

# 世界の水安全保障と 日本の科学技術の貢献 ～問題解決へ向けた「水の知」

## 世界の森林管理と水資源の保全

＊このマークが付してある著作物は、第三者が有する著作物ですので、同著作物の再使用、同著作物の二次的著作物の創作等について、著作権者より直接使用許諾を得る必要があります。

蔵治 光一郎

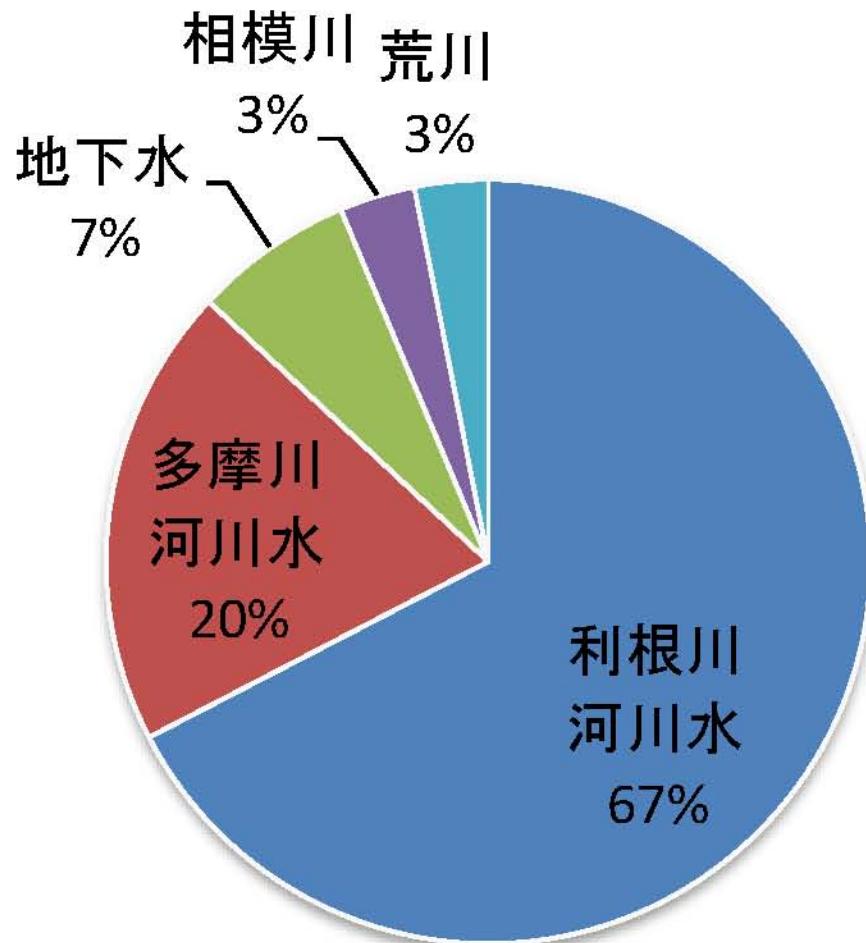
東京大学 大学院農学生命科学研究科  
(附属演習林 生態水文学研究所長)

# 自己紹介

- 1965年 東京都生まれ
- 1989年 東京大学農学部林学科卒業、91年修士修了
- 1991～93年 マレーシア・サバ州森林局森林研究所にて熱帯雨林研究に従事、96年博士修了
- 1996年以降、東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林(うち3年間は東工大)に所属し、「森と水の関係」の研究を推進する
- 2003年 愛知演習林に赴任し、新たに「森と水と人」の研究にも踏み出す

