての雨量の係数は図-3より0.73である。

下記の計算がその場所の土壌流亡の予想のためになされた。

$$E = F(0.15) \times R(0.21) \times S(1.8) \times L(1.9) \times P(0.73) = 0.07 \text{ インチ/年 (約 } 1.8 \text{ mm/年)}$$

表-1 基本侵食率 (8)

年間土壌侵食 量(インチ)	土 壌 ユ ニ ッ ト の 特 徴		
0.65	深 い	細い土性	とてもおそい透水性土壌
.54	"	"	おそい透水性土壌
.41	"	"	適度な透水性土壌
.65	"	"	とてもおそい透水性の低地(くぼ地)土壌
.54	"	"	おそい透水性低地土壌
.41	"	"	適度な透水性の低地土壌
.65	"	中の土性	とてもおそい透水性の土壌
.41	"	"	おそい透水性の土壌
.29	"	"	適度な透水性の土壌
.15	"	"	速い透水性の土壌
.41	"	"	おそい透水性の土壌
.29	"	"	適度な透水性の低地土壌
.29	"	粗い土性	とてもおそい透水性の土壌
.29	"	"	おそい透水性の土壌
.15	"	"	適度な透水性の土壌
.12	"	"	適度な速さの透水性の土壌
.12	"	"	速い透水性の土壌
.29	"	"	おそい透水性の低地土壌
.12	"	"	適度な透水性の低地土壌
.12	"	"	速い透水性の低地土壌
.65	適度の深さ	細い土性	とてもおそい透水性の土壌
.54	"	"	おそい透水性の土壌
.41	"	"	適度な透水性の土壌
.59	"	中の土性	とてもおそいあるいはおそい透水性の土壌
.32	"	"	適度なあるいは速い透水性の土壌

年間土壌侵食 量(インチ)	土 壌 ユ ニ ッ ト の 特 徴		
0.27	適度の深さ	粗い土性	速い透水性の土壌
.65	浅 い	細い土性	とてもおそい透水性の土壌
.54	"	"	おそい透水性の土壌
.41	"	"	適度な透水性の土壌
.65	"	中の土性	とてもおそいあるいはおそい透水性の土壌
.41	"	"	適度なあるいは速い透水性の土壌
.41	"	粗い土性	速い透水性の土壌
.54	とても浅い	細い土性	
.41	"	中の土性	
.08	"	粗い土性	
.08	粗く砕けたあるいは粗い石のまじった土地、石灰質又は非石灰質		

深さの階級		透水性階級(in/hour)	土性階級
深 い	36"+	.063> とてもおそい	細 35% 粘土
適度に深い	20 - 36"	.063 - 2 おそい	中 18-35% "
浅 い	10 - 20"	.2 - .6 適度におそい	粗 18% "
とても浅い	0 - 10"	.6 - 2.0 適度	
		2.0 - 6.3 適度に速い	
		6.3 < 速い	

表-2 植生地被係数 (R)

% 全地被	良い地被であるところの全地被に対する%※		
	0-44	45-74	75-100
10	0.66	0.61	0.55
20	0.43	0.36	0.30
30	0.28	0.21	0.16
40	0.18	0.12	0.09
50	0.12	0.07	0.05
60	0.076	0.044	0.045
65	0.061	0.034	0.018
70	0.049	0.026	0.013
75	0.040	0.020	0.010
80	0.032	0.015	0.007
85	0.026	0.012	0.005
90	0.020	0.009	0.004
95	0.016	0.007	0.003

※ 良い地被とは多年生植物からなり芝生をつくるような禾本科の草とか、1インチ以上もの深さの落葉落枝など有機物の被覆、又良い植被のかたまりの間のすきまの間隔が平均直径で2フットより大きくないというような。しかも土壤表面を一年中良く保護出来るものをいう。

