

水源涵養機能の高度発揮に向けた
森林管理のあり方についての提言
～渇水発生地域における目標林型とは～



令和元年 8月28日
整備課業務管理班
藤田 聡(H12)

水源林造成事業について（参考）

目的

森林所有者の自助努力等による造林が困難な**奥地水源地域において水源を涵養するため**、国立研究開発法人森林研究・整備機構（森林整備センター）が分収造林契約の当事者となって、森林の造成を実施。

事業の内容

- (1) 対象地：**水源かん養保安林**等のうち無立木地、散生地、粗悪林相地等
- (2) 実施方法
 - ① 国立研究開発法人森林研究・整備機構（費用負担等）が、造林地所有者（土地提供）、造林者（造林の実行）と分収造林契約を締結。
 - ② 機構の費用負担の下、造林者が植栽から保育まで実施し、造林木の主伐収入を契約者間で分収。

事業の効果等

- (1) 沖縄県を除く46都道府県で約48万haの**水源林**を造成（神奈川県面積の約2倍）（契約件数 20,229件（平成29年度末））
- (2) これにより、年間約29億 m^3 の水を貯水

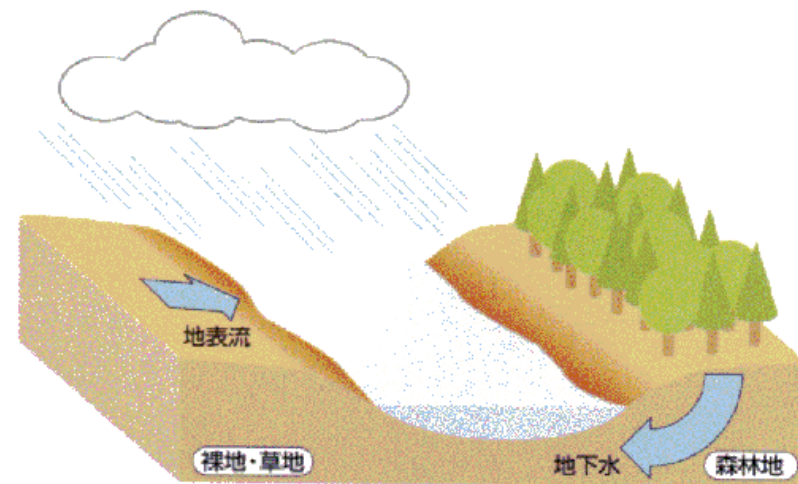
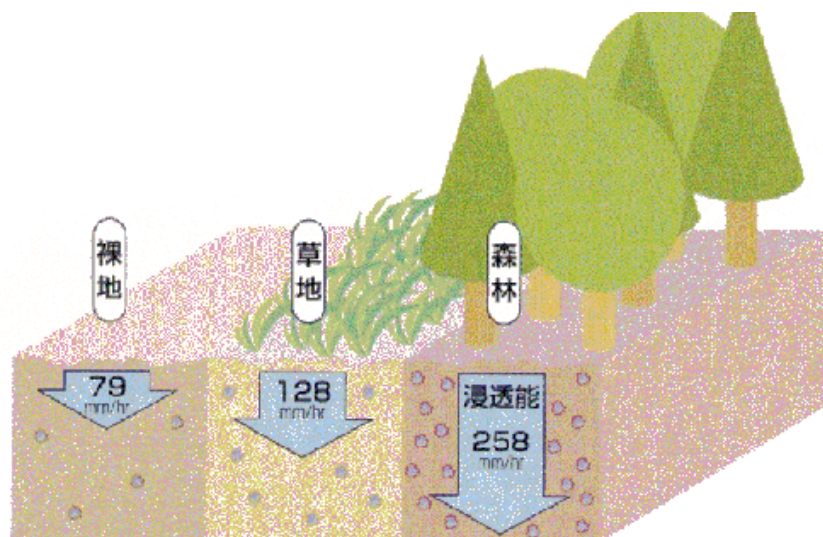


水源涵養機能とは

林野庁HPにおける説明

「水源涵養機能」

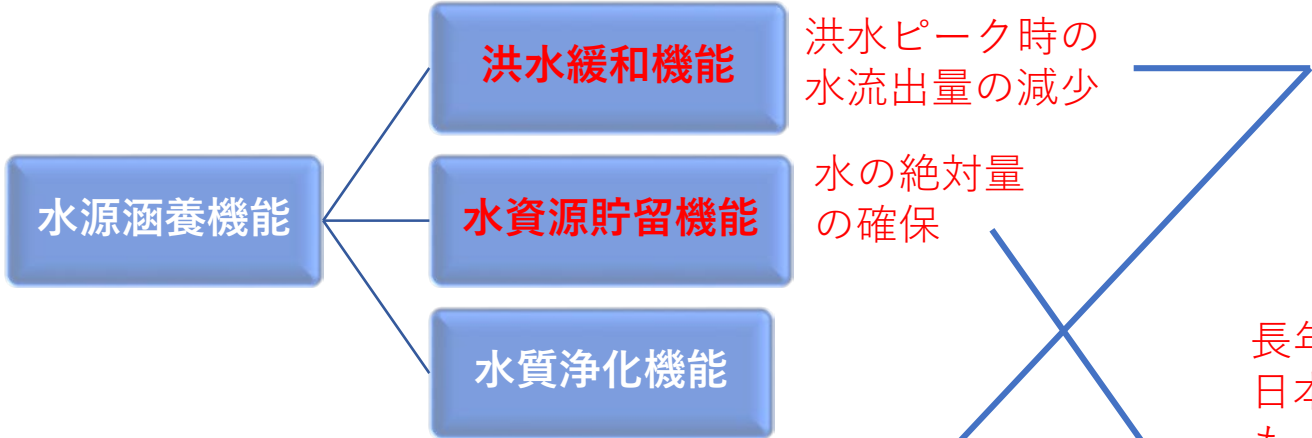
森林の土壌が、降水を貯留し、河川へ流れ込む水の量を平準化して洪水を緩和するとともに、川の流量を安定させる機能を持っています。また、雨水が森林土壌を通過することにより、水質が浄化されます。



※資料：村井宏・石崎勇作「林地の水及び土壌保全機能に関する研究」

日本学術会議の答申によると、森林の水源涵養機能には、洪水緩和機能、水資源貯留機能、水質浄化機能等の要素が含まれる。

日本学術会議の答申（平成13年11月）における分類

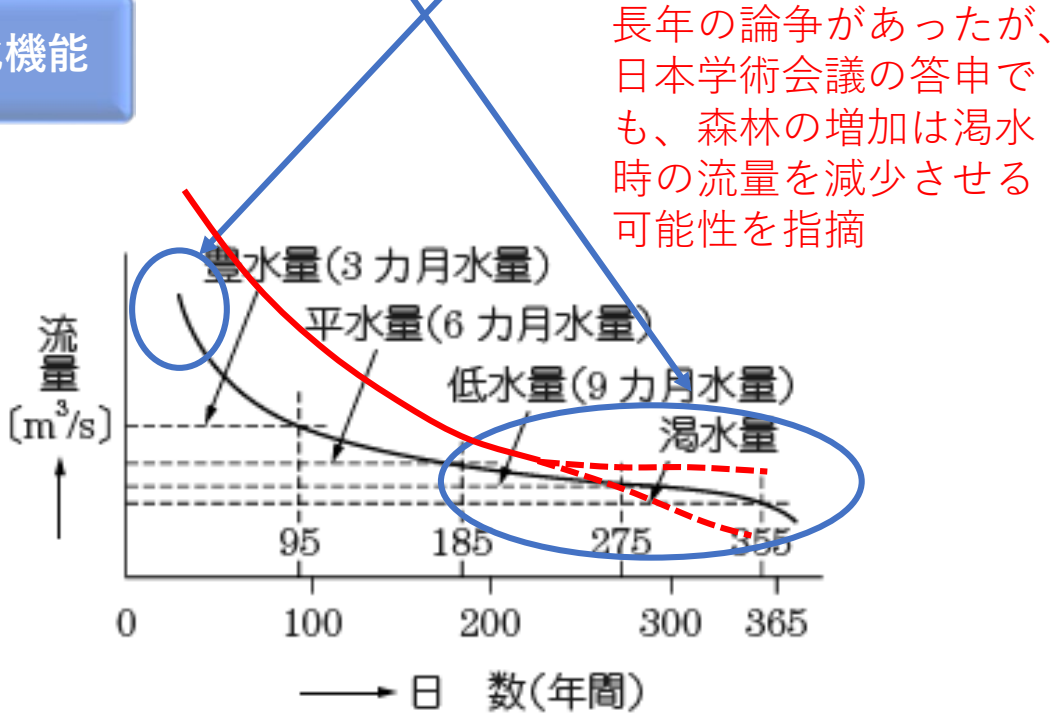


流況曲線

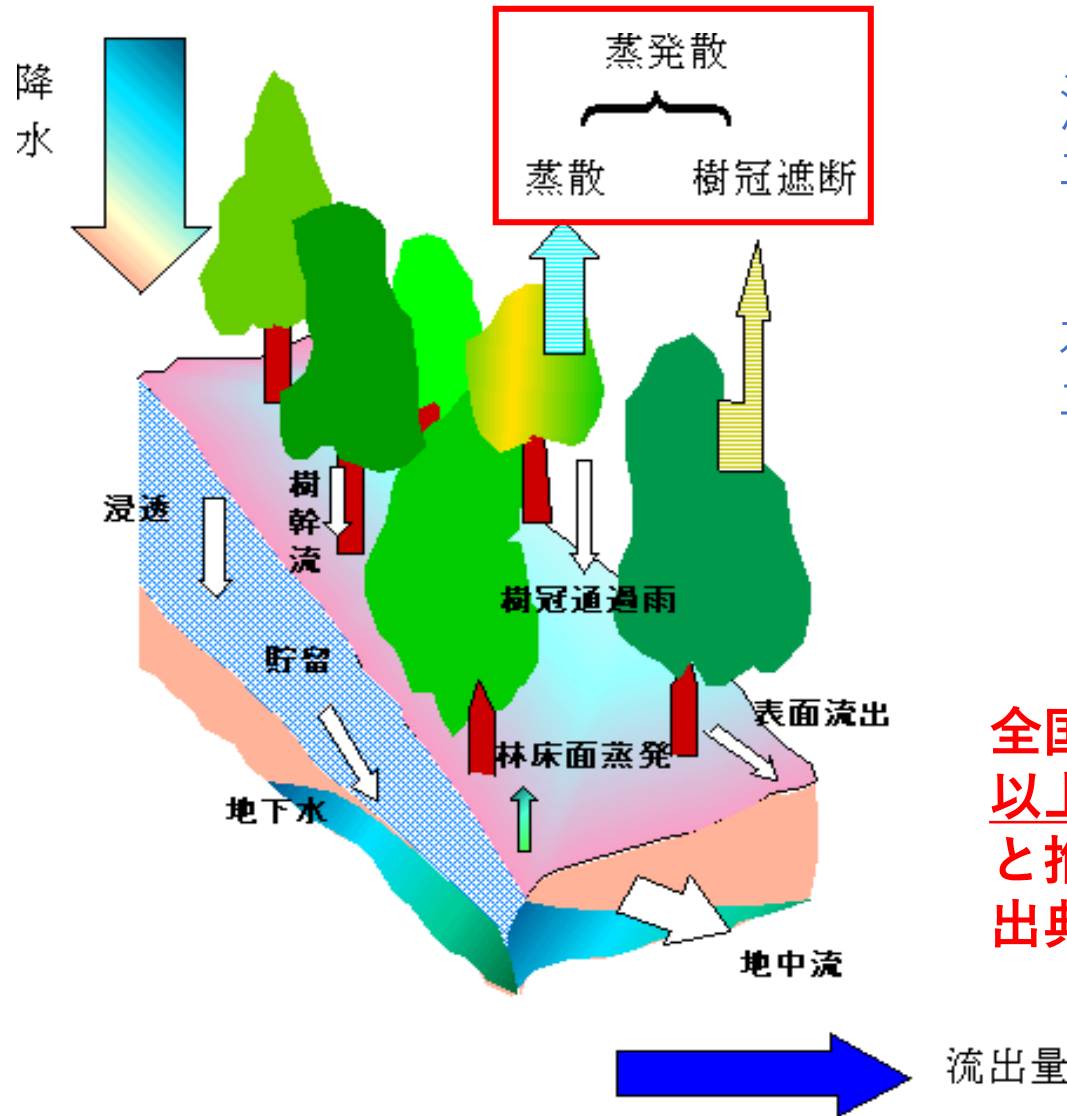
河川で流れる毎日の流量を、横軸を時間(日数)にとって、流量の大きいものから並べていくことで作図



