

平成9年2月20日

秋田営林局平成8年度業務研究発表会（特別発表）

岩手大学農学部

石井正典

| | |
|----------|---|
| 報告 課題 | 伐採と流水量の関係について —米内沢営林署管内森吉ダム等4流域での実証報告— |
|----------|---|

1. まえがき

長年“森林と水の関わり”についての研究を行なってきたが、広葉樹と針葉樹の保水力（専門語は「水源涵養機能」と言う。）の違いの有無を調べることも重要な研究課題の一つである。

専門分野で「実証が伴わない“仮説”」を「実証が伴った“定説”」であるかのような報道・論文を見聞する機会がある。

その一例は、「ブナ等広葉樹は保水力が大きい。そのブナ等広葉樹を伐採し、保水力が小さいスギ、カラマツ等針葉樹を植える（林種転換）と、同じ降雨の場合、以前の広葉樹であったときに比べて最近の針葉樹では洪水時の河川流量がより大きくなり、また、渇水時の河川流量はより小さくなる。したがって、広葉樹から針葉樹へ林種転換した流域では、近年になって、洪水災害及び水資源の枯渇となっている。」とされていることである。しかし、それに対する実証研究例は皆無で、この意見は仮説にすぎない。

「ブナの伐採は洪水・水枯れの原因となる。」とされていることは、落語の「風が吹けば桶屋が儲かる。」と同様に推論の域を出ていない。ブナの保水力が他の樹木と区別するほど優れているかは疑問で、専門的立場で言えば、森林の保水力は大同小異で、樹種間の違いは小さいと思っている。

仮説の段階で報道機関等がブナを「貴（神）木化」したことは、旧憲法で天皇を「神格

化」したのと似て、その裏に陰謀があるように思える。

昭和30年代以降、多くの流域で広葉樹から針葉樹へ林種転換したが、林種転換した流域で洪水災害及び水資源の枯渇が認められるかの検証は緊急かつ重要課題の一つである。

保水力の解明は林業関係者ばかりでなく、河川関係者、水産関係者、河川下流部に住居する一般人等も大きな関心事である。

そこで、私は東北・北海道地方の中から14流域を選び、上記の仮説の検証を行ない、この問題の決着に寄与することとした。なお、今回は、広葉樹の伐採に伴う森林蓄積の減少が水枯れの原因の有無を中心に報告する。

2. 森林の水源涵養機能（保水力）とはなにか

森林の水源涵養機能には、豪雨時の河川流量を下げる働きとしての洪水調節機能と浸透水を地下水脈に涵養し、それをゆっくり湧出させ、水枯れの時期を遅らせる働きとしての湧水緩和機能の2機能がある。この2機能によって森林流域では河川流量を平準化させる働きがあるとされている。

○洪水調節機能＋湧水緩和機能→河川流量の平準化（水源涵養機能、又は保水力）

地形、地質等の地文条件及び降水、気温等の気象条件が同じ場合、洪水調節機能は森林地での遮断蒸発量、蒸散量、地面蒸発量等の総量（蒸発散量）に左右される。すなわち、森林地では、蒸発散量が大きいため土壌中の毛管水量をより多く大気に消失（蒸発散）させ、そのことが森林地の土壌をより乾燥状態（土湿不足が大きい状態）とさせる。

土湿不足の大きいことと豪雨時の遮断蒸発量が河川流量のピーク流量を下げる（調節）が、そのことは豪雨前の洪水調節ダムでの放水による貯水位の降下に伴う洪水のピーク流量を調節する働きと似ている。

○天然の洪水調節機能が森林に備わっている。

森林地を伐採地、幼齢林地、壮齢林地及び老齢林地に区分すると、蒸発散量は、①壮齢林地（東北地方では年間600～700mm程度で、ブナは下限値、スギ・カラマツは上限値と考えられる。）、②老齢林地、③幼齢林地、④伐採地（400～500mm程度と考えられる。）の順に大きいから、洪水調節機能は壮齢林地、老齢林地、幼齢林地、伐採地の順に大きい。

○洪水調節機能（小）→洪水調節機能（中）→洪水調節機能（大）

（宅地、裸地、草地）→伐採地→幼齢林地→老齢林地→壮齢林地

洪水調節機能を長年にわたって同等に維持させるには、常に、いろいろな林齢・林種で、かつ法正林が良いと思われる。すなわち、森林地が老齢林のみで覆われていると、その老齢林は風害、地震害、病害等に弱く、山地災害の危険性があり、また、森林を一斉単純林にすると、複層林に比べて弱点がより顕在化する可能性となる（危険の分散化のための法正林がよい。）。

一方、地表に到達した降水を土壌中の“みずみち”（浸透水を基岩の方に移動させる孔隙のこと。）を通じて基岩まで到達させる働きが森林の渇水緩和機能の役目である。それによって基岩に到達した浸透水の一部は基岩の“割れ目”を通じて地下水脈に涵養し、その地下水が徐々に下方に移動し、最後に河川流量となる。

○渇水緩和機能（小）→→→→→→→→→→→→→→→渇水緩和機能（大）

（宅地，裸地，草地）→→→→→林地（伐採地，幼齢林地，老齢林地，壮齢林地）

水源山地の渇水緩和機能にとって根系の量と質が重要な役割となる。森林を伐採してもその伐根は長年その機能を維持するし、また、更新した樹木の根系の発達が加わって、伐採地・幼齢林地での渇水緩和機能が壮齢林・老齢林に比べて劣ることはないと思われる。

基岩の“割れ目”の量・質を人工的に変えることは不可能であるが、人間によって変えることができるのは基岩までの“みずみち”としての根系（生根及び伐根）の量・質である。

一般論として、多雨地帯では、渇水緩和機能よりも洪水調節機能を優先した森林施業が望ましいと思う。したがって、①スギ，カラマツ等の蒸散作用が大きい樹種に林種転換することによって、より大きな洪水調節機能が期待できること。②森林施業は長伐期とし、年伐採面積率は1～2%にとどめ、蒸発散量の低減を最小限にとどめること。③伐採方法も間伐，択伐，漸伐を中心とすること。等によって、洪水調節機能を優先した森林施業が考えられる。なお，皆伐は小面積とし，沢筋での皆伐は避け，河川の水質保全に配慮した森林施業とする。

○多雨地帯では洪水調節機能を優先した森林施業が望ましい。

寡雨地帯で、かつ、台風による豪雨災害の危険が少ない流域では、洪水調節機能よりも渇水緩和機能を優先させる考えがある。このような場合の森林施業は、①ブナ等の蒸散作用が小さい樹種の保存を優先すること。①下木植生は繁茂させつつ森林蓄積を減らし（疎林），それによって大気への水分消失を減らすこと。②短伐期で、蒸散が大きい壮齢林の

面積を減らすこと。等によって、渇水時の河川水量の増加が見込めるからである。

すなわち、寡雨地帯では、多雨地帯に比べて森林の更新期間を早める森林施業が考えられるが、そのためには、台風災害による下流部への影響評価が前提条件となる。

○寡雨地帯では渇水緩和機能を優先的に配慮した森林施業が考えられる。

3. ブナの保水力が大きいと言われている根拠は何に基づいているか

「ブナを伐採すると、洪水及び水枯れになる。」との報道を初めて耳にした時、長年の研究から、樹種間の保水力の違いは小さいと判断していたので、晴天の霹靂であった。

その後、専門を同じくする研究者にその根拠は何に基づいているかをきいたが、全員がその根拠はわからないとの回答で、また、異口同音に森林の保水力は大同小異との見解でした。したがって、ブナの保水力問題はある研究者（不明）の仮説をある任意団体がある目的のために利用し、それを報道機関が大きくとりあげた結果が、この“ブナ騒動”となったと推察される。

ブナと他の樹種とを比較した論文から、私なりにその根拠なるものを推察すると、次のことをよりどころにしていると思われる。

(1)人工降雨による浸透能実験での浸透能が根拠か？

浸透能の結果から、ブナ林が他の森林に比べて多くの浸透水を地下水脈に補給できると判断したことが考えられる。

しかし、毎年何回も発生する降雨強度でその浸透能実験が行なわれたのであれば、浸透能の大きいことが保水力も大きくなる要因の一つとも考えられるが、問題はその実験での降雨強度にある。

その実験での降雨強度は100～300mm/時と大きく、このような大きな降雨強度はわが国では稀であり、このような豪雨では保水力云々よりも土砂災害が問題となる。

保水力の比較を目的とするなら、降雨強度は80mm/時以内で行なうべきであり、いままで、80mm/時以内での試験例はみられない。

私もその浸透能試験に一時参画した経験から言うと、80mm/時以内の降雨強度での浸透能は全ての森林地（伐採地も含む。）で同程度になると思っている。

すなわち、現実に何回も起こり得る降雨強度でブナと他の樹種の浸透能を比較してないので、他の樹種よりブナの保水力が大きいと言う裏付とはならない。

○浸透能試験によるブナの浸透能の優位は現実的な実験に基づいていない。

(2) 土壤調査によるブナ林の土壤水分が多いことが根拠か？

同じ壮齡林で、ブナ林の土壤水分が多くなる理由はつぎのとおりである。

ブナは生長が遅い樹種の一つである。このことから、生長が早いスギ・カラマツ等の針葉樹に比べてブナは蒸散作用が小さいと思われる。その蒸散の違いが土壤水分（ただし、毛管水量のことであり、重力水ではない。）に影響し、ブナはスギ、カラマツに比べて土壤が湿った状態となる。

○ブナの湿った状態は水源涵養機能として両刃の状態となる。

不利な点：湿った状態は同じ降水量ではほかの森林に比べてより大きな洪水量となる危険がある。特に、洪水調節機能を優先させたい多雨地帯で土壤が常に湿った状態は不利となる。

岩木川上流部の白神山地は青森県内の多雨地帯の一つであるから、そこにブナを残すことは洪水調節機能として不利な状況にある。したがって、目屋ダム（新津軽ダム）での洪水調節は他の森林（スギ、カラマツ等）に比べてより負担が大きくなっていると思われる。

有利な点：湿った状態は同じ降水量で、より多くの浸透水を地下水脈を涵養し、渇水緩和機能が有利となる。ただし、壮齡林で比較するとブナ林が湿った状態となるが、伐採地、幼齡林地の方がブナ壮齡林より、さらに湿った状態となるから、寡雨地帯ではブナ林より、更新を早めた方が渇水緩和機能として有利となる。

○ブナ林の湿った状態はスギ等より多雨地帯では洪水災害の要因となることがある。

○ブナ林の湿った状態は寡雨地帯で水資源上有利となるが、他の樹木でも更新を早めれば同等以上となる。

4. 土地利用と水循環の概念

(1) 森林地と無林地の水循環の概念

図-1 傾斜地における森林地と裸地・宅地の水循環（概念図）

| 森林地（伐採地も含む） | | | | 無林地（裸地，宅地，等） | | | |
|---------------|-------------|----------|-----------|---------------|------------|----------|------------|
| 位置(高さ) | 降 下 | 上 昇 | 流 れ | 位置(高さ) | 降 下 | 上 昇 | 流 れ |
| 空 中 | (降水) ↓↓↓ | | | 空 中 | (降水) | | |
| 上木植生層 | 遮 断 ↓↓↓ | 蒸 発 ↑ | | | | | |
| 下木植生層 | 遮 断 ↓↓↓ | 蒸 発 ↑ | | | ↓↓↓ | | |
| 地 表 | 地表水 ↓↓→ | 蒸 発 ↑ | 河川流量 → | 地 表 | 地表水 ↓→→ | 蒸 発 ↑ | 河川流量 →→ |
| 土 壤 (根系：有) | 土壌水 ↓→ | 蒸発散 ↑ | 河川流量 → | 土 壤 (根系：無) | 土壌水 ↓→ | 蒸 発 ↑ | 河川流量 → |
| 岩 盤 | 地下水 → | | 河川流量 → | 岩 盤 | 地下水 → | | 河川流量 → |