図-1
傾斜の係数

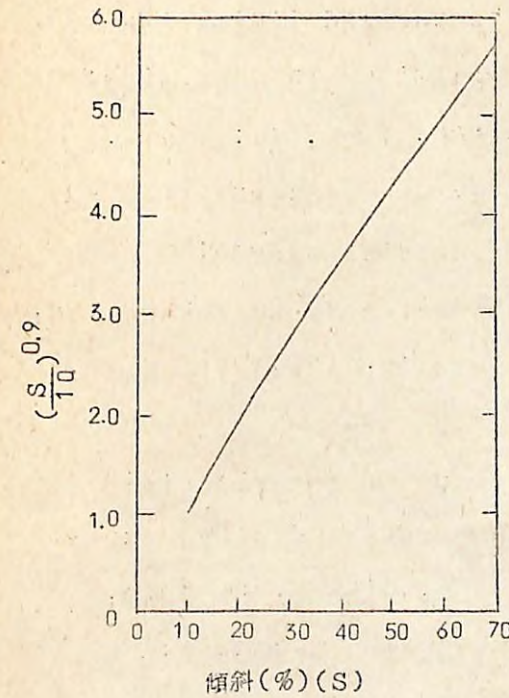


図-3
雨量の係数

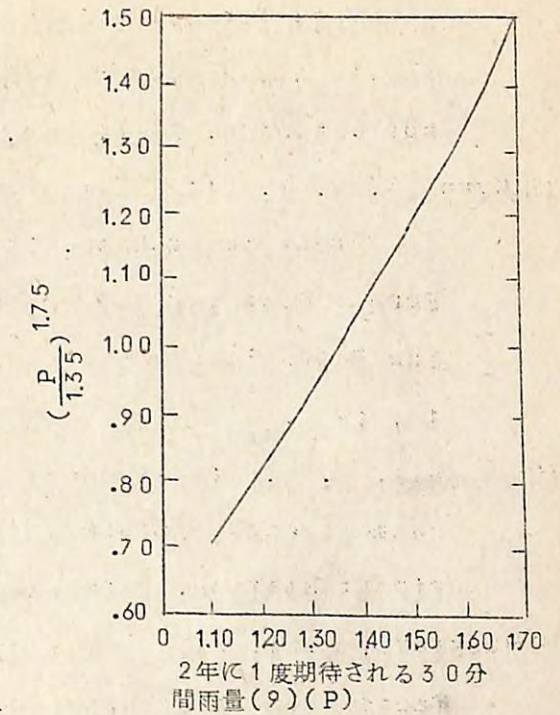
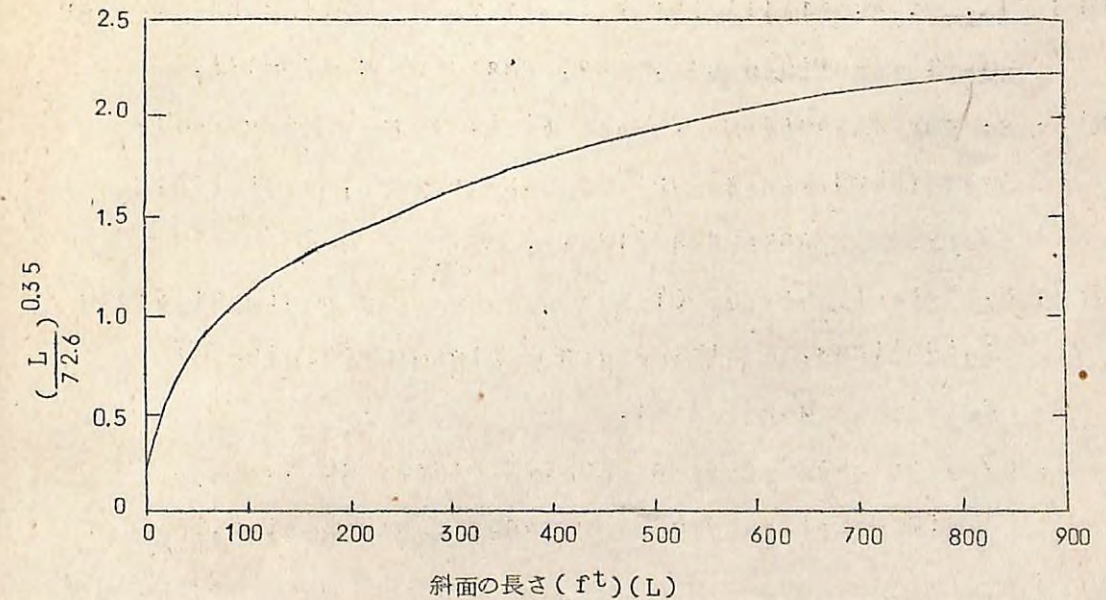