# 東京都の保有水源の内訳

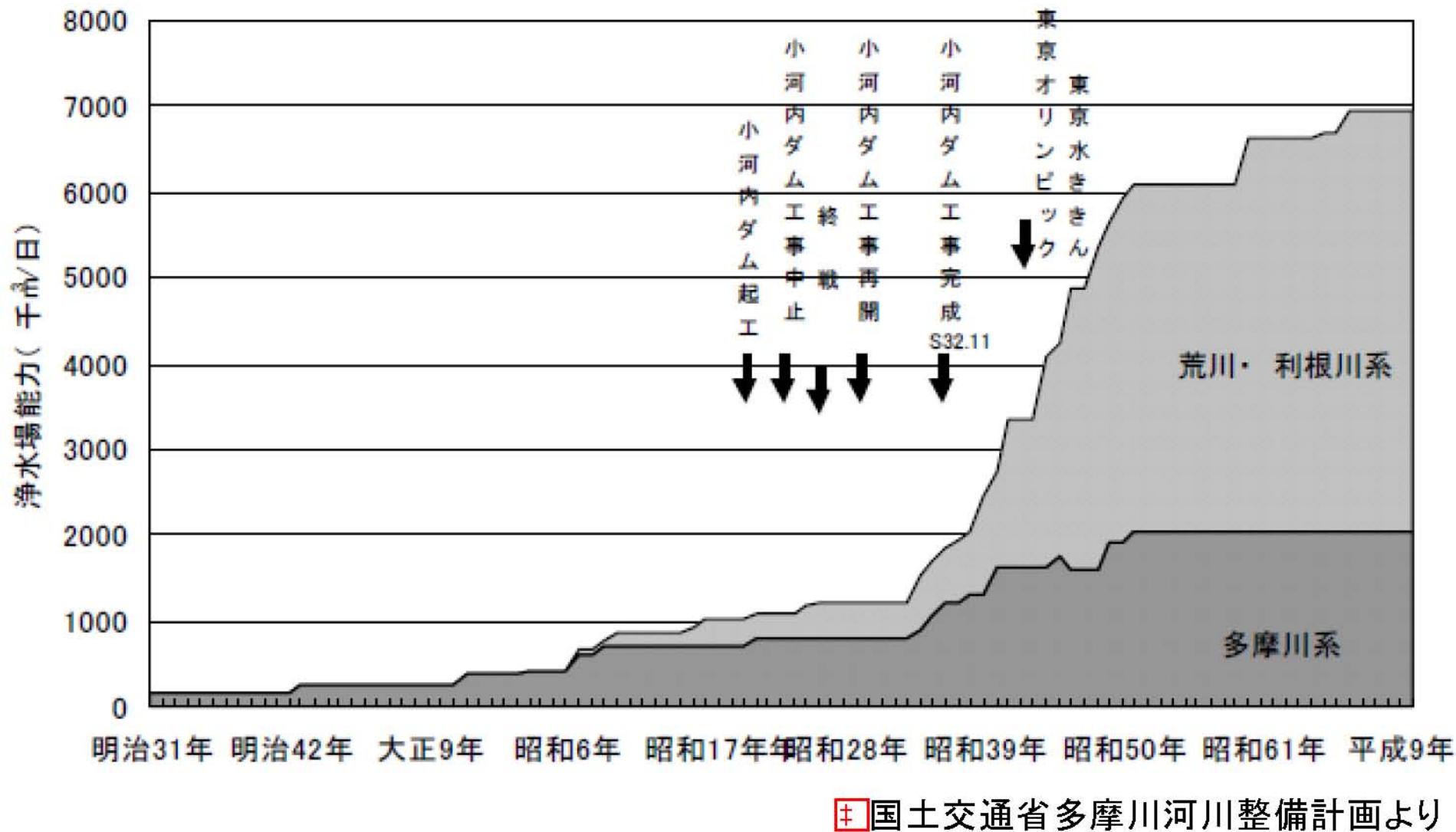
## 多摩川河川水 + 地下水で27%



利用料率98%、多摩地域の地下水を含む、工事中の霞ヶ浦導水は含まず、多摩川の八王子・青梅・あきる野、すでに完成し、近々水利権が配分される利根中央事業は含む

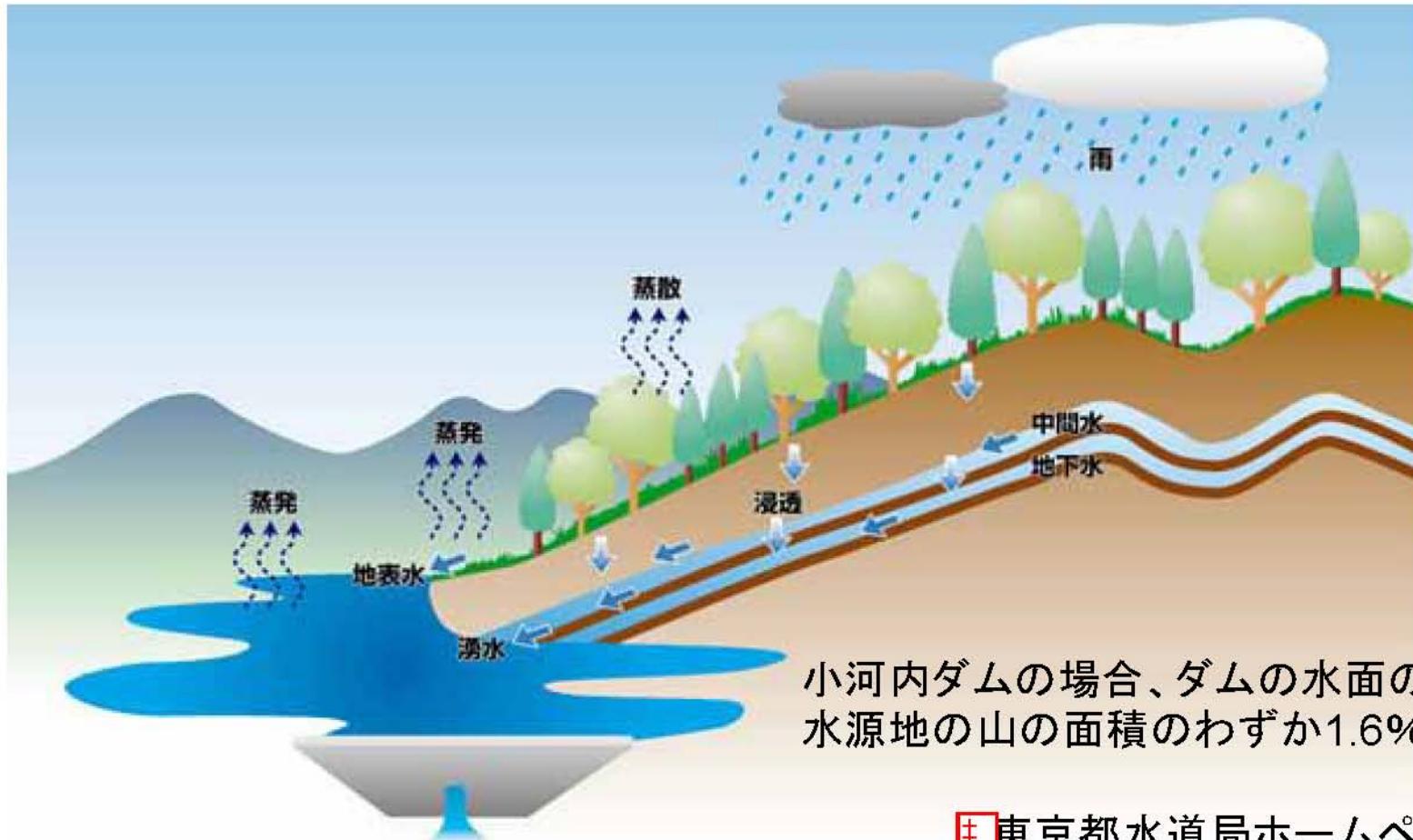
# 東京都の保有水源の歴史

## かつて多摩川のみに依存していた



# 水の源は山に降った雨

- 地下水、河川水、いずれの水も、もとは山に降った雨が土にしみこんだもの