注) 伐採地は一時的な現象で，それを森林地に含める。

森林地では根系を通じた地下水脈への水量の補給ルートが確保されている。

(2) 伐採地と草地・ゴルフ場の水循環の概念

図一 2 伐採地と草地・ゴルフ場の水循環（概念図）

| 伐 採 地 | | | | 草 地 ・ ゴ ル フ 場 | | | |
|---------------|---------------|------------|-------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| 位置(高さ) | 降 下 | 上 昇 | 流 れ | 位置(高さ) | 降 下 | 上 昇 | 流 れ |
| 空 中 | (降水) ↓ ↓ ↓ | | | 空 中 | (降水) ↓ ↓ ↓ | | |
| 下木植生層 | 遮 断 ↓ ↓ ↓ | 蒸 発 ↑ | | 草本植生層 | 遮 断 ↓ ↓ ↓ | 蒸 発 ↑ | |
| 地 表 | 地表水 ↓ ↓ → | 蒸 発 ↑ | 河川流量 → | 地 表 | 地表水 ↓ → → | 蒸 発 ↑ | 河川流量 → → |
| 土 壤 (根系：有) | 土壤水 ↓ → → | 蒸 発 散 ↑ | 河川流量 → → | 土 壤 (根系：) | 土壤水 ↓ → | 蒸 発 散 ↑ | 河川流量 → |
| 岩 盤 | 地下水 → | | 河川流量 → | 岩 盤 | 地下水 → | | 河川流量 → |

注) 伐採地と草地・ゴルフ場は外観が同様であるが、根系の多寡，有無が異なって，その根系の存在が渇水緩和機能（水枯れを遅らせる働き。）の違いとなる。

(3) 土地利用による保水力，水源涵養機能等の概念

図一三 山地の土地利用による保水力，水源涵養機能等の比較（概念図）

| 土 地 利 用 | | 蒸 発 散 量 | | | | 浸 透 能 | 保 水 機 能 (力) | | | 水 源 涵 養 機 能 | |
|----------|---------|-----------------|----------|----------|-----|----------|---------------|------------|-----|-------------------|-------------------|
| | | 遮 断 蒸 発 量 | 蒸 発 量 | 蒸 散 量 | 計 | | 毛 管 水 量 | 地 下 水 量 | 計 | 洪 水 調 節 機 能 | 渴 水 緩 和 機 能 |
| 森 林 地 | 壯 齡 林 地 | 大 | 小 | 大 | 大 | 大 | 大 | 大 | 大 | 大 | 大 |
| | 幼 齡 林 地 | 中 | 中 | 中 | 中 | 大 | 大 | 大 | 大 | 中 | 大 |
| | 伐 採 跡 地 | 小 | 中 | 小 | 小 | 大 | 大 | 大 | 大 | 小 | 大 |
| 草 地 | | 小 | 中 | 小 | 小 | 中 | 中 | 中 | 中 | 小 | 中 |
| ス キー 場 | | 小 | 中 | 小 | 小 | 中 | 中 | 中 | 中 | 小 | 中 |
| ゴ ルフ 場 | | 小 | 中 | 小 | 小 | 小 | 小 | 小 | 小 | 小 | 小 |
| 裸 地 | | 無 | 大 | 無 | 小 | 小 | 小 | 小 | 小 | 小 | 小 |
| 宅 地 | | 極 小 | 小 | 極 小 | 極 小 | 極 小 | 極 小 | 極 小 | 極 小 | 極 小 | 極 小 |

注) 広葉樹（ブナ等）と針葉樹（スギ等）の保水力・水源涵養機能は同等と考えられる。

5. 土地利用と渴水緩和機能及び洪水調節機能との関係

(1) 土地利用と渴水緩和機能との関係

（降水の分配は）

地表に落下した水の一部は地表を流下し，そのまま河川流量となる。また，その一部は土壤に浸透する（浸透水）が，その浸透水の一部は土壤の毛管水の不足分を補うための毛管水となる（毛管水補給量）。

浸透水の一部は土層中を斜面に沿って流下（中間流）するが，そのあと湧出し，河川流量となる。また，その一部は樹木の生根，腐朽根，等で形成された土壤中の大きな間隙（非毛管孔隙）を流れ，その間隙から岩盤の切れ目を通して基岩中の水脈（地下水脈）に貯え（地下水補給量）られ，それが徐々に移動し，地表に湧出し，河川流量となる。

(地下水への補給の増強は)

岩盤の割れ目の量・質はその場所の特性で、それを人工的に改良(透水し易くすること)することは困難であるが、その岩盤の割れ目までの浸透水の補給ルートとしての大孔隙の量・質の改良は可能である(樹木の生根の発達、腐朽根(伐採、自然枯死木の根)、等に基づく大孔隙の形成である。)

その大孔隙の発達・衰退は地表を大きく攪乱するような伐採・造林以外では大差ないので、森林地の渇水緩和機能(地下水への補給能)は老齢林地、壮齢林地、幼齢林地、伐採跡地では同等と考えられる。

一方、草地・スキー場・ゴルフ場ではその造成工事の際、地下水への補給ルートが断絶されるとともに、その後の補給ルートの回復が見込めないので伐採・造林を繰り返す森林施業地とは根本的に異なり、地下水への補給力は低下し、渇水緩和機能が劣化する。

(2)土地利用と洪水調節機能との関係

壮齢林地で洪水調節機能が優れている理由はつぎのようなことが考えられる。

樹冠(上層木、下層植生)による遮断量及び蒸散作用に伴う土壌水(主として毛管水)の消失によって、土壌水分が減少する。すなわち、壮齢林の土壌水分はその他のものに比べて最も乾燥状態になる。ただし、その乾燥状態は樹根による毛管作用が及ぶ範囲であり、地下水脈までは及ばない(このことが、壮齢林でも渇水緩和機能が低下しない理由である。)

したがって、降雨初期の水量はその土壌乾燥を湿潤にするために利用されるので、流出にまわる水量が小さくなる。

また、森林地では草地、スキー場、ゴルフ場、裸地、宅地に比べて地下水への補給ルートが大きいので、地表流及び中間流になる水量が比較的小さい。

以上の総合的な作用によって、壮齢林では洪水調節機能として最も優れた状態となる。

(3)伐採地で洪水調節機能が低下する理由及び下流への配慮

降雨直前の土壌水分が壮齢林に比べて大きく(湿った状態)、その土壌が湿っていることと樹冠遮断量がなくなったことが洪水調節機能を小さくし、その重力水の増加が中間流等にまわり、洪水流量の増加となる。したがって、下流域で洪水災害が心配な場合はその点を考慮した森林伐採計画が肝要である。

6. 林種転換が保水力の悪化となったか（調査流域の概要と林況）

わが国では昭和30・40年代に多くの地域で広葉樹から針葉樹に林種転換したが、その林種転換による保水力の悪化となったかの検証を行なうが、調査流域の概要と林況を示す。

(1)調査流域の概要

そのためには長い間、気象、流量の観測が行なわれている森林流域とし、その調査流域は表-1の14流域である。

表-1 調査流域

| No. | 調査流域 | 位置 | 調査期間 | 面積(km ²) |
|-----|--------|---------|-------------|----------------------|
| 1 | 元村測水所 | 岩手県岩泉町 | 昭和25年～平成5年 | 142.0 |
| 2 | 平津戸測水所 | 岩手県川井村 | 昭和25年～平成5年 | 126.0 |
| 3 | 石淵ダム | 岩手県胆沢町 | 昭和29年～平成6年 | 154.0 |
| 4 | 目屋ダム | 青森県西目屋村 | 昭和35年～平成7年 | 171.58 |
| 5 | 花山ダム | 宮城県花山村 | 昭和33年～平成7年 | 126.9 |
| 6 | 鳴子ダム | 宮城県鳴子町 | 昭和33年～平成7年 | 210.10 |
| 7 | 漆沢ダム | 宮城県小野田町 | 昭和56年～平成7年 | 58.9 |
| 8 | 森吉ダム | 秋田県森吉町 | 昭和30年～平成7年 | 125.0 |
| 9 | 萩形ダム | 秋田県上阿仁村 | 昭和42年～平成7年 | 86.7 |
| 10 | 素波里ダム | 秋田県藤里町 | 昭和46年～平成7年 | 100.0 |
| 11 | 鎧畑ダム | 秋田県田沢湖町 | 昭和33年～昭和62年 | 320.3 |
| 12 | 桂沢ダム | 北海道三笠市 | 昭和33年～平成7年 | 151.2 |
| 13 | 幌加ダム | 北海道上士幌町 | 昭和41年～平成7年 | 69.1 |
| 14 | 上岩松ダム | 北海道新得町 | 昭和32年～平成7年 | 543.6 |

(2) 森林蓄積（＝広葉樹蓄積＋針葉樹蓄積）

I期の森林蓄積比を基準(100)とした場合の蓄積の経年変化は表－2のとおりである。

その変化の割合によって区分（表－2の備考欄参照）すると，変化（減少率）が大きい流域は元村・森吉・桂沢の3流域である。鎧畑流域もそれに準じた変化は認められるが，それ以外の流域での変化は小さいようである。

表－2 森林蓄積の変化状況（減少率）

| No. | 調査流域 | 森林蓄積（比） | | | | 森林蓄積 変化度合 | 備考 |
|-----|--------|---------|------|------|------|--------------|----------|
| | | I期 | II期 | III期 | IV期 | | |
| 1 | 元村測水所 | 100 | 97 | ▽ 75 | ▼ 70 | 中 | 10未満減： |
| 2 | 平津戸測水所 | 100 | 95 | 93 | 107 | 無 | 10～30減：▽ |
| 3 | 石淵ダム | 100 | 98 | ▽ 90 | 92 | 小 | 30～50減：▼ |
| 4 | 目屋ダム | 100 | 96 | 102 | △113 | 無 | 50以上減：★ |
| 5 | 花山ダム | 100 | 94 | 93 | 98 | 無 | 10未満増： |
| 6 | 鳴子ダム | 100 | 94 | 92 | 92 | 無 | 10～30増：△ |
| 7 | 漆沢ダム | | | | | | |
| 8 | 森吉ダム | 100 | 93 | ▽ 77 | ▼ 66 | 中 | |
| 9 | 萩形ダム | 100 | 97 | 97 | — | 無 | |
| 10 | 素波里ダム | 100 | 91 | 96 | — | 無 | |
| 11 | 鎧畑ダム | 100 | ▽ 82 | ▽ 74 | — | 小 | |
| 12 | 桂沢ダム | 100 | ▽ 85 | ▼ 66 | ▼ 66 | 中 | |
| 13 | 幌加ダム | 100 | ▽ 90 | ▽ 88 | — | 小 | |
| 14 | 上岩松ダム | 100 | △111 | 107 | 97 | 無 | |

