

# 森林水文研究における最近の動向

森林総合研究所東北支所

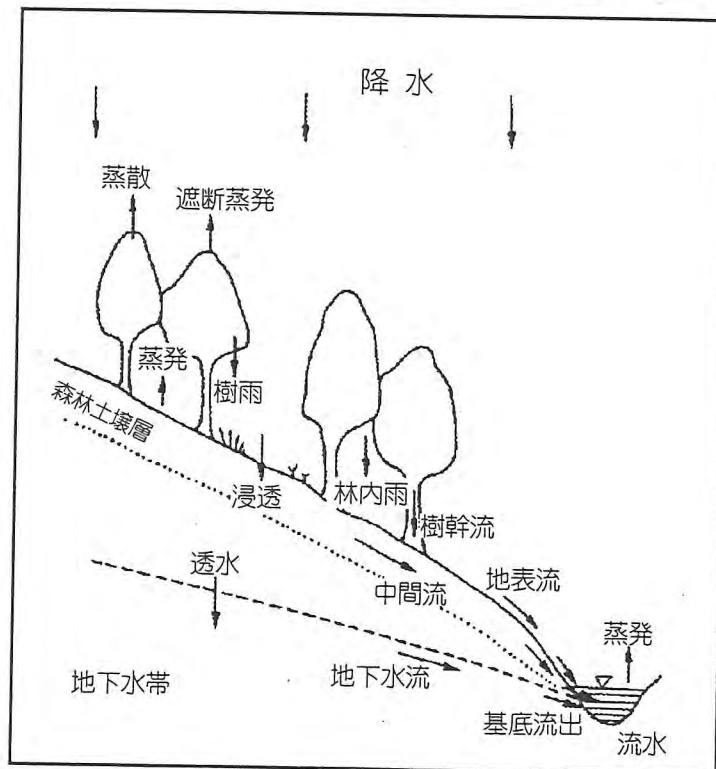
経営部防災研究室 細田育広

## 1. はじめに

天体の諸現象を天文というのと同様に、水の動きやそれに伴うさまざまな現象を水文（すいもん）といいます。水文という言葉は、対象とする場に応じて河川水文、都市水文という具合に使われ、森林を対象にする場合が森林水文です。日本の森林は、山間部に主として分布しているため、森林における水文過程を解明することは、水源かん養機能や洪水対策を考える上で重要であるといえます。本論においては、森林水文研究に関連する事項について概説し、最近の研究動向について述べたいと思います。

## 2. 森林における水文過程

地球上の水は、気体や液体に形を変えて大気－陸地－海洋の連続する系を移動します。これを水循環といい、その過程で生起する諸現象が水文現象であるといえます。森林における水文現象は、図－1に示すような個別過程に分けられます。単純に考えれば、降水が森林を通過して川の水になるまでの過程は、重力に従う流れと重力と反対方向の流れの二種類に大別できます。前者の代表は降水であり、後者の代表は蒸発です。降水量から蒸発量を引いた分が川の水量になりますが、個別の水文現象は空間的に不均質であると同時に、それぞれの過程での水の移動速度が同じではありません。このため森林水文現象を一連の流れとしてとらえた場合、その挙動は時間的にも空間的にも非常に複雑になってきます。



図－1 森林水文過程の模式図

森林総研東北支所編「東北の森・科学の散歩道」p75 図1を加筆修正した

### 3. 日本の森林水文研究の経過と最近の情勢

科学としての日本の森林水文研究は、1911年に始まる第一期治水事業が出発点となります。この頃の日本の山地にはハゲ山や荒廃地が広く分布し、洪水や土砂による災害の頻発が大きな社会問題になっていたようです。この時期、全国各地に理水試験地が設置され、山地流域での降雨と水流出の観測が始まりました。山形県最上郡真室川町にある釜淵森林理水試験地は、1937年に始まる第二期治水事業の頃に設置されました。理水とは河川の流量調節（洪水と渇水との緩和）という意味で、当時は森林状態と水流出の関係に注目した研究に主眼が置かれていたようです。この頃に始まって現在まで観測を継続している長期理水試験地は、世界的に見ても希少になりました。