# 多摩川上流域

## 水源地＝取水堰・ダムの上流域

### 水源地に降った雨が集まって水道水となる



# 多摩川上流域

## 水源地はほぼすべて森林に覆われている



# 東京都水源林(1901～現在)

著作権上の都合により  
ここに挿入されていた  
図表は削除致しました。



1922年12月 多摩川源流の山

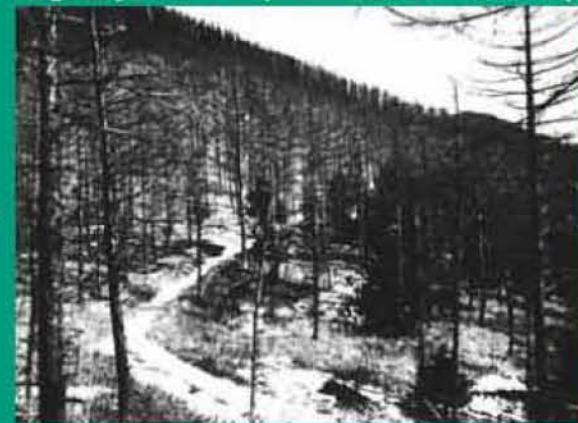
■泉桂子(2004)『近代水源林の誕生とその軌跡』より

# 東京都水源林109年のあゆみ

大正末期は周囲一帯が裸山でした。



植栽後約30年が経過したカラマツ林です。



現在は、緑豊かな森林が広がっています。

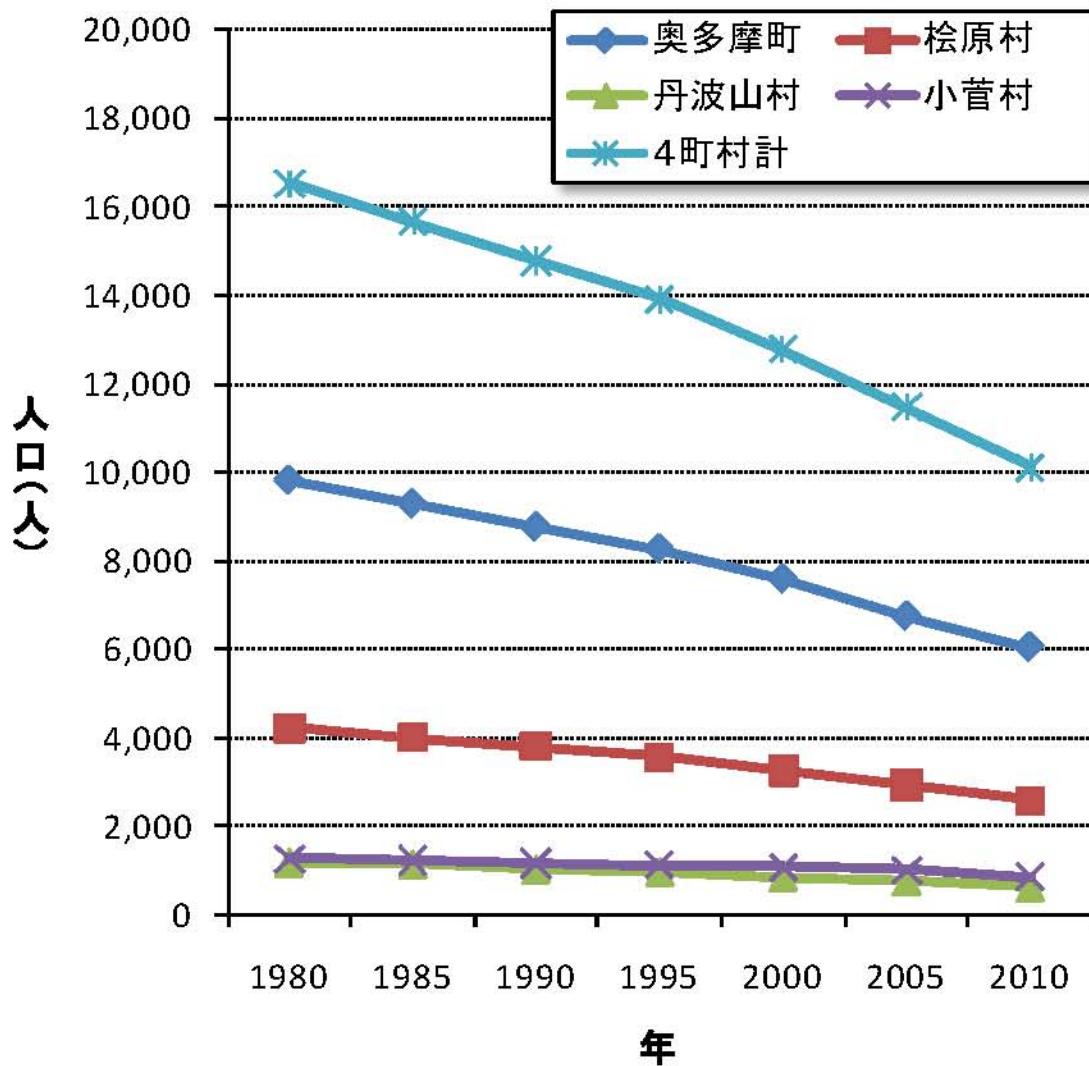


■ 東京都水道局HPより

- ・ハゲ山に植林することから始まった
- ・地元の人が働く場となった
- ・天然林(7割)は自然の推移に任せる
- ・人工林(3割)は立地条件により**天然林誘導型森林**、**複層林更新型森林**に区分