注）森林蓄積（比）：I期の蓄積を100とした場合のII～IV期の比率を示した。

(3) 広葉樹蓄積

調査流域の広葉樹蓄積の変化は表-3に示した。

変化の程度により区分（表-3の備考欄参照）すると、広葉樹蓄積の変化が大きい流域は元村・森吉・鎧畑・桂沢の4流域であり、それ以外の流域での変化は小さい。

表-3 広葉樹蓄積の変化（減少率）

| No. | 調査流域 | 広葉樹蓄積（比） | | | | 広葉樹蓄積変化度合 | 備考 |
|-----|--------|----------|-------|-------|-------|-----------|----------|
| | | I 期 | II 期 | III 期 | IV 期 | | |
| 1 | 元村測水所 | 100 | 97 | ▼ 70 | ▼ 55 | 中 | 10未満減： |
| 2 | 平津戸測水所 | 100 | ▽ 89 | ▽ 82 | ▽ 78 | 小 | 10～30減：▽ |
| 3 | 石淵ダム | 100 | 98 | ▽ 87 | ▽ 84 | 小 | 30～50減：▼ |
| 4 | 目屋ダム | 100 | 95 | 97 | 101 | 無 | 50以上減：★ |
| 5 | 花山ダム | 100 | ▽ 89 | ▽ 83 | ▽ 80 | 小 | 10未満増： |
| 6 | 鳴子ダム | 100 | 90 | ▽ 84 | ▽ 80 | 小 | 10～30増：△ |
| 7 | 漆沢ダム | | | | | | |
| 8 | 森吉ダム | 100 | 93 | ▽ 74 | ▼ 59 | 中 | |
| 9 | 萩形ダム | 100 | 98 | 99 | — | 無 | |
| 10 | 素波里ダム | 100 | ▽ 85 | ▽ 86 | — | 小 | |
| 11 | 鎧畑ダム | 100 | ▽ 80 | ▼ 64 | — | 中 | |
| 12 | 桂沢ダム | 100 | ▽ 86 | ▼ 68 | ▼ 62 | 中 | |
| 13 | 幌加ダム | 100 | 93 | 93 | — | 無 | |
| 14 | 上岩松ダム | 100 | △ 117 | △ 119 | △ 110 | 無 | |

注) 広葉樹蓄積（比）：I期の蓄積を100とした場合のII～IV期の比率を示した。

(4) ブナ蓄積

調査流域のブナ蓄積の変化は表-4に示した。

変化の程度によって区分（表-4の備考欄参照）すると，ブナ蓄積の変化が大きい流域は元村・平津戸・森吉・鎧畑の4流域であり，それ以外の流域での変化は小さい。

表-4 ブナ蓄積の変化（減少率）

| No. | 調査流域 | ブナ蓄積（比） | | | | ブナ蓄積 変化度合 | 備考 |
|-----|--------|---------|------|-------|------|--------------|----------|
| | | I 期 | II 期 | III 期 | IV 期 | | |
| 1 | 元村測水所 | 100 | 94 | ▼ 70 | ▼ 54 | 中 | 10未満減： |
| 2 | 平津戸測水所 | 100 | ▽ 71 | ▼ 60 | ▼ 51 | 中 | 10～30減：▽ |
| 3 | 石淵ダム | 100 | 93 | ▽ 87 | ▽ 86 | 小 | 30～50減：▼ |
| 4 | 目屋ダム | 100 | 96 | 96 | 99 | 無 | 50以上減：★ |
| 5 | 花山ダム | 100 | ▽ 88 | ▽ 82 | ▽ 79 | 小 | 10未満増： |
| 6 | 鳴子ダム | 100 | ▽ 88 | ▽ 80 | ▽ 75 | | 10～30増：△ |
| 7 | 漆沢ダム | | | | | | |
| 8 | 森吉ダム | 100 | 92 | ▽ 74 | ▼ 60 | 中 | |
| 9 | 萩形ダム | 100 | 97 | 99 | — | 無 | |
| 10 | 素波里ダム | 100 | 92 | 93 | — | 無 | |
| 11 | 鎧畑ダム | 100 | ▽ 77 | ▼ 63 | — | 中 | |
| 12 | 桂沢ダム | — | — | — | — | — | |
| 13 | 幌加ダム | — | — | — | — | — | |
| 14 | 上岩松ダム | — | — | — | — | — | |

注）ブナ蓄積（比）：I期の蓄積を100とした場合のII～IV期の比率を示した。

(5) 林況変化の総合判定

森林蓄積，広葉樹蓄積及びブナ蓄積の変化の度合を総合し，林況の変化が著しい流域は元村・森吉・鎧畑・桂沢流域であり，一方，目屋・萩形・素波里・上岩松流域の林況変化は小さい流域であることが判定された（表－5）。

表－5 林況の変化の度合

| No. | 調査流域 | 森林蓄積 変化度合 | 広葉樹蓄 積変化度 合 | ブナ蓄積 変化度合 | 林況変化 総合判定 |
|-----|--------|--------------|-------------------|--------------|--------------|
| 1 | 元村測水所 | 中 | 中 | 中 | 中 |
| 2 | 平津戸測水所 | 無 | 小 | 中 | 小 |
| 3 | 石淵ダム | 小 | 小 | 小 | 小 |
| 4 | 目屋ダム | 無 | 無 | 無 | 無 |
| 5 | 花山ダム | 無 | 小 | 小 | 小 |
| 6 | 鳴子ダム | 無 | 小 | 小 | 小 |
| 7 | 漆沢ダム | | | | |
| 8 | 森吉ダム | 中 | 中 | 中 | 中 |
| 9 | 萩形ダム | 無 | 無 | 無 | 無 |
| 10 | 素波里ダム | 無 | 小 | 無 | 無 |
| 11 | 鎧畑ダム | 小 | 中 | 中 | 中 |
| 12 | 桂沢ダム | 中 | 中 | — | 中 |
| 13 | 幌加ダム | 小 | 無 | — | 小 |
| 14 | 上岩松ダム | 無 | 無 | — | 無 |

7. 広葉樹の伐採及び針葉樹の植林が保水力の悪化となったかの検証

林況変化総合判定の「中」は4流域あるが、その中から、元村・森吉流域を選び、広葉樹の伐採（減少）及び針葉樹への林種転換が保水力B（渇水緩和機能）の悪化となったかの検証を行なった。また、「小」の流域の中から平津戸・石淵流域を選び、その流域についても検証した。なお、「無」の目屋流域は林況の経年変化のみを示す。

(1) 元村流域の林況と流況との関係

昭和25年以降の林況の特徴を述べると、昭和30年代後半から広葉樹を伐採し、カラマツ等針葉樹を植えた流域である。その結果、昭和50年代後半から針葉樹蓄積が増え、将来は針葉樹が広葉樹を上回ることも予想される（図-4）。

この林種転換が河川流量にどの程度の変化をもたらしたかを調べたが、その方法は報告者の下記の論文によった（参考資料1）。

○石井正典(1996)：石淵ダムにおける流況と気象・林況の関係，日本林学会論文集，
第107号，327～330

用いた流況は大水量（1年の日流量の中で上位から50番目の値：50日流量），豊水量（95日流量），高水量（140日流量），平水量（185日流量），中水量（230日流量），低水量（275日流量），小水量（320日流量），渇水量（355日流量）の8流況である。

元村測水所流域は昭和25年から平成5年までの資料で解析したが、期間内の最大年降水量と最小年降水量を用いて、降水量の違いが8流況にどの程度の差となるかを調べた（図-5）。なお、同図の気温と森林蓄積は期間内の平均値を用いることによって、2変数の影響は消去してある。

同図から、降水量によって流況は大きな差が生ずることがわかった。すなわち、流況は寡雨年に比べて多雨年は常に大きい。

一方、広葉樹（ブナ）が大幅に減少したが、この減少によって流況がどの程度の影響を受けたかを調べた。森林蓄積は解析期間の最大値と最小値を用いたが、降水量と気温は解析期間の平均値を用い、2変数の影響は消去してある（図-6）。

同図から、流況の差は豊水量～平水量で認められるが、図-5の降水量と比べてその差は小さい。また、伐採による広葉樹の減少が保水力B（渇水緩和機能）の悪化に結びつかないことが確認されよう。むしろ、豊水量～平水量で流量が大きくなったことは伐採に伴う蒸発散量の減少と根系（伐根，新根）による浸透機能の増強とも受け取れる。

(2) 森吉ダム流域の林況と流況との関係

同流域での森林蓄積は後半に著しく減少した（図-7）が、その変化は広葉樹の減少に基づいて針葉樹の減少は若干であった。

同流域でも降水量によって流況が大きく影響を受けることがわかった（図-8）。

森林蓄積の減少（広葉樹、ブナも同様である。）は流況の増加に作用し、特に、渇水期（低水量～渇水量）の増加率が著しい（図-9）。このことから、同流域でも広葉樹の減少が保水力B（渇水緩和機能）の増強となり、「ブナ伐採の水枯れ説」は否定された。

その原因は森林の伐採に伴う蒸発散量の抑制が森林地の土壌中の毛管水の増加（湿った状態）となり、間接的に地下水脈へ重力水の補給量の増加に結びついたと考えられる。その地下水への補給ルート「みずみち」は伐根・新根によって増強されている。

(3) 平津戸測水所流域の場合

以前から針葉樹が数割含まれていることから、同流域では既に林種転換が行なわれた流域に見受けられ、昭和30年頃から二次的的林種転換が行なわれたと推察され、現在はカラマツ等針葉樹が優勢な林況となっている（図-10）。

降水量と流況との関係は明瞭であり、水枯れは寡雨年に、また豊水は多雨年にそれぞれ起こることが確認された（図-11）。

一方、大水量から小水量まで、森林蓄積と流況との関係は無視され、わずかに渇水量でその違いが認められた（図-12）。現在は森林蓄積が大きいことから、渇水量はやや小さいが、それは、森林の生長に伴う蒸発散量と遮断蒸発量の増加に基づくものである。同流域は寡雨地帯に位置するから、土砂災害の心配が小さいところを中心に更新を早めれば、保水力B（渇水緩和機能）の増大が見込める。なお、この流域も、森林の伐採が保水力Bの悪化に結びつかないことが確認された。

(4) 石淵流域の林況と流況との関係

同流域は過去から現在まで、広葉樹を主体とした流域であるが、一部で林種転換が行なわれ、広葉樹が漸減し、針葉樹が漸増している（図-13）。

降水量によって流況が大きく影響をうけることは前3流域と同様である（図-14）。

一方、森林蓄積による流況への影響は豊水量から小水量まで見受けられるが、その差は小さい（図-15）。また、広葉樹蓄積の減少が流況の増加となっていることから、ブナ等広葉樹の伐採が保水力Bの悪化に結びつかないの。むしろ、その伐採が保水力Bの増強とも受け取れる結果となったが、それは伐採に伴う蒸発散量の低下と根系（伐根・新根）の

透水機能の増強とも考えられる。

(5) 目屋ダム流域の林況の推移

同流域の森林蓄積，広葉樹蓄積，ブナ蓄積は解析期間で同等で，針葉樹がやや増加した例である（図-16）。

このような流域では，林況と流況との関係を調べる必要はなく，流況と気象との関係を調べれば良いが，その説明は省略した。

8. まとめ

以上の調査結果からつぎのことが言える。

(1) 広葉樹，針葉樹の区別なく，森林の伐採は保水力A（洪水調節機能）の低下となるが，保水力B（渇水緩和機能）の悪化とならない。

保水力A（洪水調節機能）の低下の原因は伐採に伴う蒸発散量の減少に基づいているが，保水力B（渇水緩和機能）の悪化にならない理由は蒸発散量の減少に伴う土壌の湿潤化（土湿不足が小さくなること。）と根系（伐根，新根）の透水機能の改良による。