量水堰



洪水緩和機能と水資源貯留機能



洪水緩和機能 =
平準化作用 + 蒸発散作用

水資源貯留機能 =
平準化作用 - 蒸発散作用

**全国平均で森林に降る降水量の1/3
以上が蒸発散により消費されている
と推測**

出典：国土交通省「日本の水資源」

森林流域における水循環の概念図

森林の水源涵養機能をめぐる論争（平田・山本論争）

昭和10年代に、岡山県下の溜池の貯水量と水源涵養保安林の関係をめぐり、農林省山林局代表の平田博士（森林気象学者）と岡山県庁林務課の山本技師（保安林担当）が激しく論争。

平田博士・「森林は渇水の時の水を増し、大雨の際の出水はこれを緩和し、流水の量を一様ならしめんとする傾向を持つ」

山本技師・「芝草山に森林を造成しても流量総量そのものは増えることはなく、却って減るはず」

溜池の貯水量調査が実施され、最終的には、平田博士が「雨の極めて少ないような場合には、森林の方が却って水の溜まりが悪いこともありうるとか、地表流下量だけを取り入れる溜池には、特に小雨地方においては森林の調節作用は有利であるとは言えない」

「森林の水源涵養機能に関する論争史」（国立林業試験場 遠藤泰造）より

「国土交通省河川局HPオピニオン 「緑のダム」が整備されればダムは不要か」

森林の果たす土砂流出防止、景観・リクリエーション機能は重要で価値の高いものだと考えられます。しかし、ダムの建設に代えて、森林の整備等による「緑のダム」で代替することは、以下のとおり、非現実的です。

(略)

○「緑のダム」による利水機能の代替は可能か？

森林の水源涵養機能については学説が定まっておらず、森林整備による効果の定量的な評価は困難ですが、森林の増加は樹木からの蒸発散量を増加させ、むしろ、渇水時には河川への流出量を減少させることが観測されています。

従って、利水機能の代替を森林の整備に求めることは適切とは考えられません。

洪水緩和機能と水資源貯留機能については、多くの場合にトレードオフの関係に。



【若い森林の成長】

森林による蒸散・樹冠遮断が増加。

洪水緩和機能 プラス

水資源貯留機能 マイナス



【成熟した森林の伐採】

森林による蒸散・樹冠遮断がなくなる。

伐採跡地は日当たり、風通しの向上により、地表からの蒸発量は増加。

洪水緩和機能 マイナス（例外あり）

水資源貯留機能 プラス（例外あり）

（大陸での広大な面積における森林の消失は別問題）



【森林の間伐】

森林による蒸散・樹冠遮断が減少。陽当たり、

風通しの向上により、地表からの蒸発量は増加。

下層植生が発達し、土壌浸透能が向上。

洪水緩和機能 プラスまたはマイナス

水資源貯留機能 プラス（例外あり）

世界各地の流域試験における機能評価

	処理タイプ	水流出量への影響	洪水への影響			濁水への影響		
			ピーク	洪水時流出	直接流出	基礎流出	濁水時流出	指標評価
アメリカ	コウィータ	B、D	×					
	ハッパードブルック	B、C	×					
	コーンクリーク	B	×	○	○	○		
イギリス	(ガイドライン)		×	△、○(植地)			△、×(下流)	
オーストラリア	マロンダ	B(山火事損失)、C	○(超高齢林)					
	カルア	B、C、D	×		○	×		
	ランラワンガロ	B、C	×			×		
ニュージーランド	グレンドフ	A	×	○	○		×	98%流出量
	モウテレ	A	×	○	○		×	ゼロ流出量日数
	ビッグブッシュ	B、D	×	○			×	連続7日間最小流出量
	マイマイ	B、D	×	○				
南アフリカ	ジョンカーズホーク	A、B(間伐)	×					
	ウェストファリア	B、D	×			×		
インド	グレンモルガン	A、D、E、D(樹身再生)	×	○			×	連続10日間流出量
台湾	蘆華池	B、D	×	○				
マレーシア	スンガイ・テカム	B、E	×	○				
	パレンブン	B、C	×					
	メンドロン	B、D	×	○、△		○、△	×	
日本	釜淵	B、D	×					
	狭山沢	B、D	×				×	
	白坂・東山	C	△				△	夏冬別最小日流出量
	江田島	C	×				×	日流出量1m以下の流出量
	裏筑波	D	△		△		△	355日(97%)流出量
	五條吉野	B、E	×	○			×	355日(97%)流出量

処理タイプ A:草地に植林、B:森林を伐採、C:森林の自然成長、D:植林木の生長、E:農地造成
 「森林の緑のダム機能とその強化に向けて」(東京大学蔵治教授)より



昭和初期のはげ山
(大阪府阪南市)

【過去の主な水害】

S20 枕崎台風(鹿児島) 犠牲者3,756人

S22 カスリーン台風(関東) 犠牲者1,930人

S28 南紀豪雨(和歌山) 犠牲者1,124人

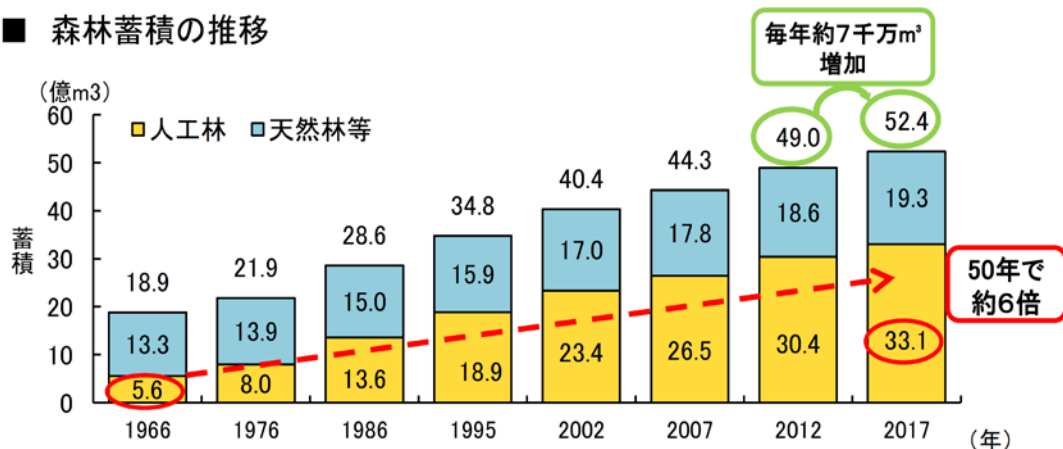
S33 狩野川台風(静岡) 犠牲者1,269人

狩野川台風



現在我が国の森林は近年にない蓄積量。土壌も回復し、洪水緩和機能が高度に発揮
(仮に同じ規模の台風豪雨があっても、洪水被害は大幅に軽減されると推測)

■ 森林蓄積の推移



逆に水資源貯留機能は大きく低下しているのでは??