# 多摩川上流域の市町村と人口

- ・ 東京都奥多摩町
- ・ 東京都檜原村
- ・ 山梨県丹波山村
- ・ 山梨県小菅村
- ・ 東京23区と比べ
  - 面積 78.0 %
  - 人口 0.1 %



# 人口密度比較

## 水源地の人口密度

2005年(人/km<sup>2</sup>)

### 山梨県

- ・丹波山村 6
- ・小菅村 16

### 東京都

- ・檜原村 25
- ・奥多摩町 27

高齢化率も非常に高い

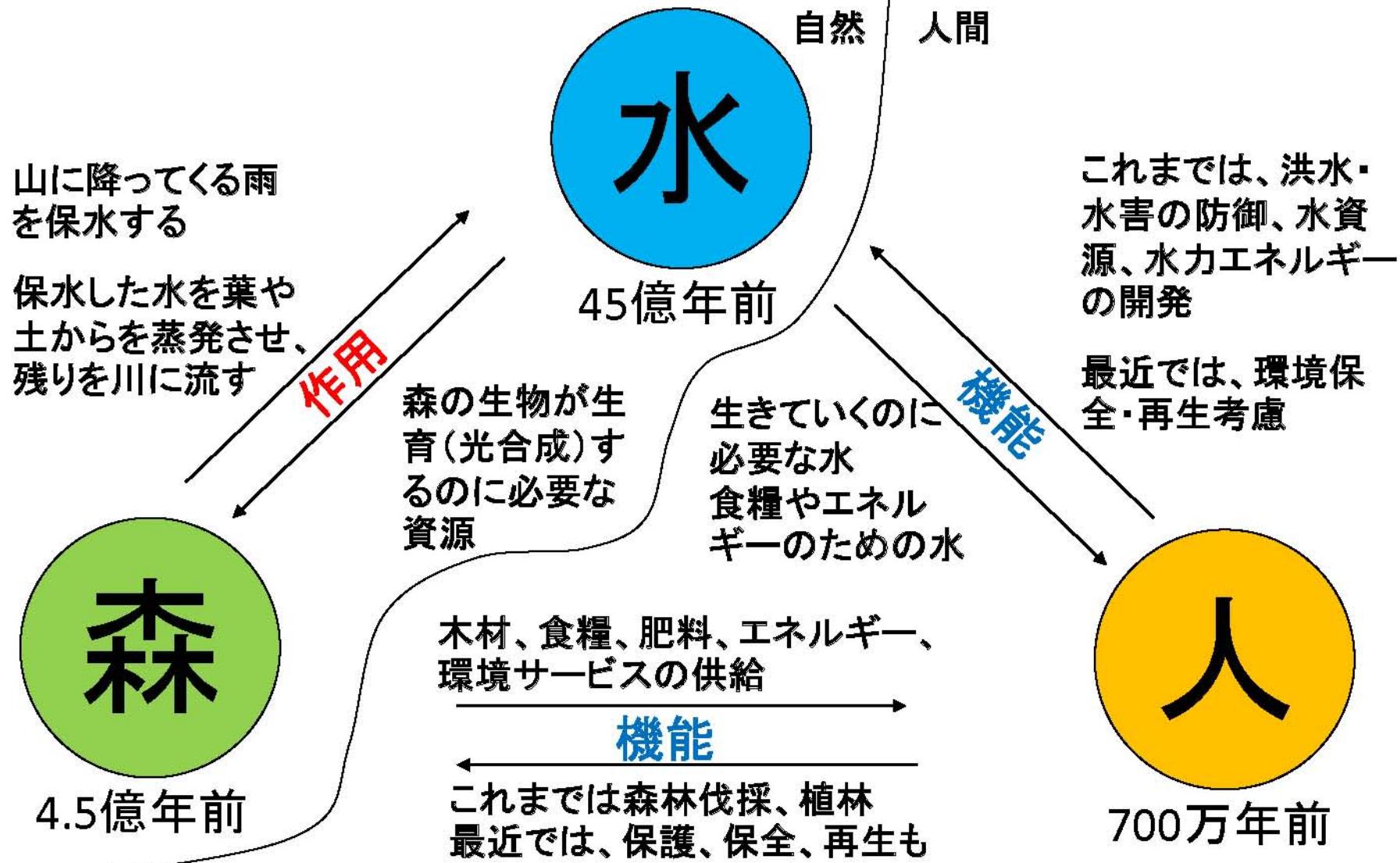
## 参考:都市部の人口密度

- ・中野区 20,176
- ・豊島区 20,107
- ・荒川区 19,822
- ・23区平均 14,222
- ・武藏野市 12,817
- ・狛江市 12,256
- ・西東京市 11,971