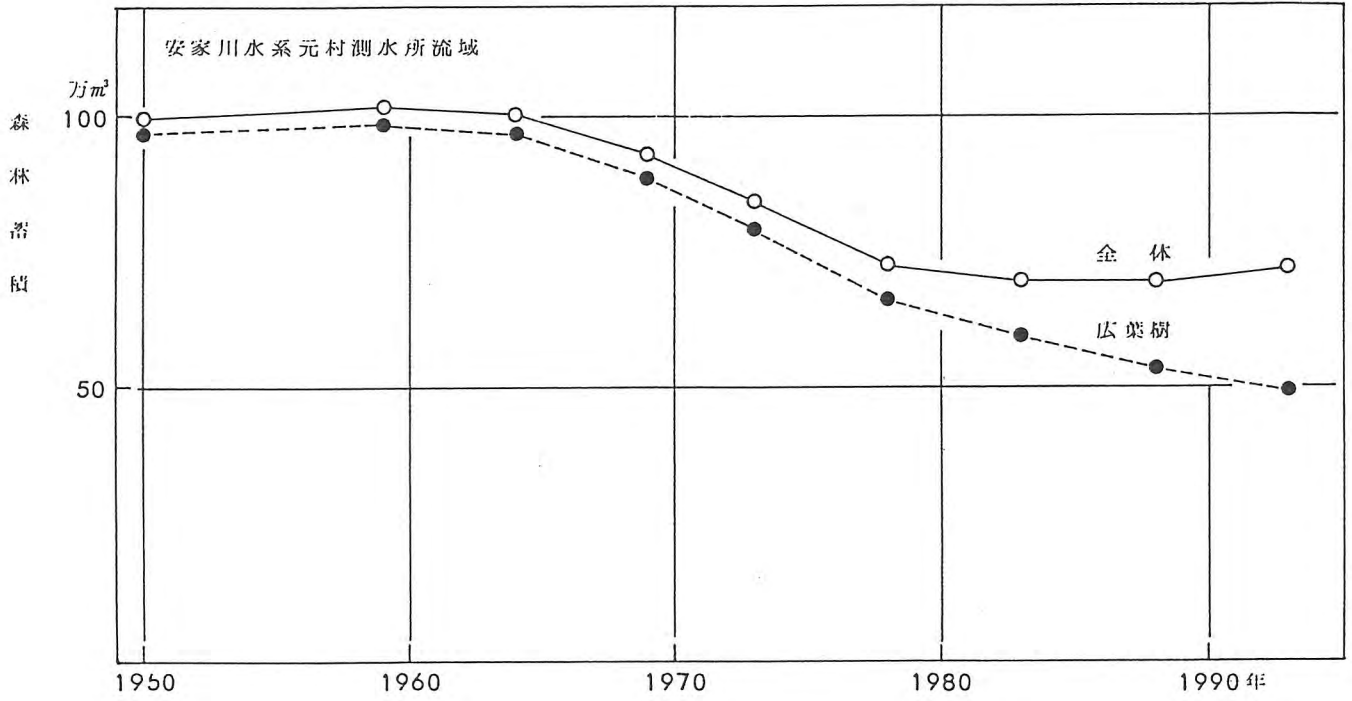
(2) 保水力A（洪水調節機能）を優先させる多雨地帯では蒸発散量が多い樹種（スギ，カラマツ等）を主体とし森林であることが望ましい。

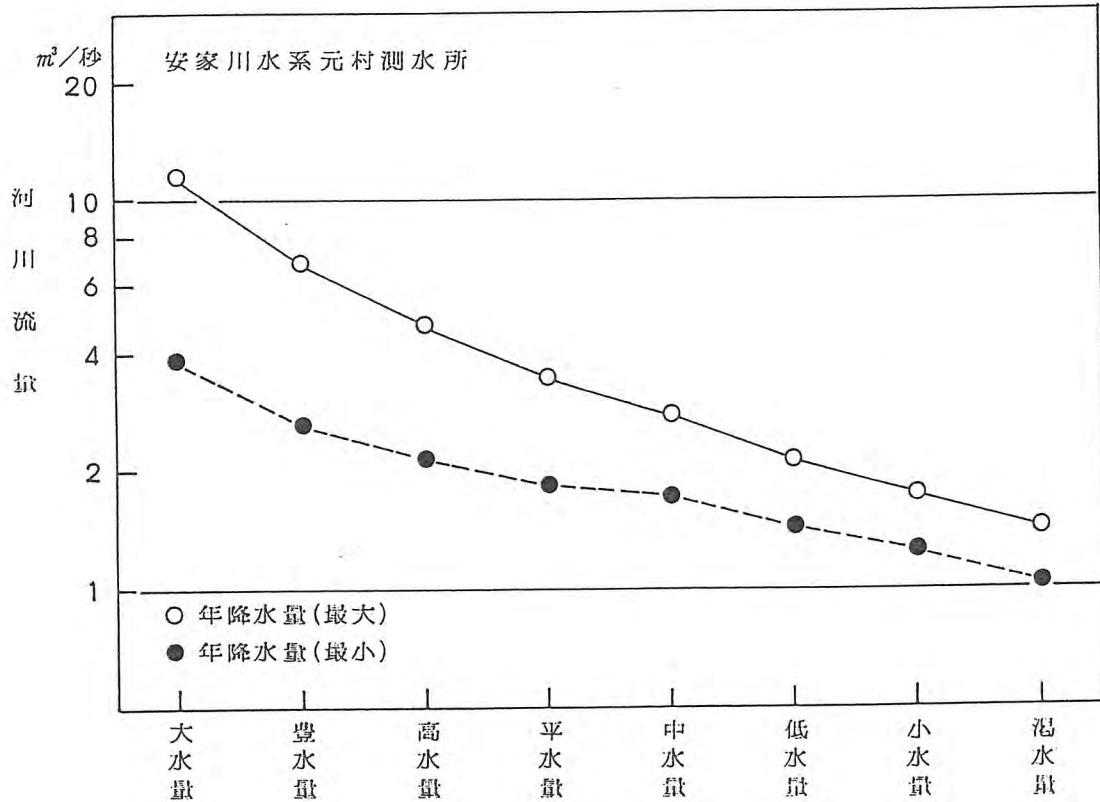
(3) 保水力B（渇水緩和機能）を優先させる寡雨地帯では蒸発散量が少ない樹種（ブナ）を主体とし森林か，短伐期による蒸発散量の総量規制が考えられる。

(4) 保水力Aと保水力Bを望むなら，下流部にはスギ・カラマツ等の生長の良い樹種を，上流部にはブナ等の生長の遅い樹種を主体にすると，両機能ともそれなりに発揮できる。

(5) 以上のことを青森県の岩木川について述べると，同川は多雨地帯で過去に度々豪雨災害が記録されている。その岩木川上流部に生長の遅いブナを主体とした森林を残す場合，下流部ではスギ・カラマツ等を植えて，上流部での保水力A（洪水調節機能）の劣りをカバーするのも一方法である。なお，目屋ダム（新津軽ダム）では上流部がブナ等保水力Aが小さい状況下にあるのでスギ・カラマツに比べてより大きな洪水調節がかかっている。その点の注意は怠らないよう希望し，報告を終わります。

図-4 元村流域の森林蓄積，広葉樹蓄積の推移





注) 大水量: 当年内を通じて, 50日これを下らない程度の流量 (単位m³/秒)
 豊水量: " , 95日 "
 高水量: " , 140日 "
 平水量: " , 185日 "
 中水量: " , 230日 "
 低水量: " , 275日 "
 小水量: " , 320日 "
 渇水量: " , 355日 "

図-5 元村流域の年降水量と流況との関係

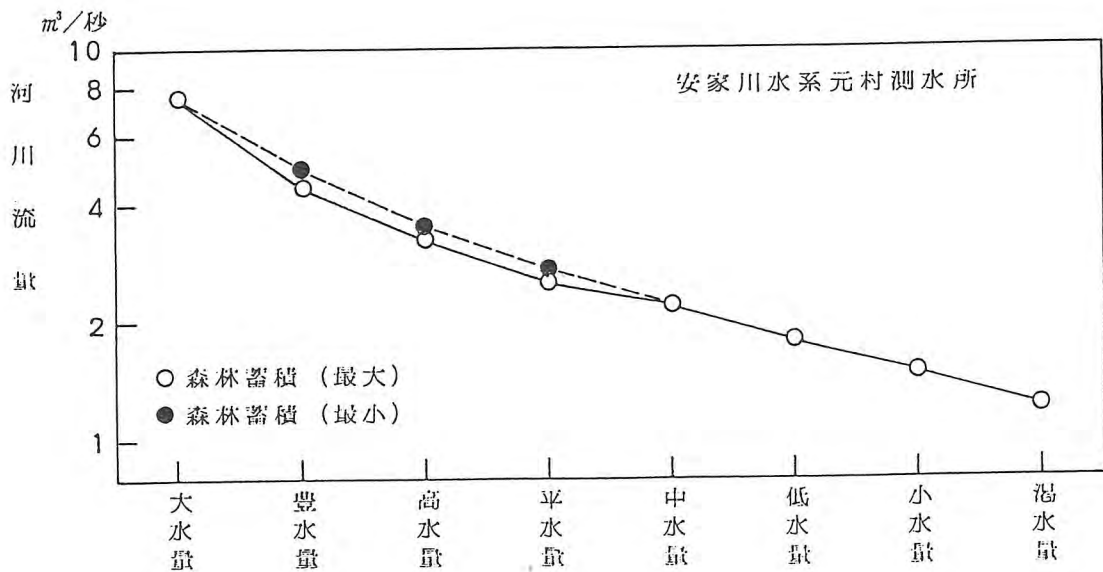
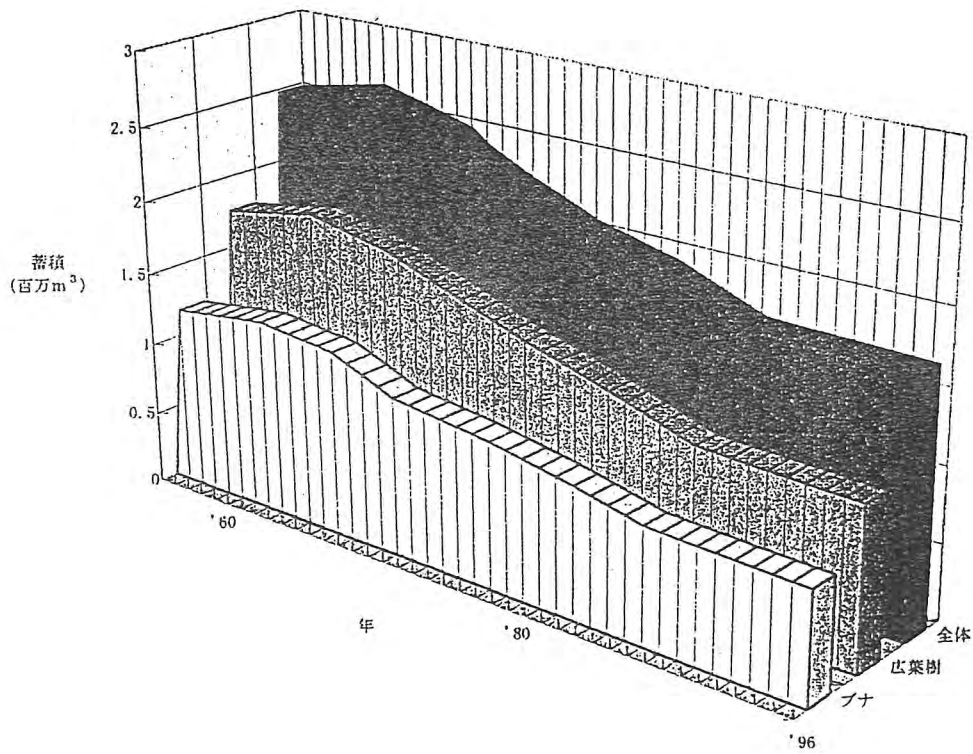