図-2 斜面の長さの係数



文 献

- (1) Browning, G. M., Parish, C. L., and Glass, J. A. (1947)
A method for determining the use and limitation of
rotation and conservation Practices in control of
soil erosion. Amer. Soc. Agron. Jour. 39: 65-73.
- (2) Dyrness, C. T. (1965) Erodibility and erosion potential
of forest watersheds. International Symposium on
Forest Hydrology. Proc. National Science Foundation,
The Pennsylvania State University, Aug. 29 - Sept.
10, 1965.
- (3) Meeuwig, R. O. (1969) Sheet erosion on Intermountain
summer range. Intermountain Forest and Range Expe-
riment Station, Forest Service, Mimeograph Form.
- (4) Musgrave, G. W. (1947) The quantitative evaluation of
factors in water erosion. Jour. Soil & Water
Conserv. 2 (3).
- (5) Smith, D. C. (1941) Interpretation of soil conservation
data for field use. Agr. Engin. 22: 173-175.
- (6) U. S. Forest Service Manual Title 3500 - Cooperative
Watershed Management - Chapter 3570, Hydrologic
Surveys & Analyses (1969).
- (7) U. S. Forest Service (1969) Erosion and sediment yield
guidelines. Southwestern Region (3) Division of
Watershed Management.
- (8) U. S. Soil Conservation Service (1968) Guide to
sedimentation investigations. South Regional

Technical Service Area Technical Guide No. 12 (75)

- (9) Weather Bureau Technical Paper No. 40, Rainfall
frequency atlas of the United States for durations
from 30-minutes to 24-hours and return periods
from 1 to 100 years. 1963.
- (10) Zingg, A. W. (1940) Degree and length of land slope as
it affects soil loss in runoff. Agr. Engin. 21:
59-64.

(議題 7)

土地保全を考慮した林道建設

(Forest road construction with due regard to land conservation)

(説明) 山本武義, (執筆) 中野秀章

現 状

林業の生産性の向上には諸作業の機械化が必要であり、この実現には高密度の林道網が必要と考えられている。たとえば国有林では現在ha当たり数mの林道網を数十mまで拡充しないと十分な機械化林業はできないという意見がでてゐる。このような考えはすでに民間林業家によつて、ごく一部ながら実行に移されつつある。

一方、急傾斜で多雨な日本の山地では、道路建設に伴う山崩れ・捨土砂の流出等の問題が懸念されており、事実この種の問題がすでに発生しており、また林道自体を破壊から守る問題も次第に多くなつてゐる。すなわち、林道が従来主として運搬路で沢沿いに建設されてきたこと、素掘りの側溝や横断溝で、しかも排水の末端処理が不適當であつたこと、切取土石の処理や盛土あるいは切取法面の保護が不十分であつたこと等に原因している。

以上から、近年は沢沿いの建設をできるだけ避け、りょう線に近づけて建設すること、よう壁築設により切取土石量の減少をはかること、できるだけ切取・盛土量が少なく、かつ両量がバランスした路線の選定に努めること、側溝や横断溝を簡易な工作物にすること、盛土・切取法面を簡易工作物と植物で保護すること等が対策として検討され、一部実行されつつある。

しかしながら、これらの対策はかなり多額の経費を要し、林道建設費を高くする点が問題となつてゐる。

必要とされる情報

建設費が安く、切取・盛土のできるだけ少ない路線の選定法に関する情報、いかえれば地形と路線選定との関係に関する新しい情報が強く望まれている。また、よう壁・排水溝・法面保護のための確実で安価な新材料についての情報も望まれている。

土地保全に関係した林道建設

(Forest road construction in relation to land conservation)

(説明) ドナルド C. ターナー
Donald C. Turner
(執筆) J. J. バーン
J. J. Byrne

今日見るような技術の下では、森林資源を管理・使用・保護するためには道路が必要である。これらの道路のあるものは、恒久的に維持されるべきであり、他の道路は、短期使用の目的で建設し、その目的が済めば再び必要とするまで閉鎖される。