# 私の研究対象

1987年～現在

2003年～現在



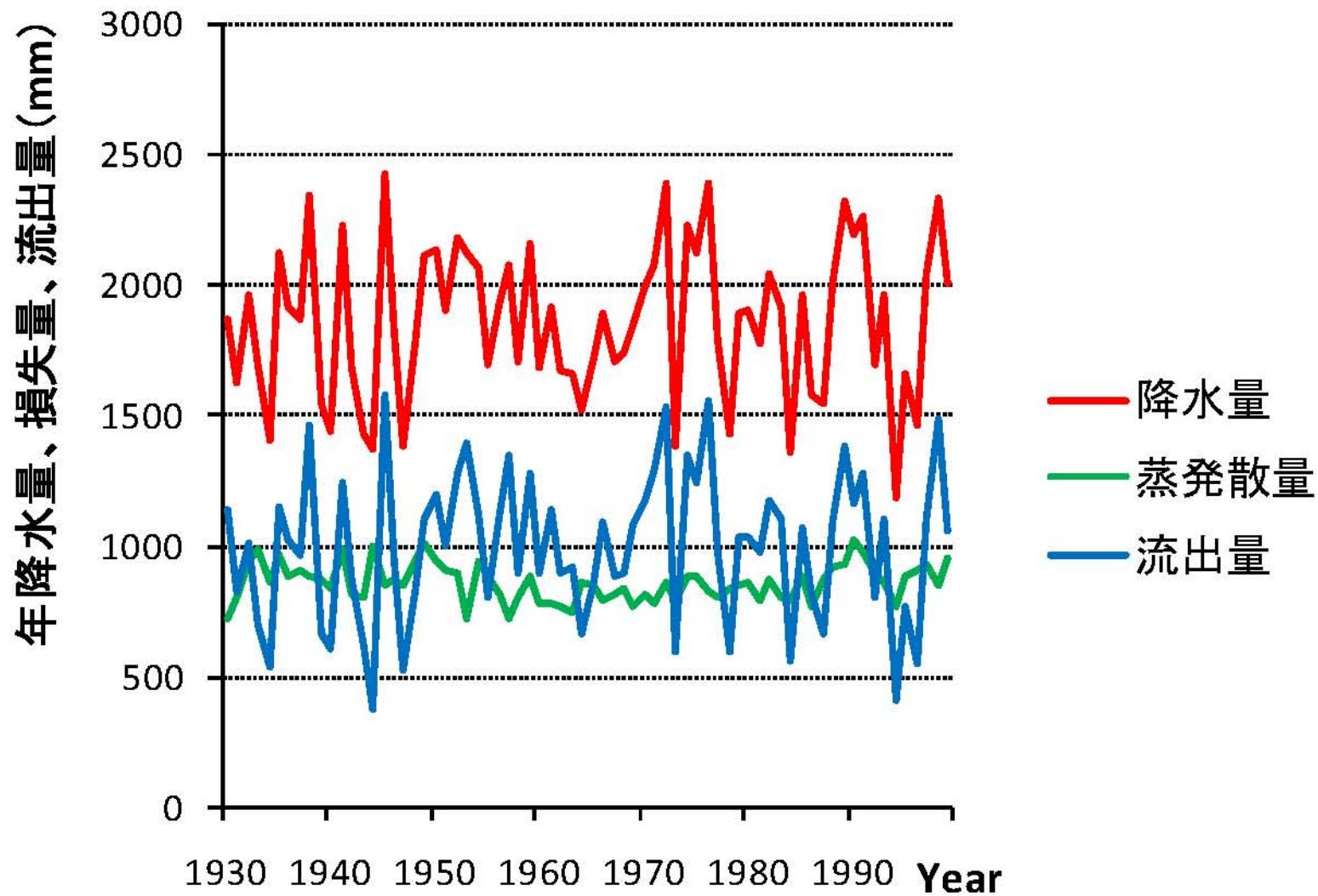
# 作用と機能

- **作用(メカニズム、機構)**とは、自然がもともと持っている働き
  - 人類が地球上に出現する前の自然は、**作用**だけが支配する世界
  - かつて人の手が入っていたが、その後入らなくなったものは、**作用**によって自然に戻っていく
- **機能(サービス、恵み)**とは、作用のうち、人間にとて都合がよいもの
  - 人間にとて都合が悪い作用は、機能とは呼ばない