図-6 元村流域の森林蓄積と流況との関係

森吉ダム流域の蓄積状況



図一七 森吉流域の森林蓄積，広葉樹蓄積の推移（上段）

図一八 森吉流域の年降水量と流況との関係（下段）

年降水量が流況に及ぼす影響

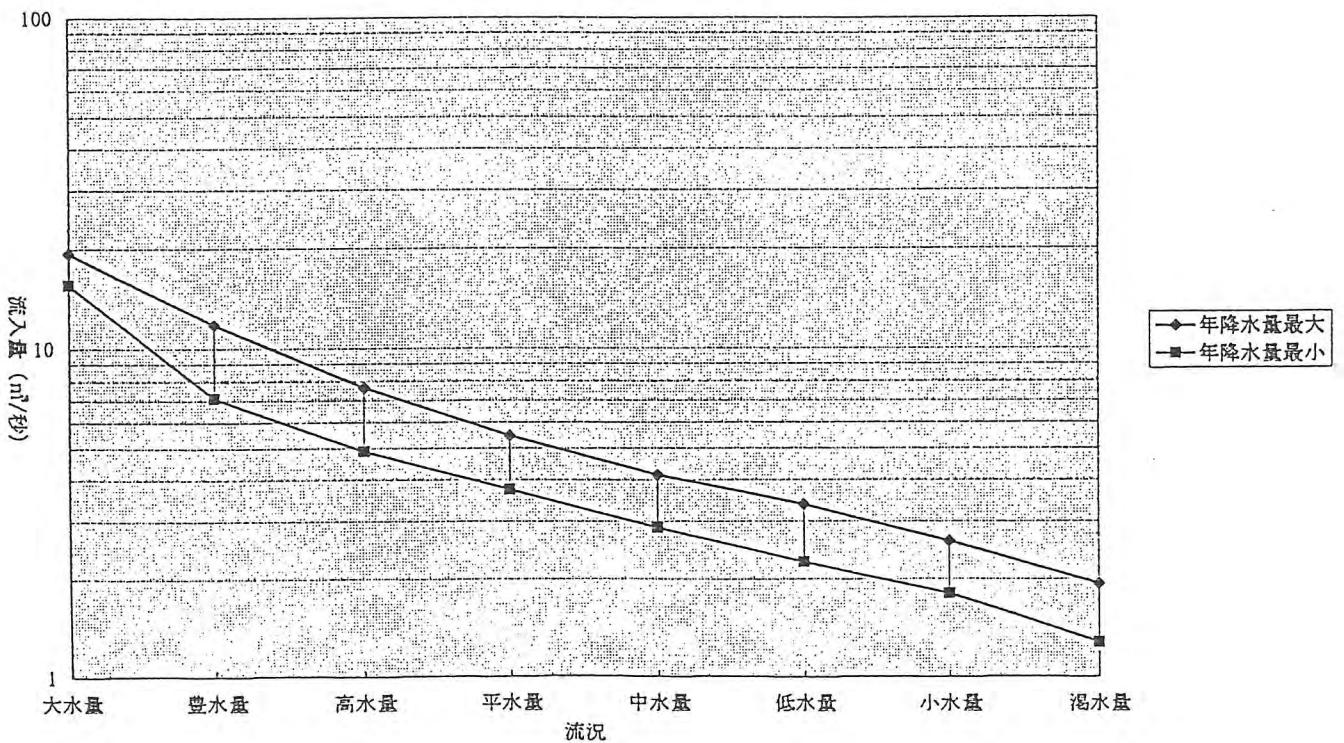


図-9 森吉流域の森林蓄積と流況との関係

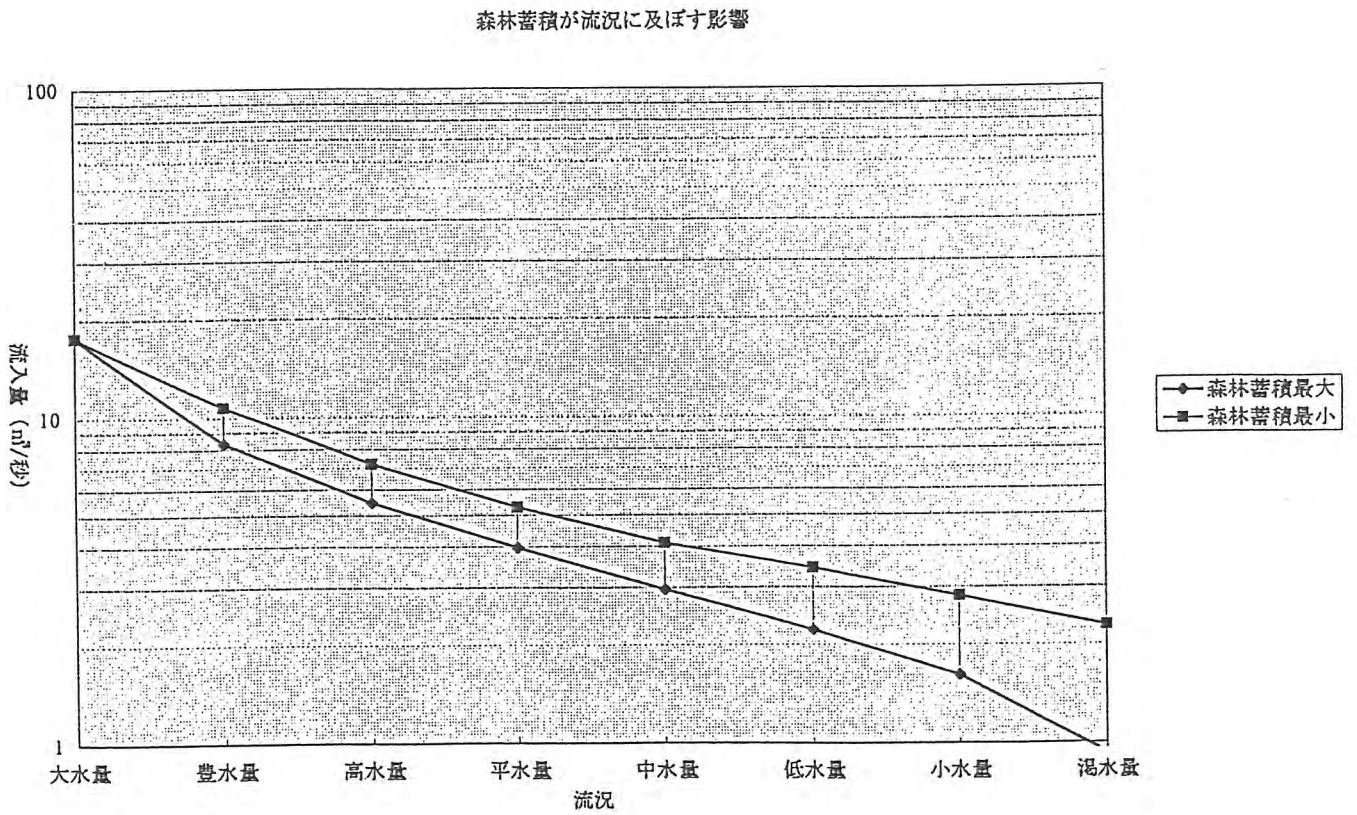
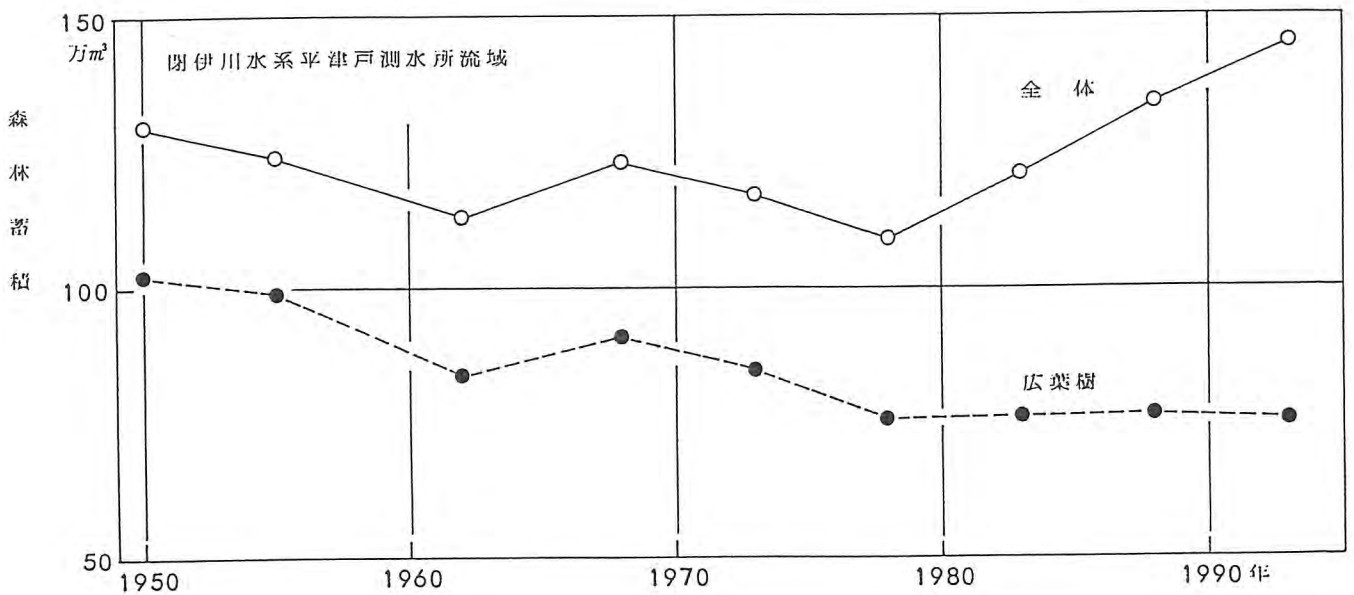