その後、ユネスコの国際水文10年計画（1965～1974年）を契機として、水循環における森林の役割を解明することに重点を置いた研究が進められるようになります。この頃は高度経済成長期にあたり、水資源開発が社会的な関心事となっていたため、日本においても水文研究が盛んになりました。

水文研究が盛んになる一方で、森林の開発が進み水・土砂災害が増え、水質が悪化するなど水環境の悪化が社会問題となって現在に至っています。これまで日本の環境政策の指針となっていた法律は、1967年に制定された公害対策基本法と1972年に制定された自然環境保全法が基本でした。しかし、高度経済成長期の環境悪化対策に加えて地球環境という視点が必要になり、1993年に環境基本法が制定されました。その基本的な施策として策定された環境基本計画が2000年末に更新され、重点的に取り組むべき事項が具体化されています。その中で、環境保全上健全な水循環を確保することが、持続可能な社会の構築を目指す取り組みの大きな柱のひとつとして位置づけられました。

国の環境政策の枠組みの中で、流域の視点から見た水環境の保全対策が求められることになった一方、ほぼ同時期に林政の主眼を木材生産から森林の多様な機能の持続的発揮にシフトする林政改革大綱が策定されています。そこで示される機能の一区分である森林の水土保全機能に関する具体的な取り組みについては、従来より林野庁の「水源地治山対策のあらまし」という冊子で知ることができます。そして最近の記述においても、水の挙動把握が十分でないために、森林整備効果の定量的評価が不十分であるという研究面での現状認識が示されています。

### 4. 森林水文研究の動向

国内のさまざまな学会に森林水文研究の成果を発表する場が存在します。その中で日本林学会の防災部門は、森林の理水機能をめぐる議論の場として長い間機能し続けています。十年前と昨年の防災部門の発表課題を、分野別に集計してみた結果が表-1です。筆者の独断で分類していることをお断りしますが、この十年で防災部門全体に対する森林水文関連課題の発表数の割合は増えてきています。

個別のテーマでは、十年前も最近も土壌水分や土層中の水移動に関する発表が多いことがわかります。森林土壌で普通に見られる粗大孔隙（マクロポア）の水理特性などが十年くらい前から積極的に扱われるようになり、土層の不均質性を前提とした水移動過程解明の取り組みが進められつつあります。水流出における粗大孔隙の役割の重要性が認識されるようになりましたが、地質や地形、気象条件、森林状態との関連については未解明です。

表-1 日本林学会防災部門における森林水文関連研究の発表テーマ

1990年：61件中31件(51%)      2000年：59件中45件(76%)

テーマ	件数	テーマ	件数
土壌水分・水移動	10	土壌水分・水移動	10
蒸発散・樹冠遮断	6	熱収支	9
水流出	4	土砂流出	7
水収支	3	蒸発散・樹冠遮断	6
熱収支	4	水流出	4
水質	2	水質	3
土砂流出	1	安定同位体水文	3
融雪	1	水収支	2
		融雪	1

表-2 AGU 水文学部門のサブセッションテーマ  
(発表件数が多い順に15セッション)