水源林造成事業等評価技術検討会における指摘

- 水源林造成事業等評価技術検討会の委員からは、渇水発生地域における施業体系検討の必要性を指摘されている中、これまで特段の対応ができていない状況。

平成29年度水源林造成事業等評価技術検討会（平成30年3月6日） 岡田秀二委員（富士大学学長）

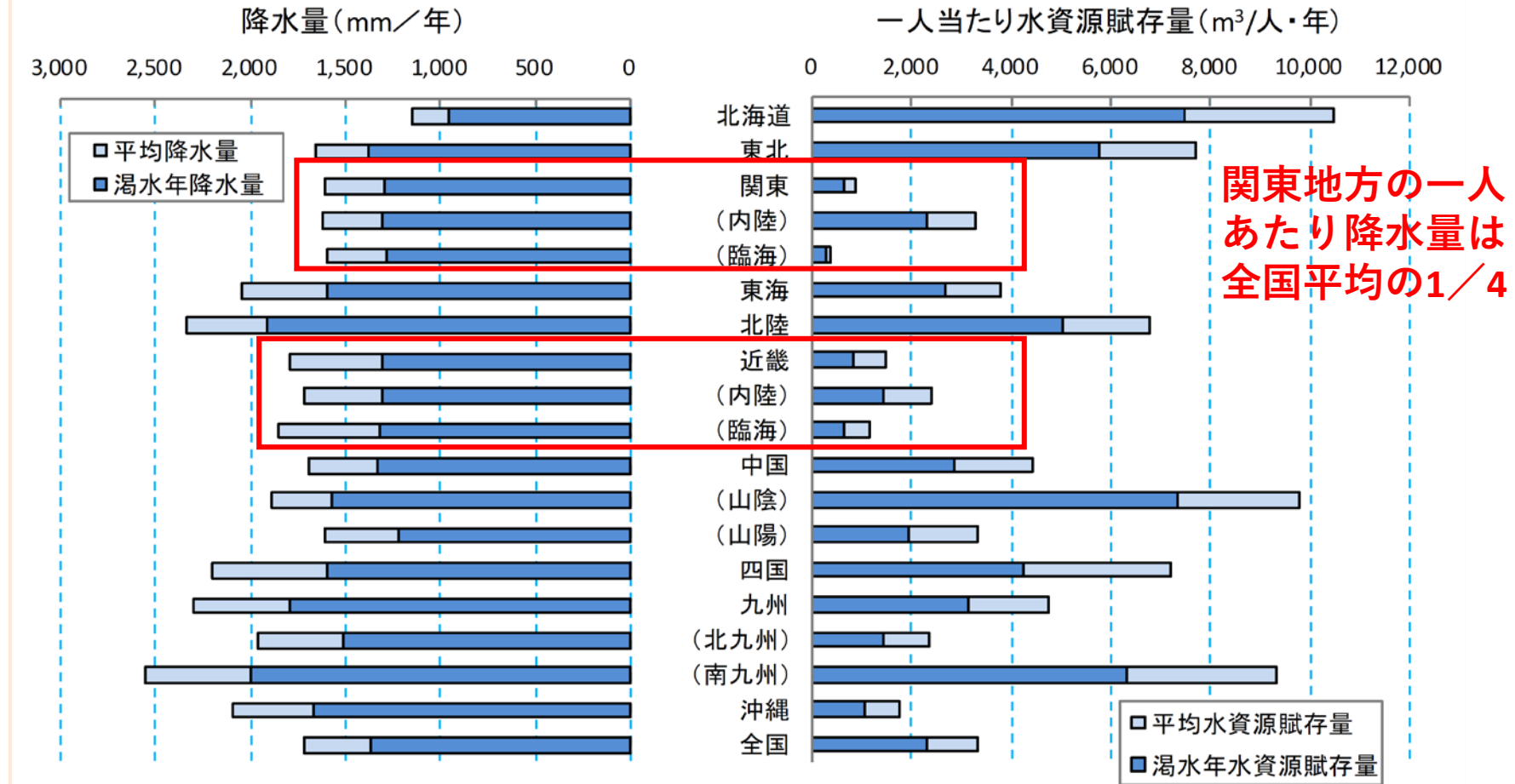
雨が降らない時期では、森林自身が水をたくさん消費するため、森林があることでむしろ貯水量や流量が大きく減っている。水が枯れるという事態が、ダムサイトや生活用水施設周辺で随分起こっている。水が枯れる地域については、逆にあまり森林が水を使わない施業等、多様性があるものも水源林造成事業ではしっかり考えていくべきではないか。

我が国における水の需給動向

地域別一人あたり降水量

○ 我が国の平均降水量は約1700mm。関東地方の降水量は全国平均とほぼ同じであるが、一人あたりで見ると、全国平均の1/4。首都圏に水不足が生じれば農業、工業、商業などあらゆる活動に影響、日本経済全体に影響が及ぶ恐れ（H6列島渇水では農業被害額1200億円）。

地位別降水量及び一人あたり水資源賦存量



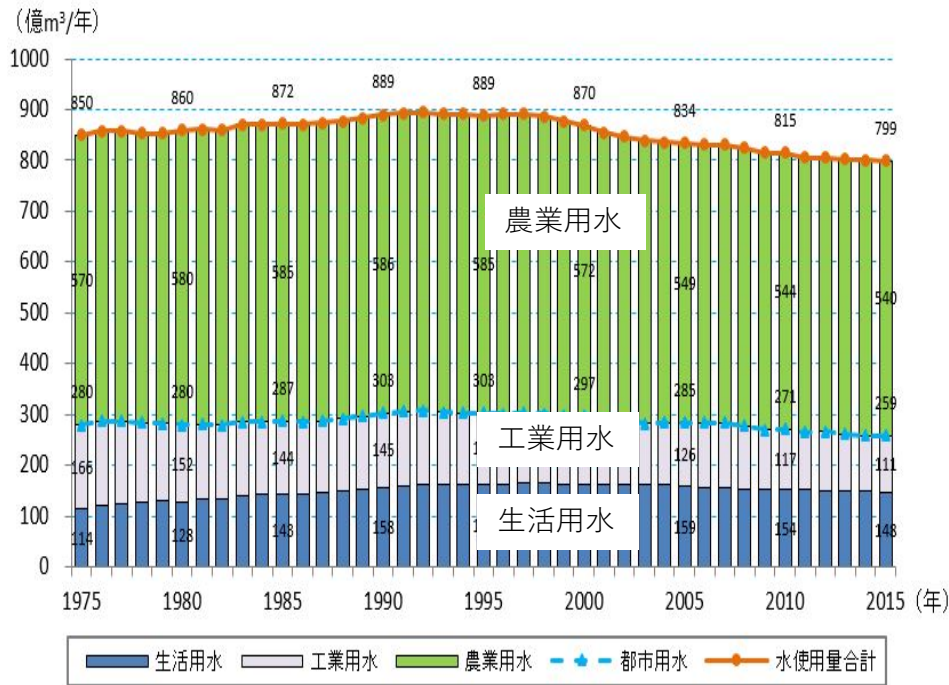
国交省資料より

東京に国内外から1000万人が訪れる東京オリンピック2020は大丈夫か？？

我が国の水消費動向

- 我が国の水消費に占める割合は、農業用水が約7割、生活用水が約2割、工業用水が約1割。
- 月別で見ると、灌漑期間が始まる4月～5月頃に水需要がピーク。

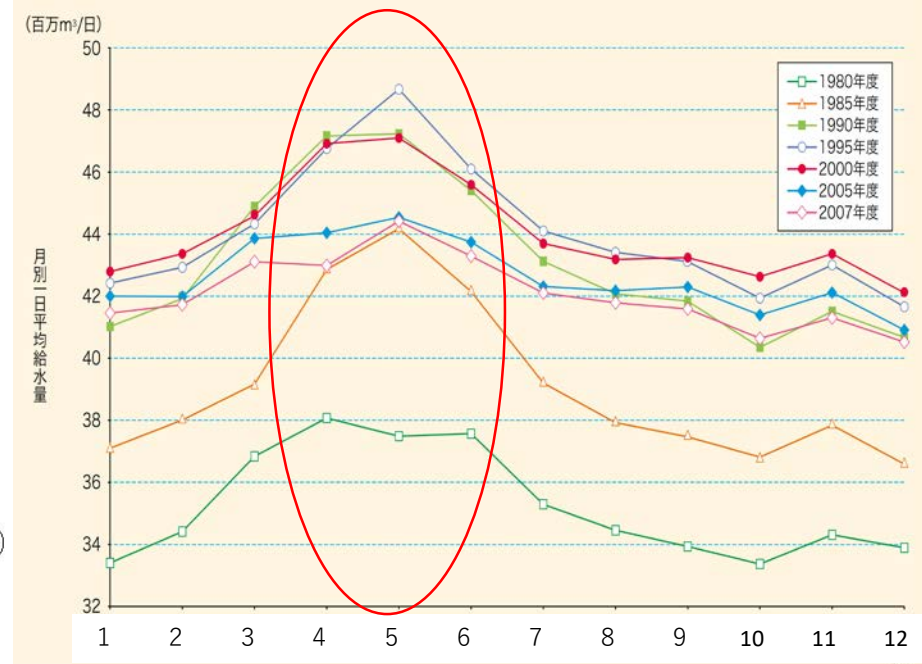
全国の水使用量の推移（国土交通省資料より）



全国の水使用量

水消費量は近年横ばいから微減で推移

全国の月別水使用量（国土交通省資料より）



5月頃にピークが来るが、季節による水消費量の差は減少傾向

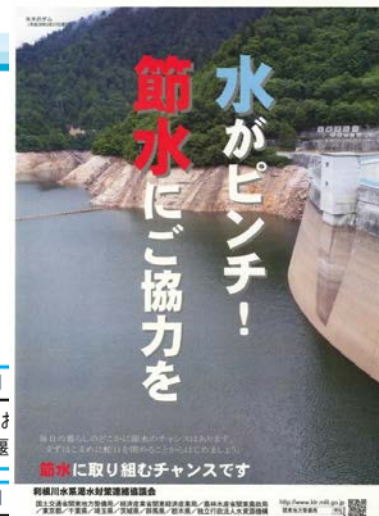
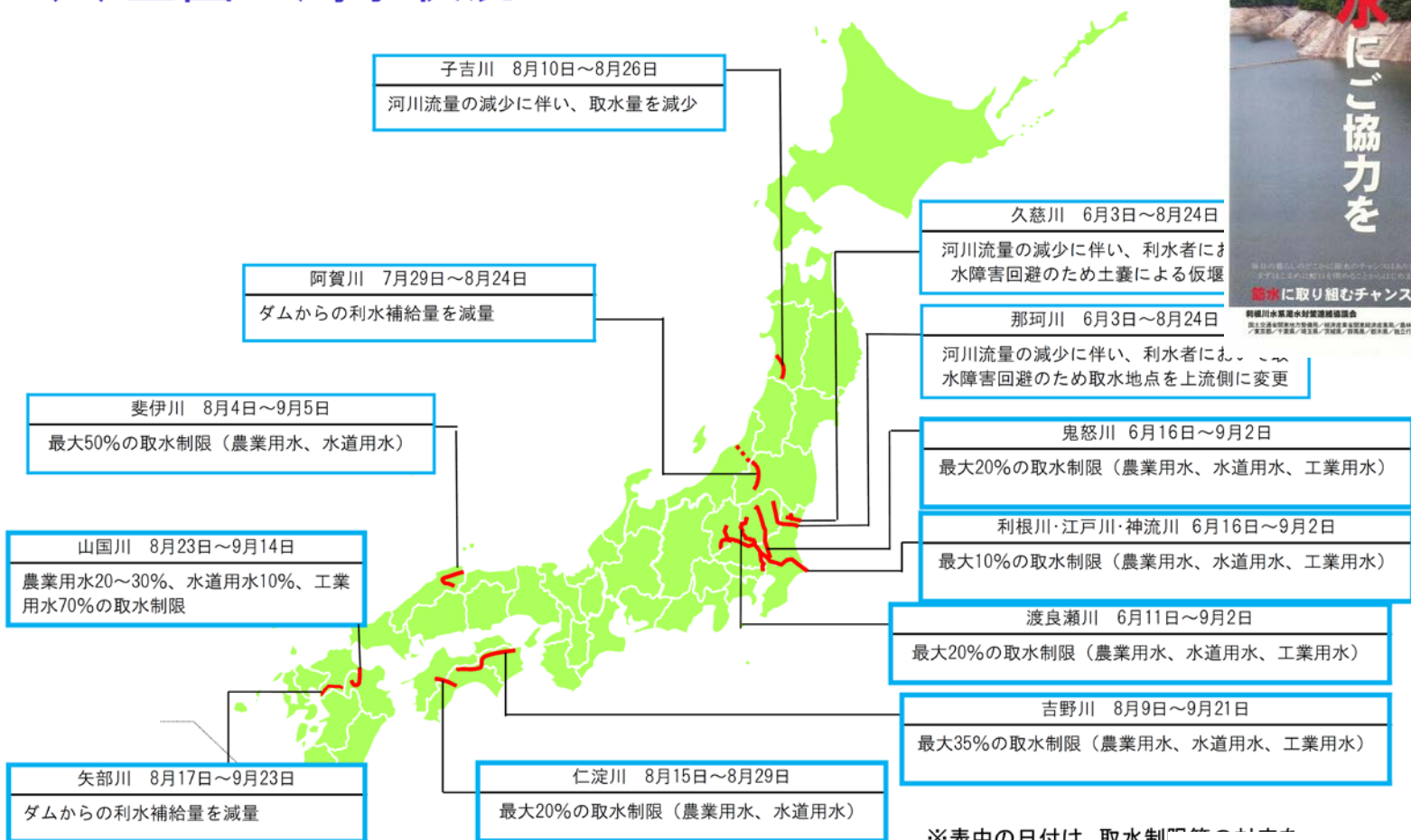
梅雨や台風シーズンの降水量のピークの前に、水需要のピーク