図-10 平津戸流域の森林蓄積，広葉樹蓄積の推移



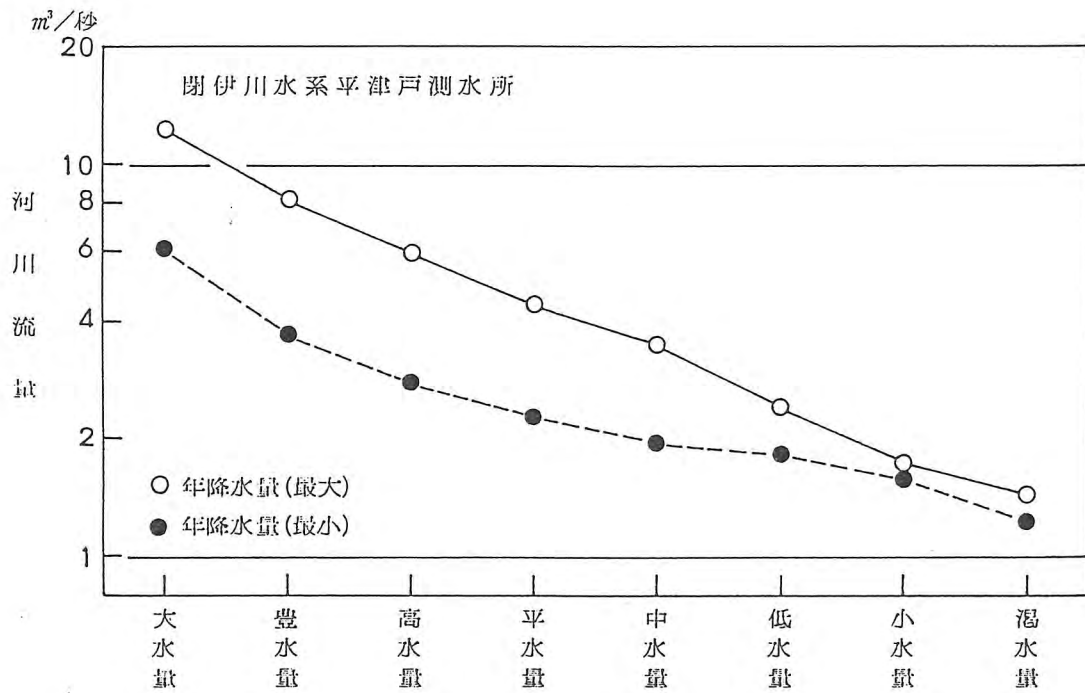


図-11 平津戸流域の年降水量と流況との関係

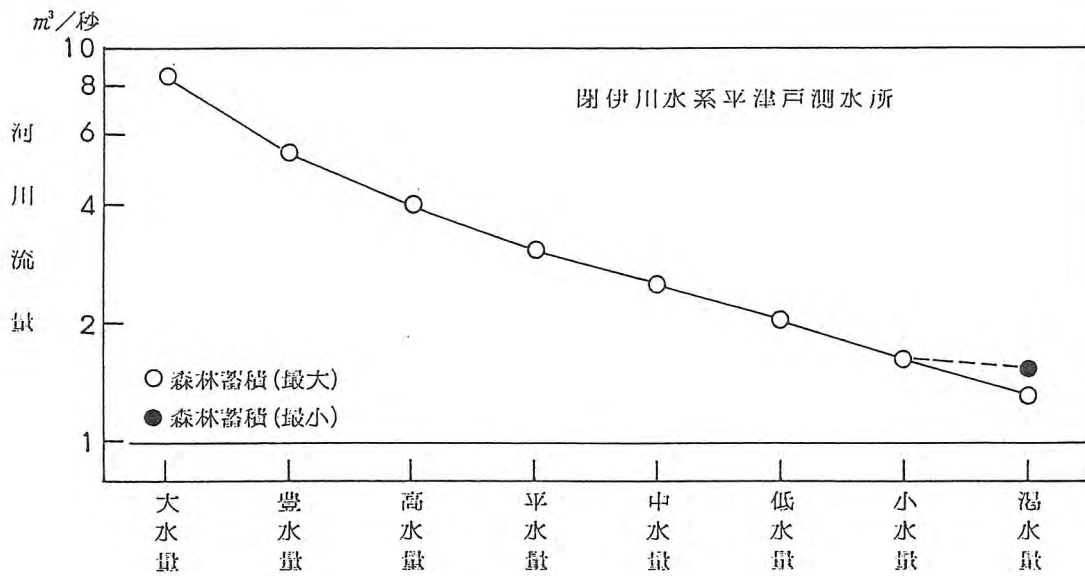


図-12 平津戸流域の森林蓄積と流況との関係 (下段)

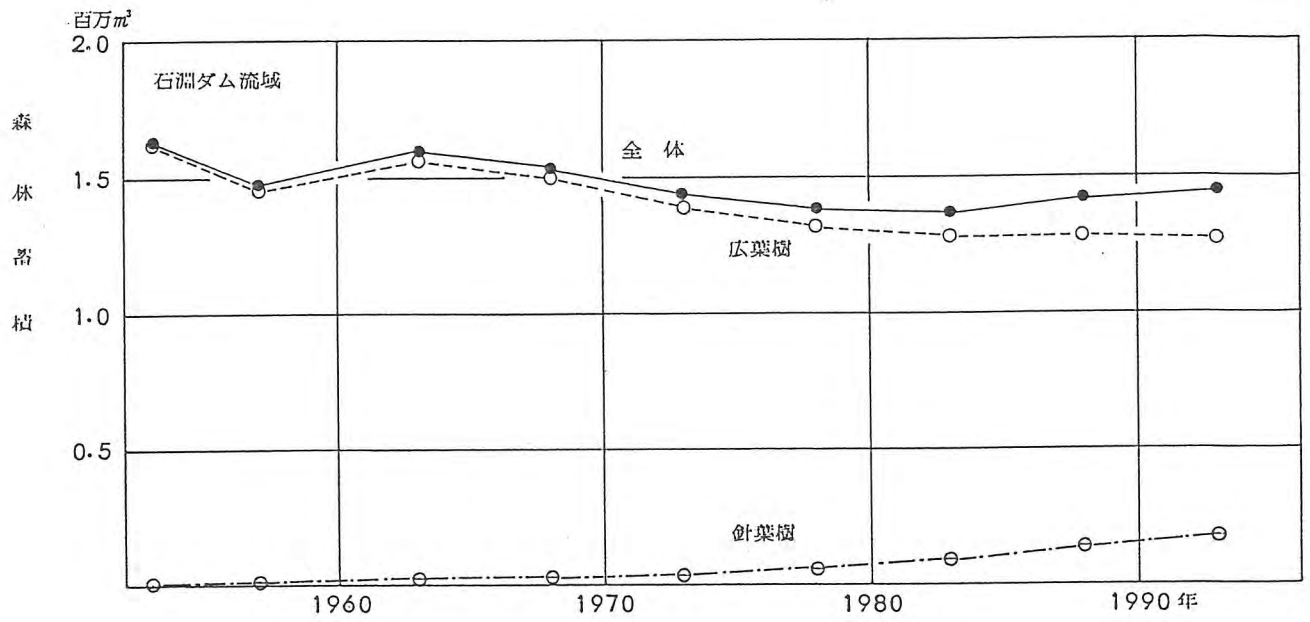
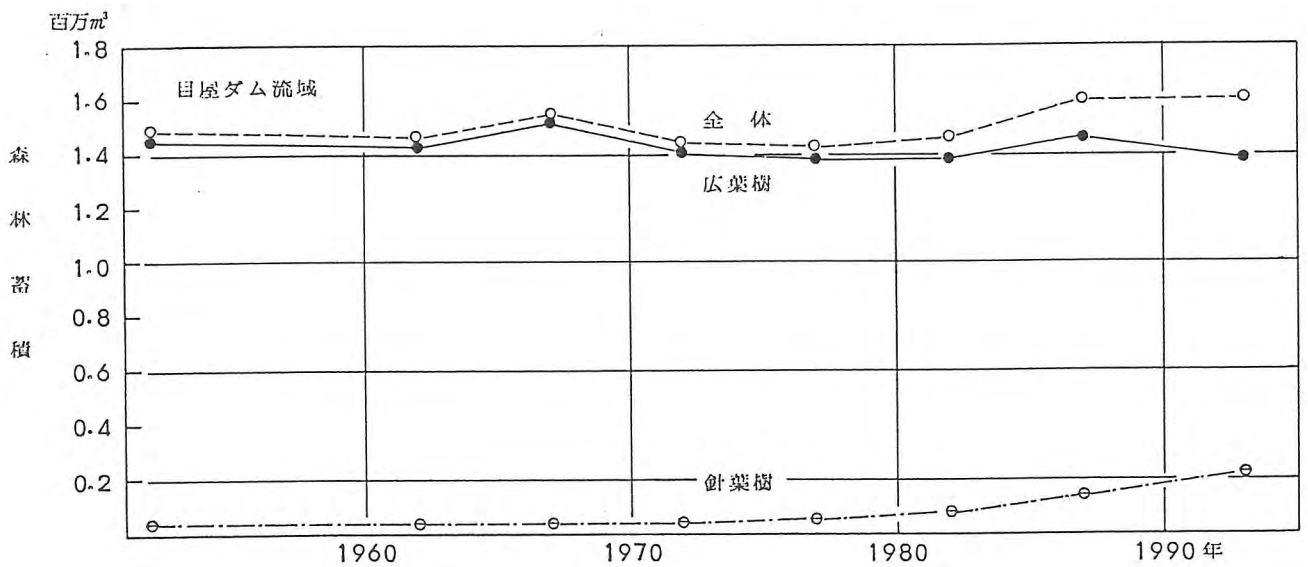


図-13 石淵流域の森林蓄積，広葉樹蓄積の推移（上段）

図-16 目屋流域の森林蓄積，広葉樹蓄積の推移（下段）



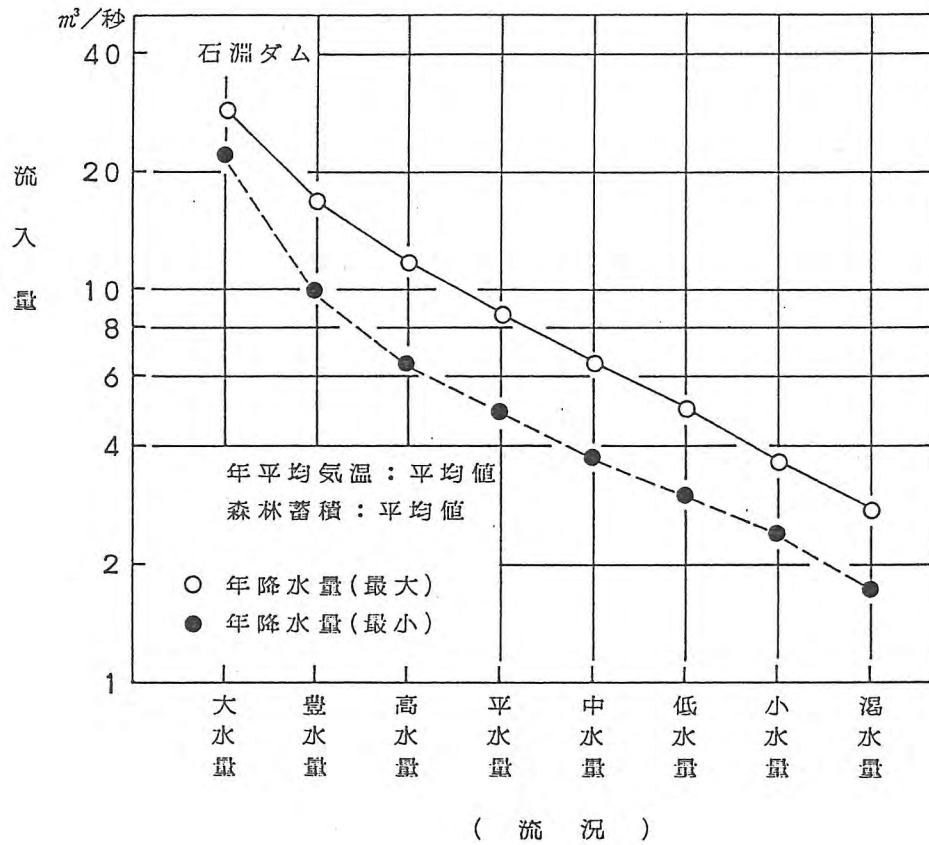


図-14 石淵流域の年降水量と流況との関係

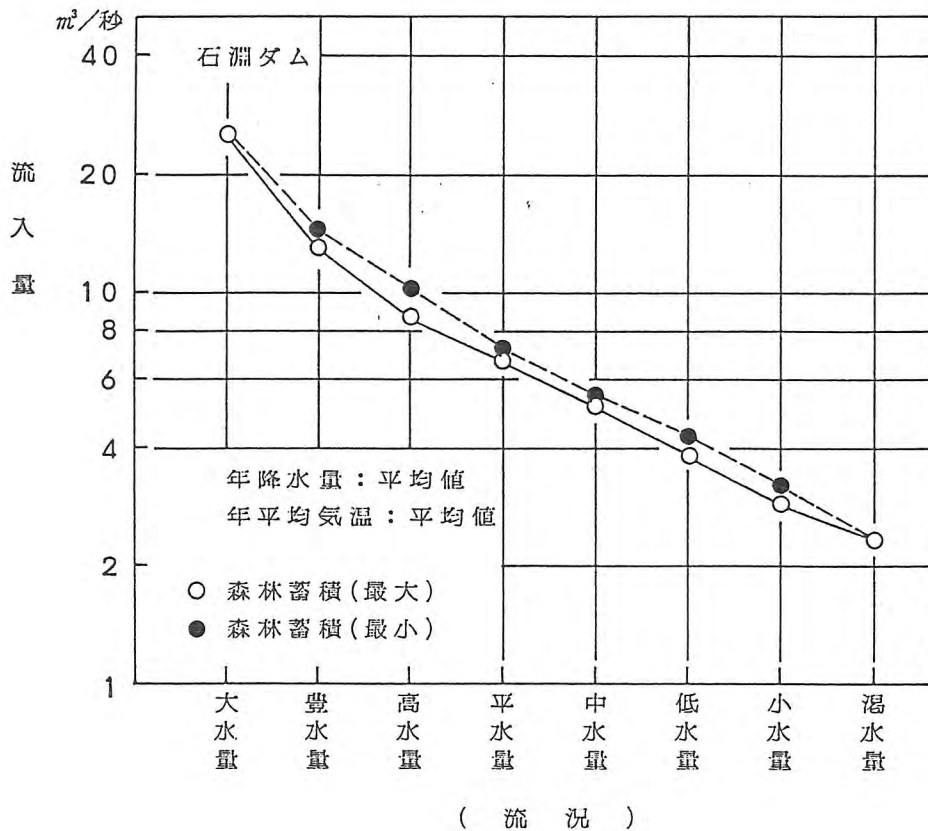


図-15 石淵流域の森林蓄積と流況との関係

論 文

石淵ダムにおける流況と気象・林況の関係

石井正典 (岩大農)