米国の連邦有森林は将来約400,000マイル(約64万Km)の恒久道路を必要とするであらう。そのうち、ほぼ205,000マイル(約33万Km)が既に建設済みである。このうえに、毎年約7,500マイル(1.2万Km)の道路が新しく加えられている。これらの道路はほとんどが多目的道路であるが、あるものは一つの特定の資源にとつて、または火災防止にとつて、より重要性を持つものもある。

木材資源を管理したり伐採したりする見地からは、一平方マイルの森林地域につき2ないし10マイルの長さの恒久道路が必要である。地形は丸太を切り出す方法に影響を与える。トラクター集材のためのroad spacingは300フィートほどで充分であるがhigh-leadのためのroad spacingは1500フィートほどあつて良い。

レクリエーションのために必要な道路には、主要導入道路と内部レクリエーション道路とがある。これらの道路の密度はその地形とどんな種類のレクリエーション施設がそこにあるかでちがつてくる。

火災の可能性が非常に大きい地域における火災防止のためのみに必要な道路は、ふつう山の尾根に沿つてゐる。これらの道路は火災時に消防士の導入や消火機器を操作したりする便利のために造られている。道路は放牧地へ牛や羊を車で運搬するためにもまた造られている。以前は牛や羊を放牧地まで追い上げ道の上で追つていたものであるが、この様な追い上げ道が侵食

の危険を伴うことがわかり、牛や羊を追う習慣は徐々になくなりつつある。

道路建設は、あらゆる目的の運輸計画にのっとって行なわれる。この運輸計画はその容量が推定された道路網である。森林開発のための運輸計画は、将来20年先までの必要性に見合うように考慮される。適正な運輸計画とは、それぞれの資源の管理目的を考慮に入れたものである。従つて、土壌学者・林業技術者・放牧地管理者・風致技術者・魚類や野生動物の専門家・火災防止専門家等がこのような運輸計画に貢献するところが大きいということになる。加えて一般人・企業・地方公共団体や州政府による道路使用のことも考える必要がある。森林の管理のために必要な道路の多くは、水資源を開発する人々によつて建設されたり、また、国有林地を横ぎつて人間を輸送するために郡や州政府のハイウエー部門によつて建設される。出来得るかぎり、あらゆる運輸に対する、必要性が調整されている。

それぞれの道路のlinkageについて、それに替り得るいくつかの経路が選択され、評価される。この評価の対象は、建設コストおよび人や物を運搬するためのコスト等である。それぞれの経路が土壌の安定性・漁業・風致等に与える影響についても又評価が下される。このようにして選ばれる経路は管理諸目的をほぼすべて満たすところの経路である。

道路は、構造的安定性を保障し、道路表面からの過度の侵食を防ぐような方法で設計・建設され、また斜面を切り開いたり埋めたりする。レクリエーションのための値うちの高い地域においては環境的な要素にも考慮がなされる。

道路の位置や設計を最適化することは非常に複雑な作業である。我々はコンピューターの助けを借りるようになりつつある。いろいろの条件が相互に作用し合う。例えば、

- (1) 不安定な地域を避けると、そのためにその道路システムの利用度が低くなつたり、より長い距離が必要となつたりしかねない。またそれらの結果として不安定な地域にあつても安定性を与えるための土木学的な工夫をこらした道路に比べて、土壌の安定度がより低くなる。
- (2) コントロール地点の間の道路の距離を大きくするとその道路のこう配を減らすことになるが、逆に道路の距離に比例して、たくさんの斜面が荒らされたり、維持費や運行費が高くなつたりすることになる。
- (3) 道路の幅を減らしたり、道路を風景に合わせたりすると自然の環境を乱すことが少いが、

逆に運賃が高くなつたり、許容しがたい程度にまで安全度を犠牲にしたりする可能性がある。

- (4) 可視距離（水平・垂直両方を含む）を下げると、自然の環境を乱すことは少くなるが、しかし運航速度や安全度も下がるであろう。

- (5) 道路のこう配を増すと、所要距離を縮めたりあるいは危険な地帯を回避することができるが、同時に自然地表における地表あるいは溝の侵食も増える。舗装によつてこのような状態を矯正できるが、これはコストを増やす。