我が国における渇水の状況

○ 我が国では、深刻な水害が頻発する地域がある一方で、関東平野や瀬戸内のように、降水量が少ない中で水の大消費地を抱え、夏期にたびたび渇水が発生する地域が存在。

1. 平成28年渇水の概要

(1) 全国の渇水状況



※表中の日付は、取水制限が行っていた期間 国交省資料より

1. 平成29年渇水の概要

(2) 全国の渇水状況

平成29年に国管理河川で取水制限を行ったのは**12水系14河川**

※ 最大30%以上の取水制限を行ったのは8水系9河川

【平成29年に取水制限※1を行った国管理河川】

No	地整名	水系名	河川名	取水制限期間※2
1	関東	利根川	渡良瀬川	6/23 ~ 8/7
2			鬼怒川	7/6 ~ 8/10
3		荒川	7/5 ~ 8/25	
4	中部	矢作川	矢作川	7/25 ~ 8/8
5			木曾川	6/30 ~ 7/5
6			榑田川	6/22 ~ 8/9
7			宮川	6/22 ~ 8/9
8	中国	斐伊川	斐伊川	6/19 ~ 8/16 8/30 ~ 9/1
9	四国	吉野川	吉野川	6/17 ~ 9/19
10			銅山川	4/3 ~ 8/7
11		那賀川	4/1 ~ 4/13 6/3 ~ 6/21	
12		物部川	6/13 ~ 6/21	
13		重信川	7/1 ~ 8/9 9/12 ~ 9/19	
14	九州	嘉瀬川	嘉瀬川	9/7 ~ 12/28

①渡良瀬川 6月23日～8月7日

最大10%の取水制限
(水道用水、農業用水)

⑧斐伊川 6月19日～8月16日、
8月30日～9月1日

最大約50%の取水制限※
(水道用水、農業用水)

※出雲市上島地点での利水補給量を、
正常流量の約40%減としており、利水
者はその範囲内で取水

⑩銅山川 4月3日～8月7日

最大水道用水5%、
工業用水30%の取水制限

②鬼怒川 7月6日～8月10日

最大10%の取水制限
(水道用水、農業用水、工業用水)

③荒川 7月5日～8月25日

最大20%の取水制限
(水道用水、農業用水)

④矢作川 7月25日～8月8日

最大水道用水20%、農業用水30%、
工業用水40%の取水制限

⑤木曾川 6月30日～7月5日

最大水道用水5%、農業用水10%、
工業用水10%の取水制限※

※水道用水の全部及び工業用水の一部利水者にお
いては、他ダムからの補填により、実質的な取水
制限は生じない。

⑥榑田川 6月22日～8月9日

最大水道用水、農業用水、
工業用水全体で約30%相当の取水制限※

※ダムからの放流量を概ね30%減

⑦宮川 6月22日～8月9日

最大35%の取水制限
(農業用水)

⑨吉野川 6月17日～9月19日

最大35%の取水制限
(水道用水、農業用水、工業用水)

⑬石手川 7月1日～8月9日、
9月12日～9月19日

最大水道用水5%、農業用水22.2%、
かんがい用水10%の取水制限

⑫物部川 6月13日～6月21日

最大30%の取水制限
(農業用水)

⑪那賀川 4月1日～4月13日、
6月3日～6月21日

最大45%の取水制限
(農業用水、工業用水)

⑭嘉瀬川 9月7日～12月28日

最大水道用水10%、農業用水30%、
工業用水10%の取水制限

国土省資料より

1. 平成30年渇水の概要

(2) 全国の渇水状況

【平成30年に取水制限※1を行った国管理河川】

No	地整名	水系名	河川名	取水制限期間※2		
1	関東	利根川	渡良瀬川	6/29	～	8/21
2			鬼怒川	7/10	～	8/21
3	中部	天竜川	天竜川	12/25	～	継続中
4	四国	吉野川	吉野川	8/12	～	8/21
5	九州	嘉瀬川	嘉瀬川	3/16	～	5/8
6		山国川	山国川	8/30	～	9/10

平成30年に国管理河川で取水制限を行ったのは5水系6河川

※ 最大30%以上の取水制限を行ったのは2水系2河川

※1 本資料でいう取水制限とは、河川管理者が渇水に関する体制を執っている河川のうち、下記いずれかを満たす河川を指すものである。

①取水施設からの取水量が制限されている河川

②水源施設からの補給が減量されている河川

※2 一時解除期間を含む

⑥山国川 8月30日～9月10日

最大水道用水20%、農業用水30～40%、
工業用水75%の取水制限

⑤嘉瀬川 3月16日～5月8日

最大水道用水5%、農業用水5～30%、
工業用水5%の取水制限

④吉野川 8月12日～8月21日

最大20%の取水制限
(水道用水、農業用水、工業用水)

①渡良瀬川 6月29日～8月21日

最大20%の取水制限
(水道用水、農業用水)

②鬼怒川 7月10日～8月21日

最大10%の取水制限
(水道用水、農業用水、工業用水)

③天竜川 12月25日～継続中

最大水道用水10%、農業用水20%、
工業用水20%の取水制限

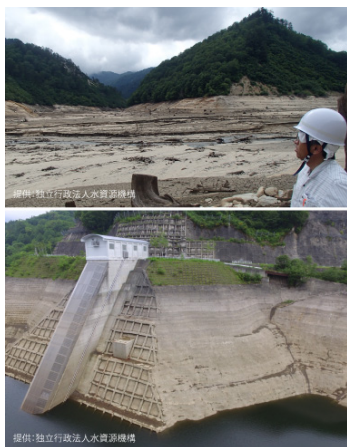
国交省資料より

毎年、渇水が発生する流域はほぼ同じであることが分かる

首都圏に水を供給する利根川水系・荒川水系の事例

- H28の利根川水系では、降雪量や春先の降雨量が少なく、水需要が増加する5月に河川流量が減少。矢木沢ダム（みなかみ町）等の貯水率は10%以下になる等、深刻な渇水が発生。
- H29の荒川水系では、1月～6月の降水量が平年の6割程度と少なく、春先の段階で貯水量が低下。水需要が増加する灌漑期に河川流量が減少し、7月に取水制限を実施。

利根川水系の渇水（平成28年度）

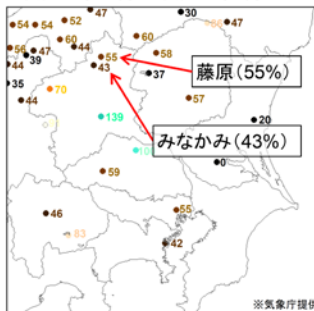


水需要が増大する
春先に貯水量が減少し、渇水が発生

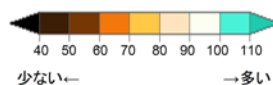
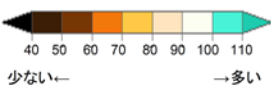
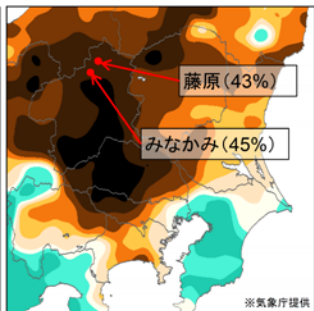


春先の貯水量を減らさないことが重要。

降雪量 平年比
平成27年12月～平成28年4月

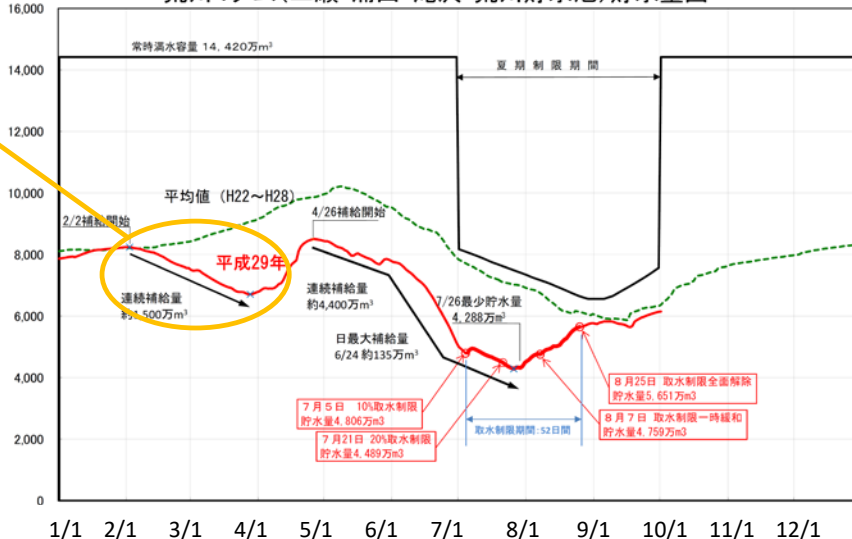


降水量 平年比
平成28年5月



荒川水系の渇水（平成29年度）

荒川4ダム(二瀬・浦山・滝沢・荒川貯水池)貯水量図



ダムサイト (H29. 7. 28)



浦山大橋下流 (H29. 7. 28)

将来の降水予測（地球温暖化の影響）

- 気象庁が公表している地球温暖化予測情報によると、今後地球温暖化の影響で、6月に太平洋高気圧の位置が南に偏り日本への水蒸気輸送が弱まること等により、北海道を除いては全国的に降水量が減少し、無降雨日数が増加するとの予測。