1993年秋季大会の合計

サブセッション数：32

発表件数：693

2000年秋季大会の合計

サブセッション数：37

発表件数：1016

サブセッションテーマ	件数	サブセッションテーマ	件数
水文学：地下水の流れとその過程における層位的影響	47	環境地形水文学	85
帯水層における化学的不均一性	43	氷河と氷床	73
氾濫原の地形学、水理学、および堆積物の移動	43	地形学	70
HAPEX-Sahel: 結果と解析	40	試験流域における水文・生態学的研究	54
氷河と氷床	36	自由水帯における放射性・混合性廃棄物	48
表層系における非混合流体の移動と可動化	35	寒冷陸地過程	47
地下水地球物理学における最近の進歩	35	土壌表層の不均質性に関する総合的な考察	41
不安定斜面における水文学的、地形学的プロセス	33	地表水文過程の観測とモデリング	37
汚染地表水における反応性溶質輸送	32	環境自由水帯水文学	34
乾燥地域の自由水帯における水の挙動と溶質移動	28	自然水中の砒素	31
雪氷水文学	25	水文モデルにおける予測可能な不確実性の定量	31
陸地-湖の連関：物理・化学的側面	22	雪のモニタリング、計測およびモデリング	29
水文学における大規模な野外実験	20	モデル検証のための空間分布測定技術	29
小流域における流出経路	20	地域的な洪水頻度と極端な事象の水文学	27
海洋水文地形学：海嶺からビーチへ	19	水循環系における水質	26
		水文過程と陸生生態系の連関	26

そのため、流域内の土層の水移動特性を空間的・量的に定量し、水流出と結びつけることは未だ困難です。この点が水の挙動把握が不十分と認識されるひとつの大きな理由かも知れません。逆に、流域の水流出特性を解析することで土層の状態を推定するアプローチが古くから行われています。この方法は小規模な流域において、粗孔隙を含めた森林流域の総体としての土層状態を推定する現実的な方法といえるでしょう。さらに長期間のデータがあれば、森林の成長過程と土層状態の変化を追跡することが可能かもしれません。この点で長期理水観測流域の存在意義は大きいといえます。しかし、少数の試験流域における時間経過を追うだけでは、植生はもちろん気象条件や地形、土層厚などの偏りがあるため普遍的な結論を見出すことも類型化も困難です。そのため最近、地形や地質、植生など場の条件が異なる流域の水文を比較する研究を進めるために、全国各地の試験流域における観測値のデータベース化を図ろうとする動きが学会、そして森林総合研究所に出てきています。その推進上、過去の流量データをすぐ利用できる形でのデータベース化が大きな問題となっています。また、過去から現在に至るまでの流量計算値の精度（時間間隔や計算方法）が一定でなく、すべてのデータを均質な水準で扱えない点も問題です。最近ではパソコンを使ったデータ処理や解析が一般的ですが、普及したのは十年くらい前からと思われます。長期観測で得られた膨大なデータのほとんどの期間はパソコンとは縁が無かったため、貴重で膨大な記録が紙の上に残されています。

最近増えてきたテーマとしては、熱収支と土砂流出を挙げることができます。熱収支研究とは地表面での放射エネルギーの配分を推定する研究であり、大気循環を考える上でも推定精度の向上が求められるテーマです。熱収支の中で潜熱として配分される量が、森林の場合は蒸散も含む蒸発量となるため、森林状態による熱収支特性を解明し、熱収支の推定精度を向上させれば、水資源かん養量の推定精度も向上することになります。高精度の観測機器が入手しやすくなったことや、データ解析に気軽にパソコンを使えるようになって、記録時間間隔が短い長期間のデータが楽に扱えるようになったことなども発表件数が増えた背景として考えられます。気候変動などに対する取り組みとして、海外での観測例を報告する発表も増えてきました。

土砂流出の研究は、土砂流出防備という視点で古くから行われています。最近の発表は流域環境の指標としての土砂流出への感心の高まりを背景として、これまでの荒廃流域を対象にする傾向から、特に荒廃していないさまざまな地被条件の流域を対象にする傾向に変化しています。水流出と一体の、いわゆる健全な流砂系という新しい視点への取り組みが進められつつあるといえるでしょう。