道路の設計・建設は道路に恒久性を持たせ、また維持コストを低く抑えるという観点から行なわれる。橋や暗きよ(culvert)には永持ちのする材料が用いられている。道路の断面や路線設定は少くとも20年間修正なしで道路が使用に耐えうることを条件としている。このようなやり方は経済的に良好であると考えられているばかりでなく、流域が何度も荒らされることをなくする。段階的建設も、同じ理由で避けられている。

林道の規格は公共ハイウエーに匹敵するものから、火災の警戒に使用されるような、幅が狭く、表面が土で、曲りくねっているものまである。すべての道路は安定性を考えて造られている。道路の排水設備は、道路表面への降水や、他から出て来る水を安全に取り扱えるように工夫されている。安定性をもたされることが必要な場合には、土固めの機具もしくは同じ効果を得るよう道路建設用車輛・機具をその上に常時通すことによつて盛土の表層を固めることが行われる。充分な設計を得るためには多くの工学分野の専門家が参加する。これらはハイウエー・橋梁・材料・構造物・水理・化学などの技術者であるが、それぞれが特定の設計の複雑性に応じて参加する。風致技術者もまた景観道路の設計には参加する。

実際の場合には、最適な道路なるものが建設されることは滅多にない。充分な資金がない結果として妥協が行なわれる。同じく、木材を製材所へ供出し続けるための圧力（強い要請）があるために、充分な地表面下の調査を行なう時間が与えられていない。このような状態も、充分な資金と熟練した人手が使えるようになると、矯正されるであろう。

道路建設が熟練した技術者や技能者によつて監督されるということは非常に重要なことである。道路は先づ最初に規格や計画に則つて測量され、い打ちをされなければならない。建設の最中には、常駐技術者と彼の班の者が一つ一つの規定された作業を監督する、それらの作業

とは、道路予定地から樹木もとて除くこと、静さく、土中水分のコントロール、土固めが充分であるかどうかのテスト、切り取り斜面、盛土斜面、みぞ、路肩の検討などである。しばしば、掘さくの際中に予期しなかつた状態にぶつかることがある。そういった場合、常駐技術者はこのような状態を是正するために、道路のその部分を設計し直してもよい。

維持作業は道路に対する投資効果を維持し、道路表面を充分になめらかに保つために非常に大切である。暗きよみやみぞは土砂がたまらないように保たねなければならない。壊れた道路斜面は修繕され、植物も元のように植えられなければならない。道路斜面の植物には時々肥料を施さなければならない。道路表面には旅行者の必要のために刃をつけたブルドーザーで地均しをしなければならない。舗装された道路でも地均しは別として、似たような維持作業が必要である。舗装道路では壊れた舗装部分を元に直すことも必要である。

表面が土でできている道路のなかには、降水の多い時期にその上を車で走ると、車の輪の跡が表面に残るものがある。これは車の輪だち内における過度の侵食の原因となる。このような輪だちが残る可能性を減らすため、前述の道路には表面が乾き切るまで車の乗り入れをさせない。

地域によつては火災の危険度が非常に高い時期にはいくつかの道路を閉鎖することもある。火災の可能性が非常に大きい地域においては、その地域への主要な入口にゲートを設けている。必要とあらばこれらのゲートを閉め、鍵をかけることもできる。

冒頭で、めつたに使われなため使用していない期間中は閉鎖される道路のことについてふれた。これらの道路が、集・運材作業あるいはある種の計画の建設事業にとつて必要な恒久道路への動機となつてもよい。これらの道路には通常は横断排水溝がつけられて車の輪だちが残る可能性や侵食を減らしている。そしてまた地被として草が植えられている。

経済性を向上させ、土地保全により良い結果をもたらすべき道路技術の改善に目を向けてみると次の様な研究・開発が進展中であることが判る。

(i) 情報の集積システム

土地管理に必要とされるすべての種類のデータの貯蔵と集収のためのシステムはもう間もなく到来する。このシステムは地形・植生・土壌・地質・および流域管理の諸要素等

に関するデータを集収貯蔵する。運輸システムを合理的に設計するには、これらのデータのすべてが必要とされる。

(ii) デオメトロニクス(geometronics)システム

このシステムは写真図化法とコンピューターと自動図式表現法とを混合したものである。(i)で貯蔵されているデータは、計画立案のために図式で呈示され得る。

(iii) 運輸計画立案とデザインシステム

いくつかの大学が現在、運輸計画立案のためのコンピューターシステムを開発するため協力しつつある。インプットデータは前述の情報集積システムより得られる。このシステムは必要とする道路のリンケージ(linkage)・道路幾何学・大体の長さ・大体のコスト等を与える。これらのシステムは開発後期にあるので1971年までには実用に供されるであろう。