年降水量の将来変化

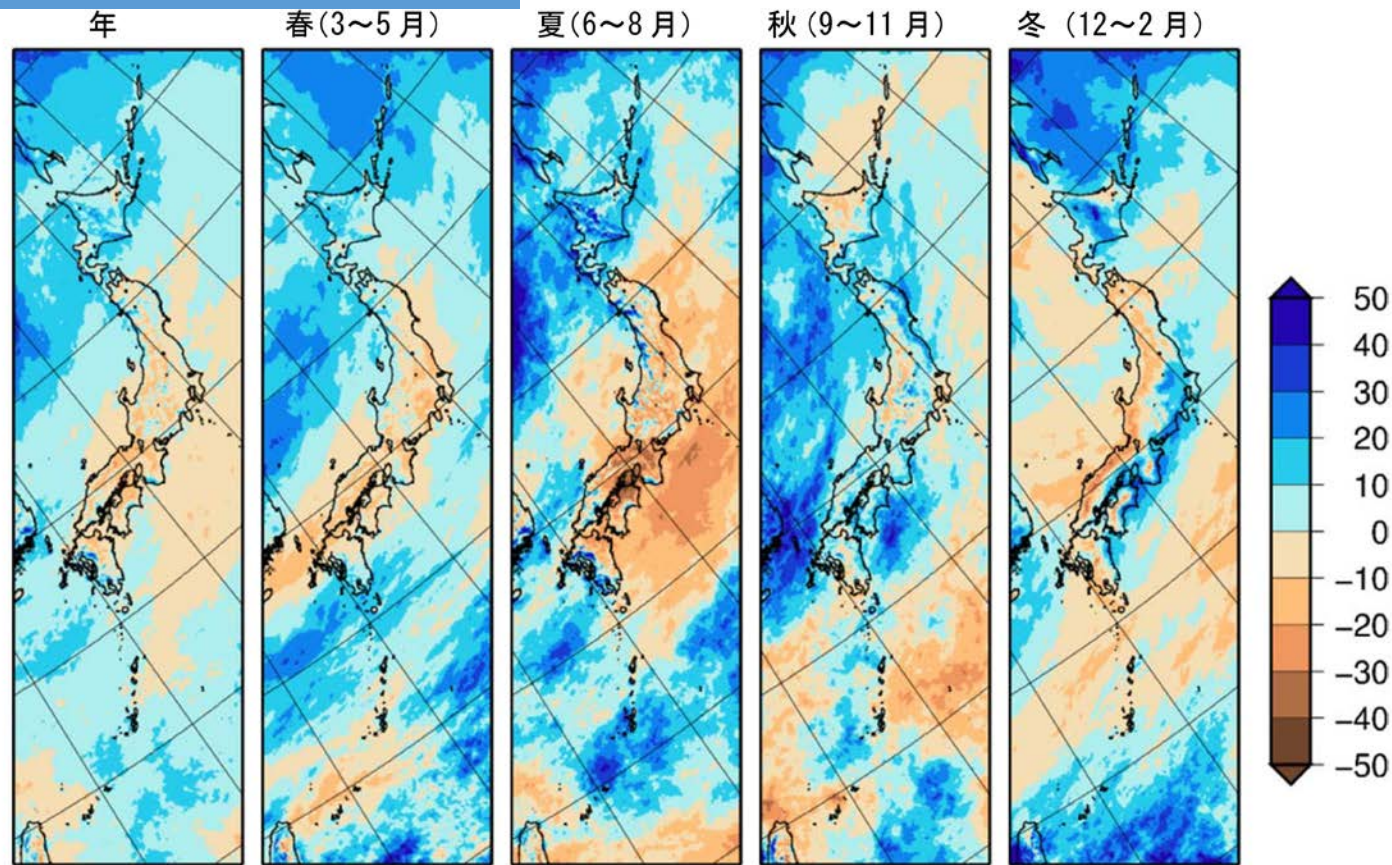


図 3.1-1 年降水量や季節ごとの3か月降水量の将来変化（単位：％）

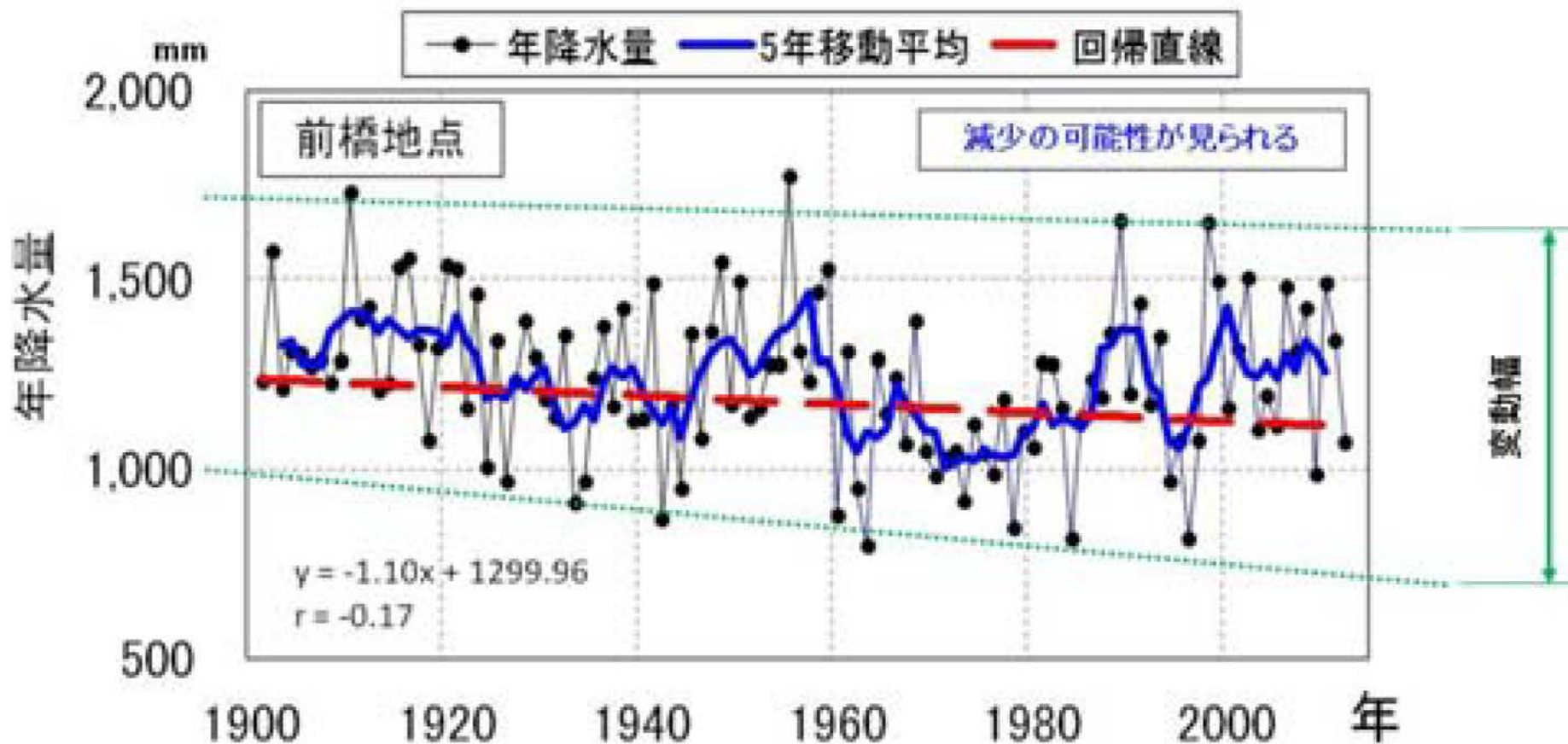
気象庁HP「地球温暖化予測情報」より

人口減少時代に入っても渇水の問題は解決せず、むしろ深刻化

過去100年間の降雨量の推移（実績）

- 利根川流域では、実際にこの100年間で降雨がだんだん減少する傾向にあり、夏冬通じて渇水が起こりやすくなっている。また、全国的にも同じ傾向にある。

年間降雨量の推移（利根川流域）



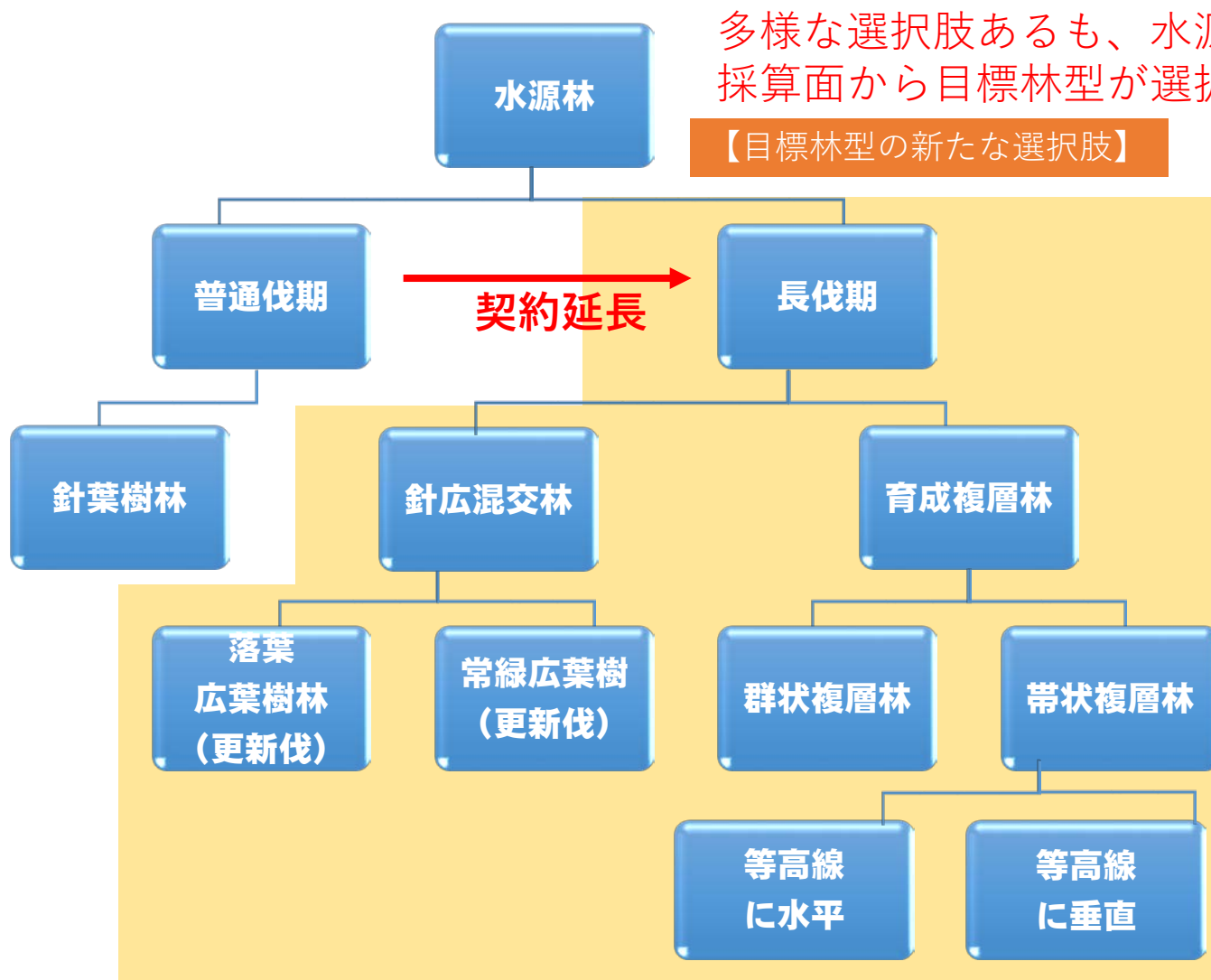
「気候変動に関する利根川上流域の水文観測への影響に関する考察」
関東地方整備局由井より