岩手県胆沢郡胆沢町内に位置する石淵ダムの気象・流況資料及び同流域内の森林蓄積の資料を基に、重回帰分析法によって、年降水量、年平均気温、森林蓄積の説明変数と流況(平均流量、豊水量、平水量、低水量、濁水量)の目的変数との関わりについて検討した。その結果、年降水量は流況との関わりが大きく、またそれに対する寄与が大きい、一方の年平均気温及び森林蓄積は流況への関わり及び寄与が小さいことがわかった。

I まえがき

わが国では昭和20年代以降、森林施業に大幅な変遷があった。その変遷に伴って水源山地の林況に変化をもたらしたが、その林況の変化が河川流量に影響を及ぼすことも考えられる。そこで、本研究は森林蓄積の違いが河川の林況にどの程度の影響を及ぼしたかを調べることにした。

林況と流況との関係を明らかにするには、当該流域の降水量、蒸発散量等の説明変数と流況との関係を明らかにすることが前提であり、本研究は、それらの関係を調べ、次いで気象・林況との関係を調べた。

解析方法は単回帰分析法及び重回帰分析法であり、解析対象は北上川水系胆沢川に設置されている石淵ダム(岩手県胆沢郡胆沢町)流域である。

本研究は石淵ダムでの流入量に基づく流況、気温及び降水量の資料は北上川ダム統合管理事務所から、また、森林蓄積等の林況資料は青森営林局及び水沢営林署から、それぞれ提供を受けたので、それに対し深謝します。

II 研究方法

解析に用いた流況(R , $m^3/秒$)は毎年の平均流量(R_m)、豊水量(R_1)、平水量(R_2)、低水量(R_3)、濁水量(R_4)である。

1. 単回帰分析 流況は降水量(P , mm)と一義的な関係にあると思われるが、その降水量は年降水量(p_y)が妥当か、夏期降水量(5~10月降水量、 p_s)が妥当かについて比較検討する。流況と年降水量または夏期降水量との関係を(1)式で調べるが、降水量は後述する方法でダム地点降水量から流域平均降水量を推定し、それを用いた。なお、(1)式の a は回帰係数、 d は定数項である。

$$R = ap + d \quad (1)$$

2. 重回帰分析A 流況は降水量以外に蒸発散量に影響を受けるものと推察される。そこで、年(夏期)蒸発散量を変数として解析することが望ましいが、その値は未知であるから、それに代わる変数として、本研究では平均気温(t , $^{\circ}C$)を用いる(1)が、その気温は年平均気温(t_y)または夏期平均気温(t_s)である。流況と降水量及び平均気温(平均標高:712m)との関係は(2)式で調べ

るが、平均気温はダム地点の値(標高:332m)に $0.6^{\circ}C/100m$ の気温低減率を考慮した。なお、(2)式の b は回帰係数である。

$$R = ap + bt + d \quad (2)$$

3. 重回帰分析B 本研究では、流況と年(夏期)降水量及び森林蓄積(w , $10^6 m^3$)との関係を重回帰分析で求めるが、その重回帰式は(3)式に示した。森林調査簿から5年毎の森林蓄積は得られるが、それ以外の中間年の森林蓄積は前後の森林調査簿の値を接分したものである。なお、(3)式の c は回帰係数である。

$$R = ap + cw + d \quad (3)$$

4. 重回帰分析C 上記の重回帰分析A・Bの解析結果をふまえて流況と年(夏期)降水量、年(夏期)平均気温及び森林蓄積の関係を重回帰分析で明らかにするが、その重回帰式は(4)式に示した。

$$R = ap + bt + cw + d \quad (4)$$

III 解析対象流域の概要

1. 石淵ダムの概要 石淵ダムは胆沢川と北上川との合流点から上流へ約25kmの地点に位置する(2)。同川はその源を奥羽山脈の焼石連峰に発し、胆沢平野を東流して水沢地先において北上川と合流する。

2. 石淵ダム流域の林況 流域内の森林は全て国有林で、それは水沢営林署管内の53~119林班である。流域面積は $154 km^2$ であるが、流域内の国有林面積は昭和28年と平成5年度で、それぞれ $14,563.67 ha$ 、 $14,542.70 ha$ である。流域の約94.5%が国有林であるから、流況の説明変数は気象及び林況に限定できる。

表-1の森林蓄積は、昭和28年、同32年、同38年、同43年、同48年、同53年、同58年、同63年及び平成5年度を期首とする森林調査簿から求めた値である。

昭和20年代の針葉樹の蓄積は極めて少なかったが、昭和30~40年代の林種転換により、平成5年での針葉樹の蓄積は12%とやや多くなった。

広葉樹の蓄積は昭和28年と平成5年でそれぞれ 1.624 、 1.269 百万 m^3 で、ダム運用開始当時に比べて最近の蓄積は22%減である。昭和28年と平成5年の広葉樹に占めるブナの割合は、それぞれ75、74%であるから、その系時

変化は小さい。

表-1. 針広別森林蓄積の推移

| 年 度 | 森林蓄積 (百万 m ³) | | | 針広比 % | ブナ 比% |
|-------|---------------------------|-------|-------|----------|----------|
| | 針葉樹 | 広葉樹 | 計 | | |
| 昭和28年 | 0.009 | 1.624 | 1.633 | 1:99 | 75 |
| 32 | 0.017 | 1.456 | 1.474 | 1:99 | 76 |
| 38 | 0.026 | 1.565 | 1.591 | 2:98 | |
| 43 | 0.030 | 1.502 | 1.532 | 2:98 | |
| 48 | 0.043 | 1.392 | 1.435 | 3:97 | 72 |
| 53 | 0.060 | 1.321 | 1.381 | 4:96 | |
| 58 | 0.094 | 1.277 | 1.371 | 7:93 | |
| 63 | 0.139 | 1.276 | 1.415 | 10:90 | 74 |
| 平成5年 | 0.181 | 1.269 | 1.450 | 12:88 | 74 |

3. ダム地点の降水量・気温・流況の概要 昭和29年から平成6年までの降水量, 気温及び流況を4期に分け, 年降水量・平均気温の平均値は表-2に, また, 流況の平均値は表-3に示した。

表-2. 年降水量及び年平均気温の平均値

| 期 間 | 年降水量 | 年平均気温 |
|------------------|---------|-------|
| I期(昭和29~昭和38年) | 1,986mm | 9.5℃ |
| II期(昭和39~同 48年) | 1,963 | 9.4 |
| III期(昭和49~同 58年) | 1,822 | 9.2 |
| IV期(昭和59~平成 6年) | 1,815 | 9.2 |
| 全期(昭和29~平成 6年) | 1,895 | 9.3 |

表-3. 流況の平均値 (単位:m³/秒)

| 期間 | 平均流量 | 豊水量 | 平水量 | 低水量 | 濁水量 |
|------|-------|-------|------|------|------|
| I期 | 12.66 | 13.60 | 6.94 | 3.95 | 2.33 |
| II期 | 12.75 | 13.88 | 7.22 | 4.38 | 2.61 |
| III期 | 13.18 | 14.65 | 6.97 | 3.94 | 2.13 |
| IV期 | 12.39 | 13.68 | 6.90 | 4.21 | 2.22 |
| 全期 | 12.74 | 13.95 | 7.00 | 4.12 | 2.32 |

表-2から, 後半(III・IV期)の年降水量は前半(I・II期)に比べて, 150mm程度小さい。また, 後半の年平均気温は前半よりやや低いので, 林況と流況の関係を調べるには, はじめに, 降水量・気温と流況の関係を明らかにする必要がある。なお, 年降水量が1,900mm前後で, これは岩手県内で多雨地帯に属す(3)。

平均流量の最大はIII期であるが, 表-2の降水量と比較すると, 降水量の多いことが流量の大きさに結びつかないので, 流量は降水量以外の変数(気温, 森林の状態, 等)にも影響を受けることを示唆する。

表-4には, 表-3の期間流況と全期流況との差を示した。同表から, 流況の期間変動は小さく, 流況の系時

変化は小さいことがわかる。

表-4. 期間流況と全期流況の差 (単位:m³/秒)

| 期間 | 平均流量 | 豊水量 | 平水量 | 低水量 | 濁水量 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| I期 | -0.08 | -0.35 | -0.06 | -0.17 | 0.01 |
| II期 | 0.01 | -0.07 | 0.22 | 0.26 | 0.29 |
| III期 | 0.44 | 0.70 | -0.03 | -0.18 | -0.19 |
| IV期 | -0.35 | -0.27 | -0.10 | 0.09 | -0.10 |

4. 流域平均降水量の推定 全期間の平均流量は12.74 m³/秒であるが, それに基づく全期間の平均年流出量は2,611mm/年である。また, 流域蒸発散量は未知であるが, それに代わるものとして, 本研究では(5)式による蒸発散能(I)を用いた。なお, (5)式のcは月平均日蒸発散能(mm/日), hは日平均気温に対する飽和絶対湿度(g/m³), である。

$$e = 0.19 h \tag{5}$$

同式による全期の平均年蒸発散能は630mm/年である。したがって, 全期平均流出量と全期平均年蒸発散能の和を全期平均降水量(1,895mm/年)で割ると, それは1.71となる。すなわち, ダム地点の年降水量の約1.7倍が流域平均年降水量となるので, 以下の解析ではダム地点の降水量の1.7倍を流域平均降水量と仮定し, 解析をすすめた。

IV 解析結果及び考察

1. 流況と年降水量との関係 単回帰分析による関係式は(6)~(10)式に示した。なお, 式中のrは(重)相関係数, αは有意水準(**印は1%有意, *印は5%有意, -印は有意差なし, を示す。)である。

$$R_m = 2.346p_y + 5.177, (r: 0.748, \alpha: **) \tag{6}$$

$$R_1 = 2.986p_y + 4.325, (r: 0.660, \alpha: **) \tag{7}$$

$$R_2 = 1.655p_y + 1.671, (r: 0.783, \alpha: **) \tag{8}$$

$$R_3 = 0.868p_y + 1.325, (r: 0.621, \alpha: **) \tag{9}$$

$$R_4 = 0.488p_y + 0.747, (r: 0.498, \alpha: **) \tag{10}$$

流況と年降水量との関係は全て1%有意であるから, 両者の関連は明瞭である。

次に, 流況と夏期降水量の関係式は(11)~(15)式に示した。濁水量と夏期降水量は5%有意で, それ以外の流況と夏期降水量の関係は1%有意である。

$$R_m = 3.139p_s + 6.639, (r: 0.753, \alpha: **) \tag{11}$$

$$R_1 = 4.401p_s + 5.398, (r: 0.732, \alpha: **) \tag{12}$$

$$R_2 = 2.276p_s + 2.583, (r: 0.810, \alpha: **) \tag{13}$$

$$R_3 = 1.161p_s + 1.866, (r: 0.625, \alpha: **) \tag{14}$$

$$R_4 = 0.497p_s + 1.354, (r: 0.382, \alpha: **) \tag{15}$$

以上の結果から, 年降水量が夏期降水量より流況の説明変数として優れているように見受けられるので, 以下

の検討では年降水量を基本的説明変数とし、それに伴って、平均気温も年平均気温を用いることとする。

2. 流況と年降水量・年平均気温との関係 重回帰分析 A による流況と年降水量及び年平均気温との関係式は(16)~(20)式に示した。

(16)~(20)式の有意水準の結果から、流況と年降水量・年平均気温との関連は明瞭である。

$$R_m = 2.375p_y - 0.733t_y + 10.216, (r:0.791, \alpha:**) \quad (16)$$

$$R_1 = 3.035p_y - 1.208t_y + 12.632, (r:0.722, \alpha:**) \quad (17)$$

$$R_2 = 1.662p_y - 0.164t_y + 2.796, (r:0.787, \alpha:**) \quad (18)$$

$$R_3 = 0.862p_y + 0.134t_y + 0.402, (r:0.629, \alpha:**) \quad (19)$$

$$R_4 = 0.483p_y + 0.110t_y - 0.010, (r:0.513, \alpha:**) \quad (20)$$

表-5には流況と説明変数との関連の度合を調べるために、偏相関係数及びその有意水準を示した。

同表から、年降水量は全ての流況に対して1%有意で、両者の関連は明瞭である。一方、平均流量及び豊水量では年平均気温が5%有意であるが、それ以外の流況では有意が認められない。すなわち、流量が少なくなるにつ