(iv) 道路が木材生産に与える影響

道路建設が木の生長に与える影響を調べるための研究が現在進行中である。ある一つの研究は路表がアウトスロープの狭い道路は全般的に言つて木の生長にはほとんど影響を与えないことを示している。道路の真上では木の生長が減退し、盛土切り取り斜面の真下では増進する。

(v) 道路建設が流域水文に与える影響

道路建設が森林水文にあたえる影響を調べるための研究によつて、道路排水溝またはインスロープの路面が用いられているような山地地域においては、水文は影響を受けることが示されている。このような道路は地表流下雨水も集め、既存の排水設備にこれを選びがちである。この事実は、荒らされない状態で起こる以上に、関連排水設備でのピーク流量を増加させがちである。

ま と め

まとめとして言えることは次のことである。道路は森林の管理・保護・利用のために必要である。しかし道路はその位置や建設方法が適正でないと、資源の価値を深刻に減じることになりかねない。最適の位置を決定したり、最適の設計を行なうためには、非常に高い水準の技術が必要とする。このような技術は現在既に実用のために存在する。

(議題 8)

日本における造林・育種に関する研究

省 略

(説明) 竹 原 秀 雄

山林局における造林・育種に関する研究

(Forest Service research on reforestation and genetics)

(説明・執筆) カール E. オストローム

Carl E. Ostrom

省 略

(議題 9)

高地森林地帯における積雪管理

(Snow management in high altitude forest-related areas)

(説明・執筆) 中 野 秀 章

現 状

日本では、一般になだれ・積雪の害・融雪洪水に関心が強く、これら災害の防止のための事業が実施され、研究が行なわれている。しかし水資源の確保という立場で積雪を人為的にコントロールしようとする試みは水行政面でも研究面でもまだほとんど行なわれていない。ただ降水の一部として、積雪の分布とその測定技術には、災害防止の立場から、強い関心をもたれている。積雪はとくに日本海沿岸地方における重要な水資源であるが、その絶対量が多いため、とくに積雪・融雪の態様をコントロールする必要は現在のところ考えられていない。しかしながら本州太平洋岸地帯における水需要が著しく増大するにつれて、中央山脈の大量の積雪を合理的に利用しようとする意見が現われはじめており、今後高地の積雪管理の問題に関心が強くなることが考えられる。現状では流域試験の結果から、森林の有無・常緑樹林と落葉樹林の違いにより融雪の時期的分配が異なり、このことが冬期の河川流量の時期的分配に影響し、冬期洪水期の流量の確保に関係することが知られ、積雪地方の発電水力ダムの上流流域の森林経営に参考されたことがある程度である。

必要とされる情報

今後考慮されるべき研究の参考とするため、米国におけるこの方面の技術とその研究の実情、すなわち積雪・融雪の人為的・林業的コントロールの方法、積雪分布の測定法等についての情報を知ることが望まれている。

(議題 10)

拡水法

(Water spreading)

(説明・執筆) 中野 秀 章

現 状

森林の理水機能には限度があると考えられる。しかも一方では社会の供水防止・河水資源確保にたいする要請はきわめて強い。このため1960年ごろから森林の効果を補完する工作物を林地流域内に施設することが考えられるようになった。そして一般に人工地下水強化として知られる一連の方法を応用することが考えられ、林野庁では、林業試験場・大学・民間研究所の協力で、火山堆積物地帯で堅穴法・山腹溝渠法・浸透地法における浸透レートを確かめる試験を行なってきた。小規模な試験で、これらの実用への見通しはまだまだついていない。そして研究も十分な発展がみられていない。

必要とされる情報

以上の現状であるが、米国において山地における水流出の調節・土壌侵食抑制に応用されているならば、林業的流域管理技術の体系の中での位置付けと事業の実態および研究の現状についての情報が望まれる。