- 関東平野、濃尾平野、瀬戸内等では渇水は頻繁に発生。今後地球温暖化の影響により、さらに渇水が深刻化するとの予測。
- 他方、森林蓄積の増大に伴い、森林による水消費量は今後も増加していく可能性。
- 新たなダム建設による水資源開発が益々困難になると予想。
- 渇水発生地域上流における森林管理のあり方の検討は喫緊の課題。

既往文献・データ

水源林造成事業における目標林型の選択肢

- 水源林造成事業では、水源涵養機能等の高度発揮の観点から、H20にリモデルを行い、長伐期施業、針広混交林、複層林施業等の選択肢が拡大。
- しかしながら、水源涵養機能の観点からどの目標林型を選択すべきかといった指針は作成されておらず、森林所有者に対しては、採算面から長伐期化を働きかけている状況。



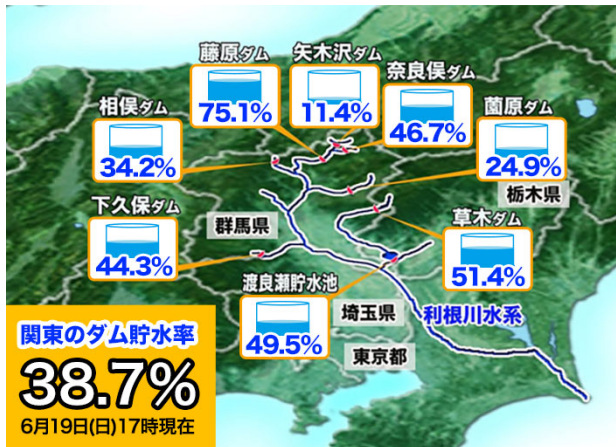
「森林・林業基本計画」でも、森林の誘導の考え方について、林業経営的観点（生産力、傾斜、車道からの距離等）のみならず、水資源の概念も必要ではないか？

渇水が起きる地域における水源林造成事業（群馬県みなかみ町）

- 利根川流域は降水量が全国最小で水消費が最大。群馬県みなかみ町には矢木沢ダム（奥利根湖）等のダム群が存在、首都圏の重要な水瓶だが水需要期に度々深刻な渇水が発生。
- 同町には水源林造成事業契約地が6件、計785ha存在。その管理のあり方は、ダム群の貯水に対し大きな影響。



矢木沢ダムの渇水



H28.6.19の貯水率
(ウェザーニュースより)