最近出てきたテーマとしては、安定同位体水文が挙げられます。安定同位体とは原子番号（陽子数）が同じで質量数（陽子数＋中性子数）が異なり、中性子を放出しない安定した元素（中性子を放出するのは放射性同位体）です。水（ $H_2O$ ）の場合は水素（ $H, D$ ）と酸素（ $^{16}O, ^{18}O$ ）それぞれに二つの安定同位体が存在します。水素と酸素は天然において同位体の比（同位体比： $D/H, ^{18}O/^{16}O$ ）の変動が大きく、それぞれの同位体比は水の相変化（蒸発や凝結）に伴い変化します。この性質を利用して、たとえば土層中の水の滞留時間や混合過程などを推定しようとするのが安定同位体水文の研究です。循環水の同位体比が詳しく調べられるようになったのは二十世紀半ば頃からであり、まだ歴史が浅い手法で分析コストがかなり高いという問題があります。しかし世界標準となる水の同位体比が決め



られており、地球上のあらゆる場所の水を横並びで比較できるメリットがあるため、国際的にも取り組みが進められていくことが予想されます。

表-2は、米国地球物理学連合(AGU)の秋季大会における水文学部門のサブセッションテーマの発表件数を集計し、多い方から15セッションを並べた表です。AGUは大気・海洋科学、固体地球科学、水文科学、宇宙科学の4つの基礎分野で構成され、約120ヶ国から36,000人以上の会員を集める学会です。毎年春と秋に開催される大会は、定期的に開催される水文関連研究集会としては世界最大規模であり、国際色も強いので、水文研究の世界的な動向を把握するには最適な研究集会といえるでしょう。表-2のサブセッションテーマには森林水文以外の分野も含まれますし、筆者の和訳が稚拙でわかりにくいものもあると思います。この点をお断りしますが、最近では環境をキーワードにしたセッションが上位に現れています。そして約十年前には見られなかった水文学と生態学をカップリングした研究が増えてきています。健全な水循環と同時に生物多様性の保全も環境基本計画の大きな柱のひとつになっていることから、日本の水文研究においても水文だけでなく、他分野との連関を明確にした研究の取り組みが盛んになっていくことが予想されます。また、「試験流域における水文・生態学的研究」セッションの発表の中に、長期観測の重要性を強調する課題がいくつか見られました。伐採等による森林の変化の短期的な影響は調べられていますが、その後の経過次第で将来の水文過程に違いが生じていく点は注意する必要があります。その経過を追うために、長期観測が重要になってくるといえます。

## 5. おわりに

経済発展とともに水資源確保や洪水防止の問題が重要となり、森林水文研究は発展していきましたが、同時に森林開発による環境悪化が進んだ歴史があります。およそ一世紀の森林水文研究の歴史は、水文過程の物理的機構解明が中心であり、今後に残された課題も少なくありません。特に長期的視点に應えるための情報は不足している感があります。森林の時間スケールに比べると一人の研究者の活動期間は短く、水文過程に対する森林の長期的な影響は、断片的にしか言及できない場合が多いと思われます。長期的な傾向は、目的とする水文過程をさまざまな林齢の林分や流域を対象に短期間の観測をし、データを並列して概観することで推定する方法もあります。しかし、観測時点の状態が成立するまでの条件や過程が不明なため、さまざまな対象地で同時・短期的に得られたデータを時間軸上に横並びさせることは本来できないはずで、水土保持の視点からも長伐期施業はひとつのキーワードですが、長期になるほど極端な気象条件を経験する確率が大きくなります。また、長伐期の森林を保育していく過程で必要な施業や起こりうる自然淘汰の程度が水土保持上どのくらい影響を与えるのかを示すデータが十分ではありません。つまり、目的とする機能を他の機能を損ねることなく調和的に発揮してくれる森林の誘導の仕方やその過程におけるリスクが未解明といえます。釜淵森林理水試験地をはじめ、国内に点在する長期森林理水観測流域はこの問題を検証する貴重な試験流域となりますが、その多くが長くても70年程度の記録しかありません。この時間は伐期にして約1サイクルではないでしょうか。また試験地、すなわち観測事例の絶対数の不足は否めません。森林整備効果の評価を明確にするためにも、流域単位の水文観測を伴いながら森林整備事業が展開される必要を強く感じます。