表-5. 偏相関係数及び有意水準 (A)

| 式 | 流況 | p _y | | t _y | |
|------|------|----------------|------|----------------|------|
| | | 偏相関係数 | 有意水準 | 偏相関係数 | 有意水準 |
| (16) | 平均流量 | 0.778 | ** | -0.386 | * |
| (17) | 豊水量 | 0.696 | ** | -0.390 | * |
| (18) | 平水量 | 0.787 | ** | -0.136 | - |
| (19) | 低水量 | 0.621 | ** | 0.134 | - |
| (20) | 濁水量 | 0.498 | ** | 0.142 | - |

れて気温との関連性は低くなる傾向がみられる。

3. 流況と年降水量・森林蓄積との関係 重回帰分析 B による流況と年降水量・森林蓄積との関係式は(21)~(25)式である。

$$R_m = 2.554p_y - 5.593w + 12.699, (r:0.782, \alpha:**), \quad (21)$$

$$R_1 = 3.272p_y - 7.696w + 14.675, (r:0.694, \alpha:**), \quad (22)$$

$$R_2 = 1.747p_y - 2.468w + 4.990, (r:0.796, \alpha:**), \quad (23)$$

$$R_3 = 0.943p_y - 2.024w + 4.047, (r:0.647, \alpha:**), \quad (24)$$

$$R_4 = 0.461p_y + 0.717w - 0.217, (r:0.507, \alpha:**), \quad (25)$$

(21)~(25)式の有意水準の結果から、各流況と年降水量・森林蓄積との関連は明瞭である。

表-6には、(21)~(25)式の偏相関係数及びその有意水準を示した。全ての流況に対して年降水量は1%有意であり、この結果は前項と同様である。一方、平均流量では森林蓄積が5%有意であるが、それ以外の流況では有意が認められないので、流況に対する森林蓄積の影響は小さいと思われる。

表-6. 偏相関係数及び有意水準 (B)

| 式 | 流況 | p _y | | w | |
|------|------|----------------|------|--------|------|
| | | 偏相関係数 | 有意水準 | 偏相関係数 | 有意水準 |
| (21) | 平均流量 | 0.782 | ** | -0.340 | * |
| (22) | 豊水量 | 0.694 | ** | -0.286 | - |
| (23) | 平水量 | 0.795 | ** | -0.237 | - |
| (24) | 低水量 | 0.647 | ** | -0.233 | - |
| (25) | 濁水量 | 0.464 | ** | 0.107 | - |

4. 流況と年降水量・年平均気温・森林蓄積との関係 重回帰分析 C による流況と年降水量・年平均気温・森林蓄積との関係式は(26)~(30)式である。

$$R_m = 2.548p_y - 0.650t_y - 4.735w + 16.013 \quad (26)$$

(r:0.813, α:**)

$$R_1 = 3.263p_y - 1.099t_y - 6.246w + 20.279 \quad (27)$$

(r:0.742, α:**)

$$R_2 = 1.746p_y - 0.123t_y - 2.306w + 5.169 \quad (28)$$

(r:0.799, α:**)

$$R_3 = 0.945p_y + 0.174t_y - 2.254w + 3.161 \quad (29)$$

(r:0.661, α:**)

$$R_4 = 0.462p_y + 0.100t_y + 0.585w - 0.727 \quad (30)$$

(r:0.519, α:**)

(26)~(30)式の有意水準の結果から、各流況と年降水量、年平均気温及び森林蓄積との関連は明瞭である。

表-7には流況と説明変数との偏相関係数及びその有意水準を示した。

表-7. 偏相関係数及び有意水準 (C)

| 式 | p _y | | t _y | | w | |
|------|----------------|------|----------------|------|--------|------|
| | 偏相関係数 | 有意水準 | 偏相関係数 | 有意水準 | 偏相関係数 | 有意水準 |
| (26) | 0.801 | ** | -0.360 | * | -0.308 | - |
| (27) | 0.718 | ** | -0.366 | * | -0.249 | - |
| (28) | 0.796 | ** | -0.104 | - | -0.221 | - |
| (29) | 0.653 | ** | 0.177 | - | -0.259 | - |
| (30) | 0.468 | ** | 0.128 | - | 0.087 | - |

同表から、年降水量は全ての流況に対して1%有意で、これは前節と同様である。一方、平均流量と豊水量では年平均気温が5%有意であるが、それ以外の流況では有意が認められない。さらに、森林蓄積は各流量で有意が認められない。

この節と前2節の結果と異なった点は、平均流量に対する森林蓄積の有意が認められないことである。すなわち、表-6の平均流量では森林蓄積が5%有意であったが、

表-7ではその有意が認められない。

この理由は、I・II期の森林蓄積がIII・IV期に比べて小さい(表1)ことと、I・II期の年平均気温がIII・IV期に比べて小さい(表-2)ことが考えられる。すなわち、それらの2変数の相乗効果が(21)式の平均流量では森林蓄積が有意に作用したものとされる。したがって、年平均気温と森林蓄積をそれぞれ独立した変数とした(4)式で解析することが、流況と説明変数の関わりをより明確にするものと思われる。

5. 流況に対する各変数の寄与の割合 流況に対して年降水量、年平均気温及び森林蓄積がどの程度の割合で寄与するか、(26)~(30)式からではわからない。

そこで、本節では(4)式を標準化した重回帰式に変換し、それを用いて流況に対する各変数の寄与の割合を比較した。すなわち、Rに対する p_y 、 t_y 及び w の寄与の割合を比較するために、(31)式を用いて検討する。なお、同式で、 R^* は標準化した流況、 p_y^* は標準化した年降水量、 t_y^* は標準化した年平均気温、 w^* は標準化した森林蓄積、 $a^* \cdot b^* \cdot c^*$ は標準偏回帰係数である。

$$R^* = a^* p_y^* + b^* t_y^* + c^* w^* \quad (31)$$

(31)式を用いて解析した流況の関係式は(32)~(36)式である。ただし、表-7の有意水準をみると、平均流量と豊水量では2変数が有意で、平水量、低水量及び渴水量では1変数が有意である。

$$R_m^* = 0.813p_y^* - 0.228t_y^* - 0.199w^* \quad (32)$$

$$R_i^* = 0.721p_y^* - 0.266t_y^* - 0.182w^* \quad (33)$$

$$R_z^* = 0.825p_y^* - 0.064t_y^* - 0.144w^* \quad (34)$$

$$R_s^* = 0.676p_y^* + 0.136t_y^* - 0.212w^* \quad (35)$$

$$R_k^* = 0.472p_y^* + 0.112t_y^* + 0.079w^* \quad (36)$$

解析結果の信頼性を考慮し、以下では、3変数のうち2変数が1%または5%有意である平均流量と豊水量について検討する。

(32)式から、年降水量、年平均気温及び森林蓄積の標準偏回帰係数の絶対値の比は、1.00, 0.28, 0.24である。このことから、平均流量に対する寄与の割合は年降水量を10とすると年平均気温及び森林蓄積は共に3以内と小さい。ただし、寄与の方向は降水量が平均流量に対して比例関係にあるが、気温及び森林蓄積は反比例関係にある。すなわち、降水量の増加は平均流量の増加に寄与するが、気温及び森林蓄積の増加は平均流量の減少に寄与する。

(33)式から、年降水量、年平均気温及び森林蓄積の標準偏回帰係数の絶対値の比は、1.00, 0.37, 0.25である。このことから、豊水量に対する寄与の割合は年降水量を10とすると年平均気温及び森林蓄積はそれぞれ4, 3以内である。ただし、寄与の方向は降水量が豊水量に対して比例関係にあるが、気温及び森林蓄積は反比例関係

にある。すなわち、降水量の増加は豊水量の増加に寄与するが、気温及び森林蓄積の増加は豊水量の減少に寄与する。なお、豊水量に対する平均気温及び森林蓄積の寄与の割合が平均流量より大きい、それは表-3の平均流量と豊水量からわかるように、豊水量が平均流量より大きいと推察される。

6. 用いた回帰式による流況の適合度 表-8には単回帰分析、重回帰分析A・B・Cを用いた場合の標準誤差を示したが、それらの標準誤差の記号は σ_E 、 σ_A 、 σ_B 、 σ_C である。また、同表には、全期間の流況資料に基づく流況の標準偏差(σ_0)も示した。

σ_0 を基準に、各流況の σ_E 、 σ_A 、 σ_B 、 σ_C を比較すると、降水量による各流況の向上がわかる。

表-8. 回帰式による流況の標準誤差(単位:m/日)

| 誤差 | 平均流量 | 豊水量 | 平水量 | 低水量 | 渴水量 |
|------------|------|------|------|------|------|
| σ_E | 1.13 | 1.90 | 0.72 | 0.60 | 0.46 |
| σ_A | 1.06 | 1.73 | 0.72 | 0.60 | 0.46 |
| σ_B | 1.08 | 1.79 | 0.71 | 0.59 | 0.47 |
| σ_C | 1.02 | 1.69 | 0.71 | 0.59 | 0.47 |
| σ_0 | 1.68 | 2.43 | 1.14 | 0.75 | 0.53 |

注) σ_0 : 全期間の流況資料に基づく標準偏差

平均流量と豊水量では3変数を用いた重回帰分析Cの標準誤差が最も小さく、降水量とともに年平均気温・森林蓄積の説明変数は無視できないようである。すなわち、河川流量が比較的大きい流況では、気温・森林の変数が無視できないが、このことから、降水量に加えて気温及び森林が蒸発散量に影響し、それが河川流量に反映することを示唆する。

平水量・低水量では降水量と森林蓄積の2変数を用いた重回帰分析Bの標準誤差が他の回帰分析の標準誤差より小さいか、同等である。このことから、平水量と低水量の推定には降水量と森林蓄積の2変数で良いようである。

上述の流況に比べて、渴水量の説明変数は降水量のみで良いようである。このことから、河川流量がかなり小さくなる流況では気温及び森林の影響は無視できることを示唆する。

引用文献

- (1)石井正典(1991)山地流域を対象とした蒸発散量の推定方法及びそれと林況との関係, 水文・水資源学会誌 4(3): 45~52.
- (2)東北地方建設局石淵ダム管理所(1962)石淵ダム工事報告書. 東北建設協会.
- (3)盛岡地方気象台(1966)岩手気候誌, 1~268.