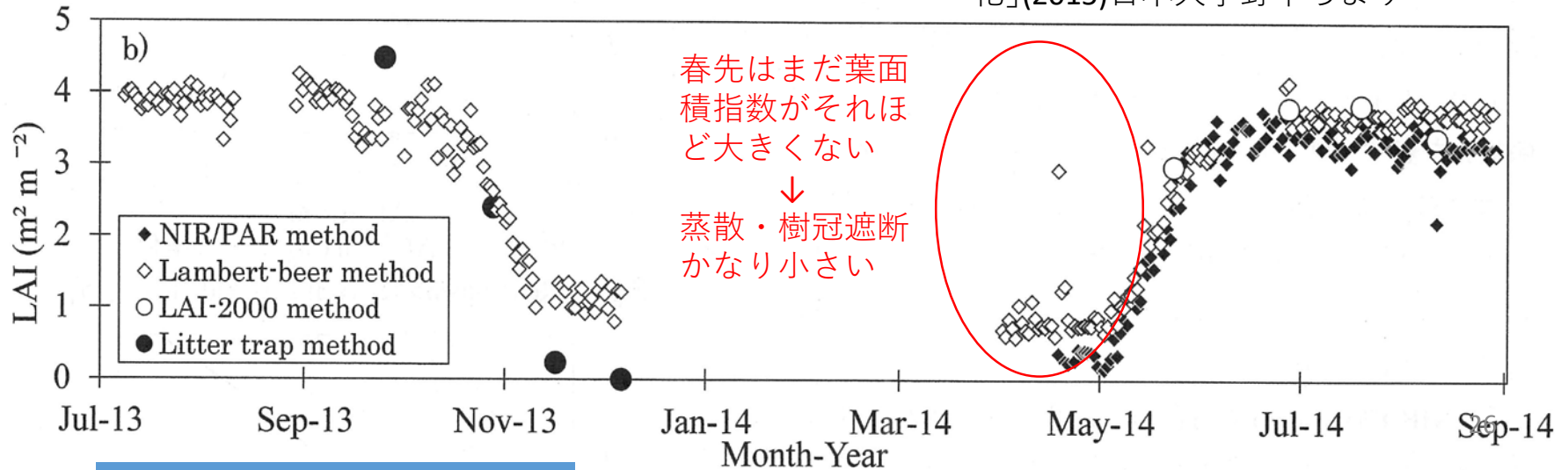


針葉樹と広葉樹による違い

矢木沢ダム（みなかみ町）周辺の森林が落葉広葉樹林であれば、春先は葉面積指数がまだ大きくないため、蒸散・樹冠遮断による水損失量はかなり小さいのでは？

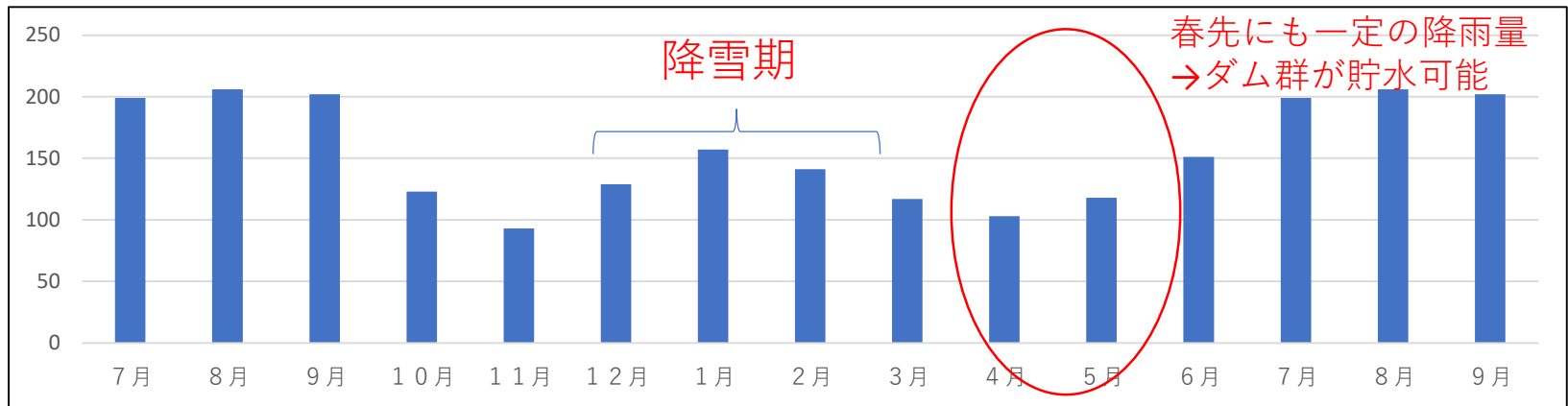
みなかみ町の落葉広葉樹林における葉面積指数変化

「冷温帯落葉広葉樹林におけるLAI季節変化」(2015)日本大学野中らより



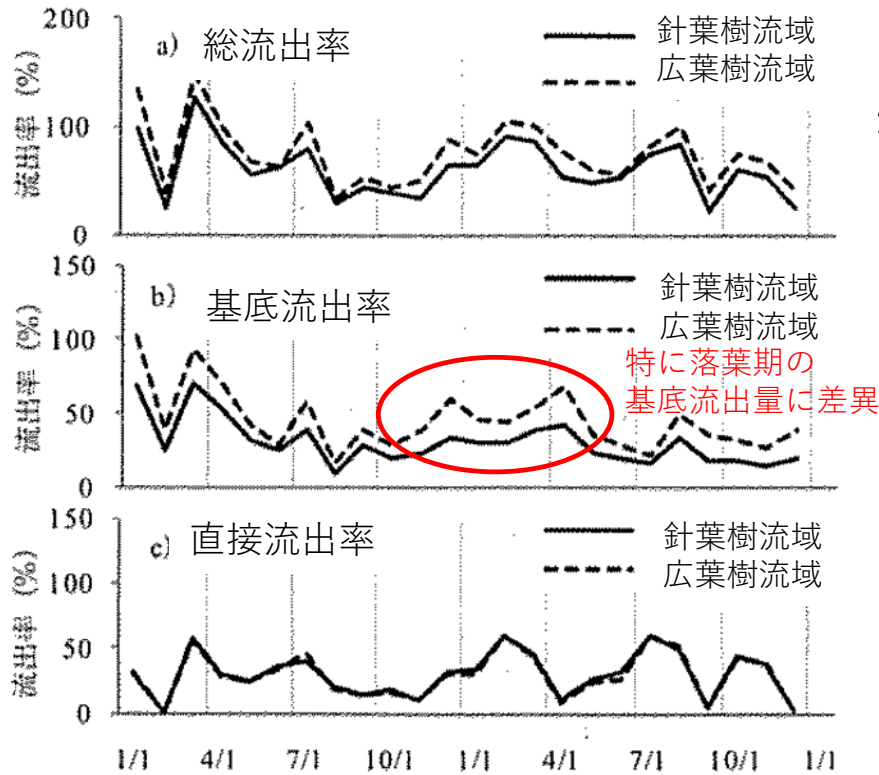
みなかみ町の月別降水量

気象庁データより作成

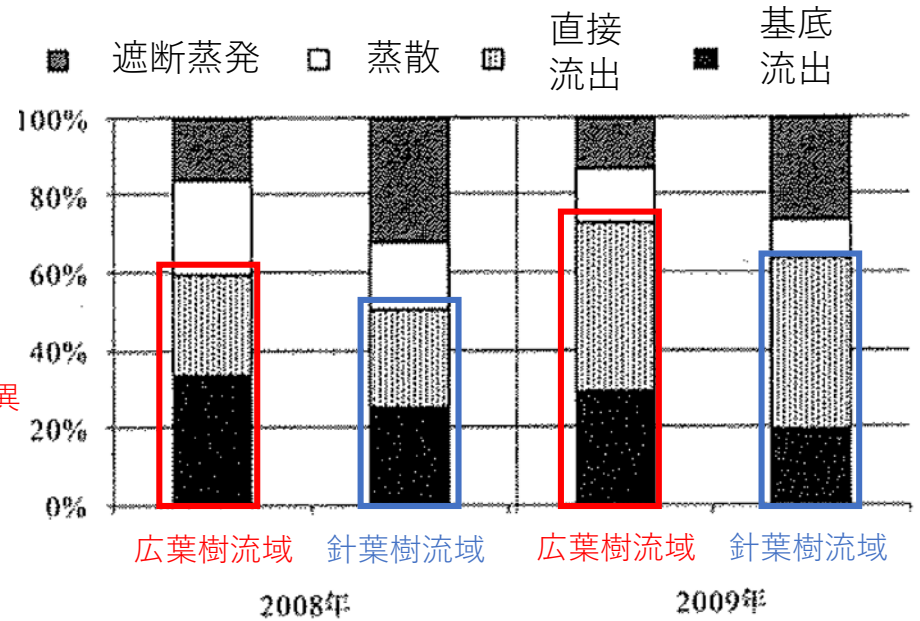


実際に、岐阜大学のデータによると、年間降水量に対する年間流出量（流出率）は、多雨年、寡雨年に関わらず、落葉広葉樹林流域の方が針葉樹林流域よりも大きい。

流出成分毎の流出率の月毎変化



暖候期(5～10月)における降雨の配分割合

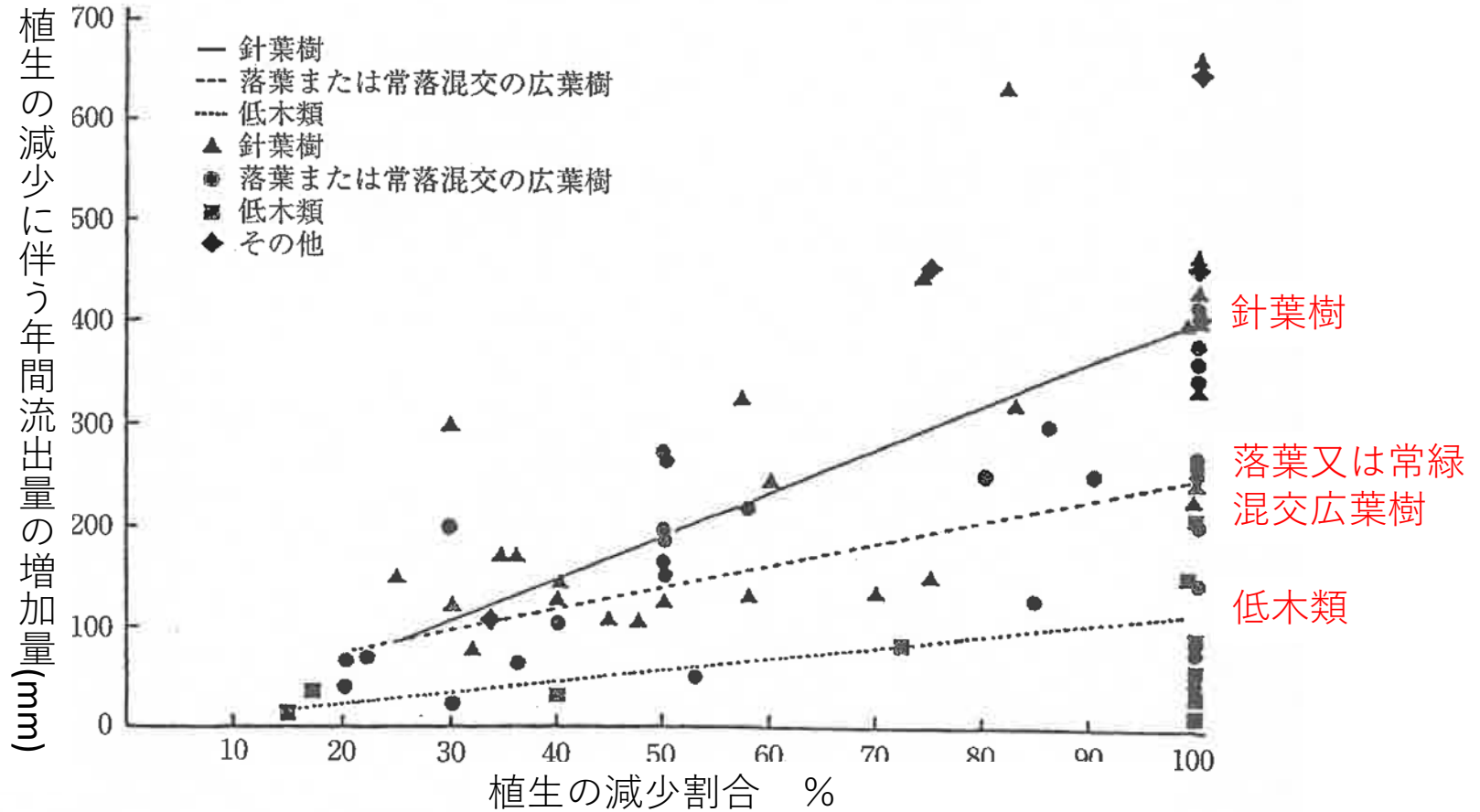


いずれも岐阜県内の岐阜大学演習林で計測

「落葉広葉樹林と針葉樹林の水収支特性比較」(2011)岐阜大学久田らより

→利根川水系のような渇水が起きる流域においては、針葉樹林を針広混交林に、場合によっては更新伐により落葉広葉樹林に誘導することが有効ではないか？

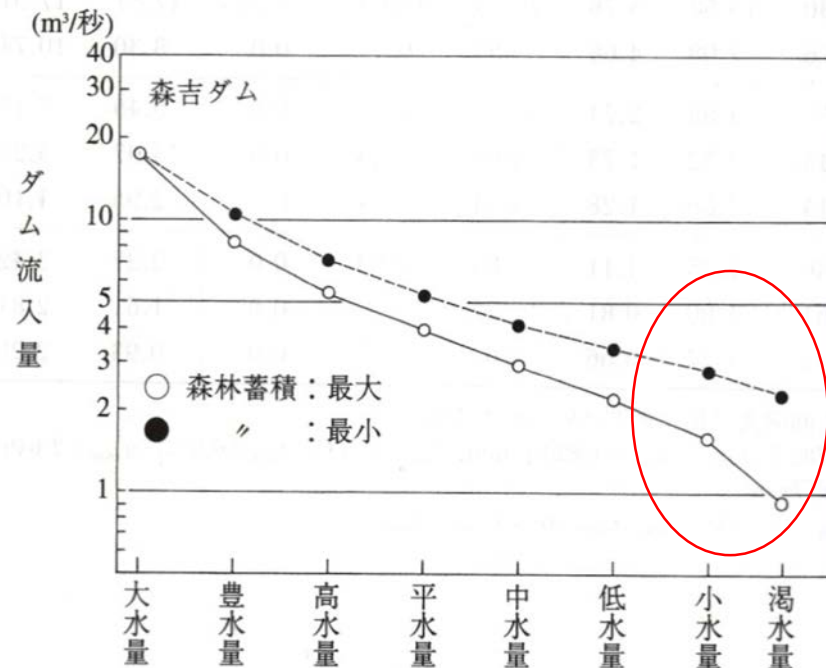
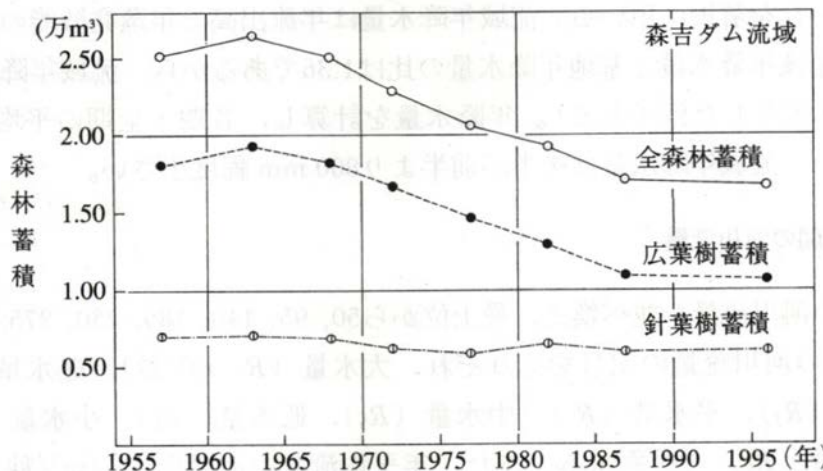
伐採による年流出量の増加



「森林の生育に伴う流出量の減少は、広葉樹林が針葉樹林に比較し小さいことを示唆している。このような結果から、渇水地域で流出量を増加させる方法の一つとして針葉樹人工林から広葉樹林への転換を図ることも考えられる。一斉造林地で広葉樹の種子源が近くにない場合は、人工的に更新を手助けする植栽も考慮すべきである。」

蓄積による違い

森林蓄積の違いが流況曲線に及ぼす影響



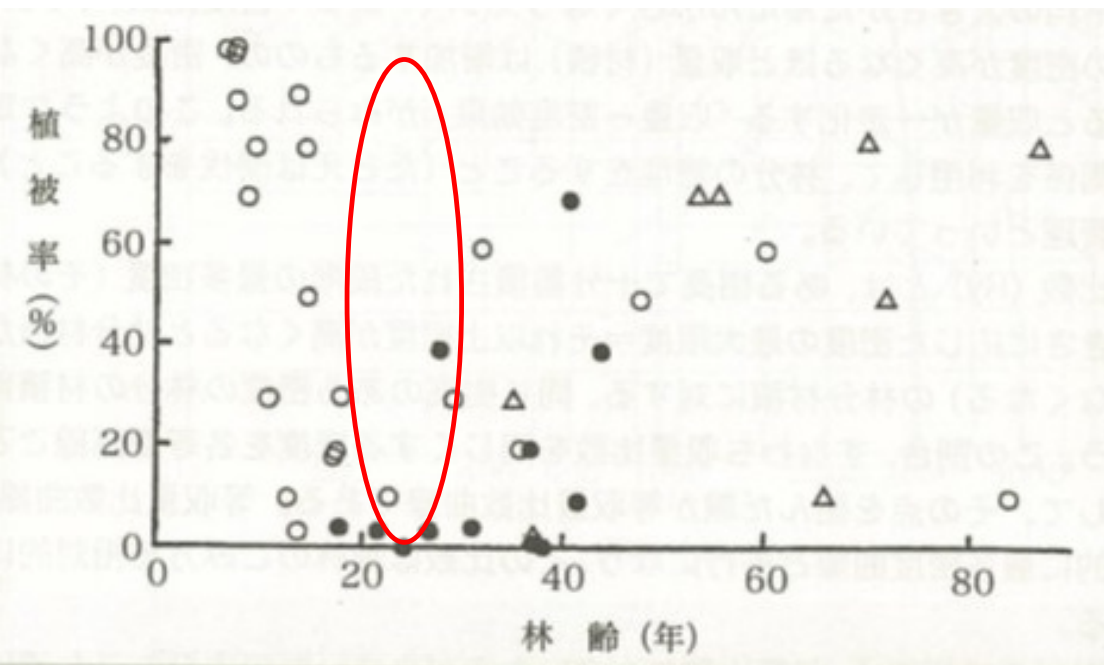
「森林の渇水緩和機能についての研究(Ⅱ) —秋田県内米代川水系小又川の年間の流況について—」(1998)岩手大学石井 より

当該流域では、昭和30年から平成7年にかけて国有林内の伐採により森林蓄積が大幅に減少。

結果として、特に渇水時のダム流入量が増加（降雨量の少ない時期ほど森林による蒸発散の影響が大きい）。

林齢による違い

ヒノキ林の林齢、収量比数の違いと下層植生の被覆率の関係

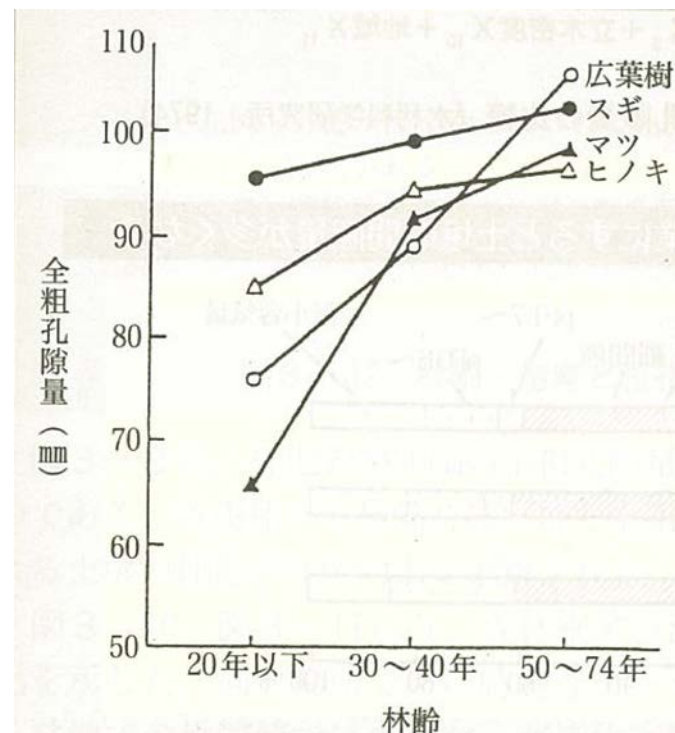


- : $RY0.70$ 未満
- △ : $0.70\sim 0.80$
- : 0.80 以上

「水と森」(2002)太田猛彦他より

ヒノキ林の下層植生は20~30年生頃に林内の光環境が悪化し、被覆率最低
 →土壌浸透能低下、特にヒノキ林では間伐・枝打ちが必要

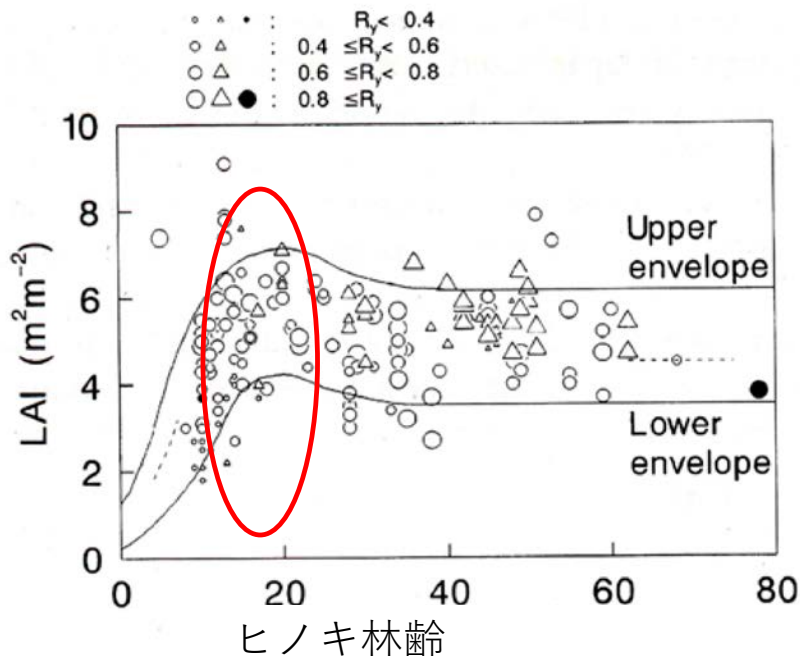
林齢による表層30cm土壌層の全粗孔隙量の相違



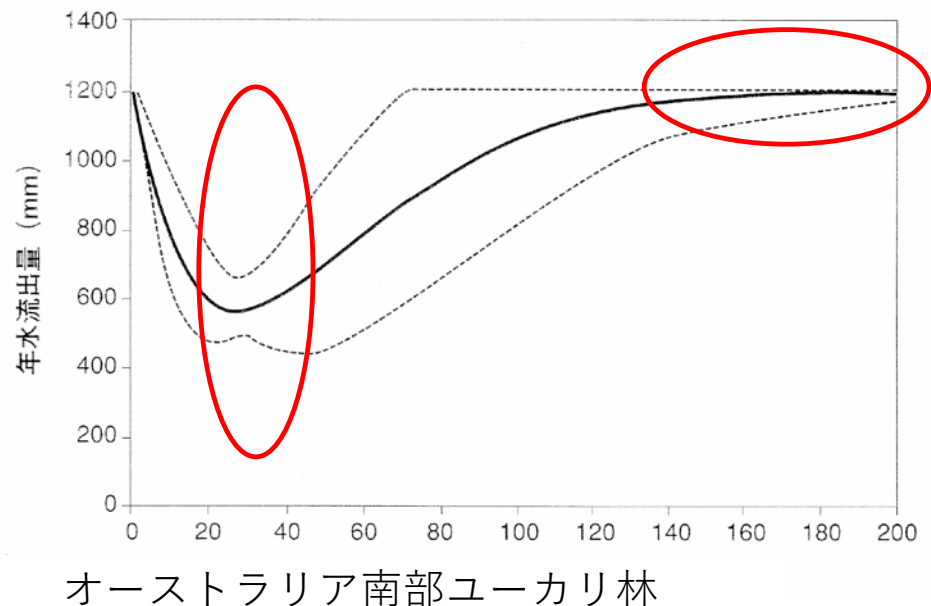
「水と森」(2002)太田猛彦他より

林齢が高いほど根系が発達し、
 表層土壌の粗孔隙量増加
 →土壌浸透が向上

林齢と葉面積指数の関係



林齢と年水流出量



「森林からの蒸発散と林齢・葉量・林分構造との関係」(2003)森林総合研究所村上より

葉面積指数20年生頃最大
 →蒸散量最大 (ある程度葉面積指数に比例)

ユーカリ林について、1939年の山火事後の再生から25年頃に河川流量が最低、その後流量は林齢の増加とともに緩やかに増加。超高齢林の水消費量は草地とほぼ同レベル。

長伐期化により水源涵養機能が大きく向上することが期待。
 (ただし収量比数等の管理のあり方は、見直す必要があるのでは)

間伐による効果

間伐と河川流量の関係については多くのデータが存在。例えば岐阜県の国有林では、間伐区（本数60%）と対照区で本数率60%の間伐前（2012）と間伐後（2013）の降雨量と流出量を比較したところ、間伐区では間伐後に河川への流出率が大きく向上。

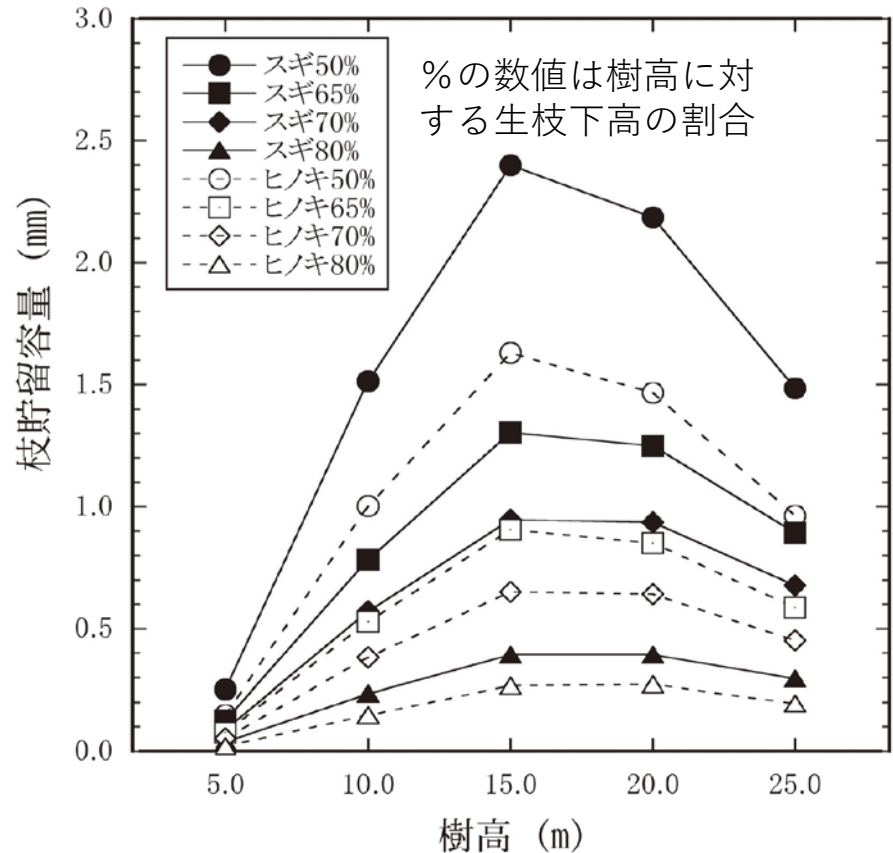
			降雨量(mm)	流出量(mm)	流出率	
間伐区	2012/5/1-10/23	間伐前	1168	765	65.5%	
	2013/5/1-11/30	間伐後	1509	1327	87.9%	+ 22.4%
対照区	2012/5/1-10/23	間伐実施 せず	1168	894	76.5%	
	2013/5/1-11/30		1509	1275	84.5%	+ 8.0%

「岐阜県東白川村国有林のヒノキ人工林における水源涵養機能改善に向けた調査研究」
サントリー川崎らより

- 本数間伐率30%前後の間伐を行っても、5～10年で間伐前の葉量に回復。
- スギ・ヒノキ人工林の水源涵養機能を高めるための最適な間伐率については、データが不足。
- 降雪地域における間伐施業と水源涵養機能との関係について、研究は緒に就いたばかり。

枝打ちによる効果

生枝下高の違いによる樹高モデルから求めた枝貯留容量の比較



「森林水文学的スギ・ヒノキ樹形モデルの構築」(2015)愛媛大学戎らより

樹高15mまでは、枝打ちによる生枝下割合の増加により、枝貯留容量（葉と枝に雨水が一時的に貯留される最大値）が大きく減少

→樹高15mまでは、枝打ち施業が樹冠遮断量に大きく影響、水資源貯留機能が向上（高品質な材を生産する枝打ちとは別の位置づけ）