人間にとつて都合が悪い作用の例

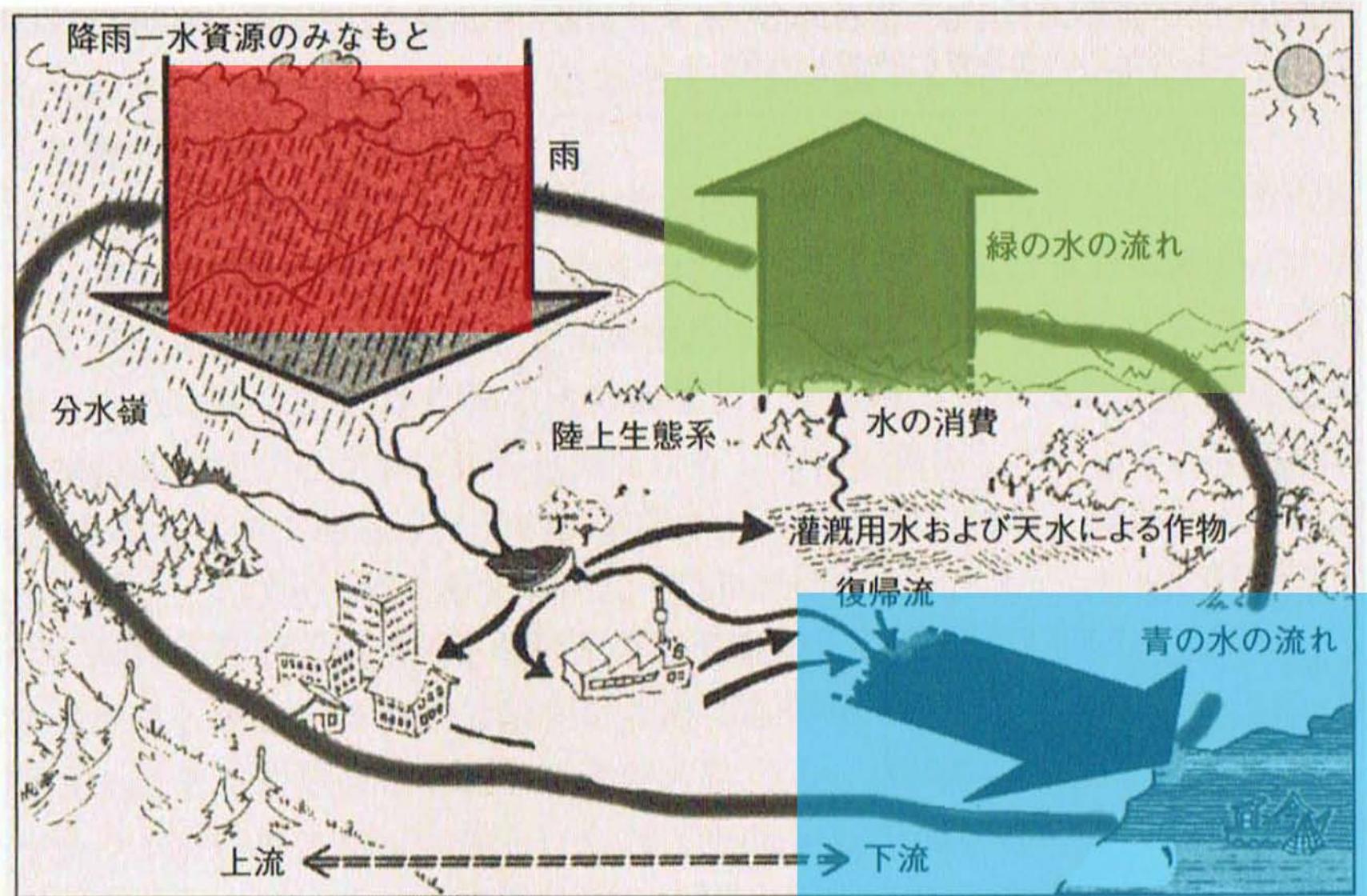


# 人間にとて都合が悪い作用の例



# 緑の水と青の水

Falkenmark, 2003

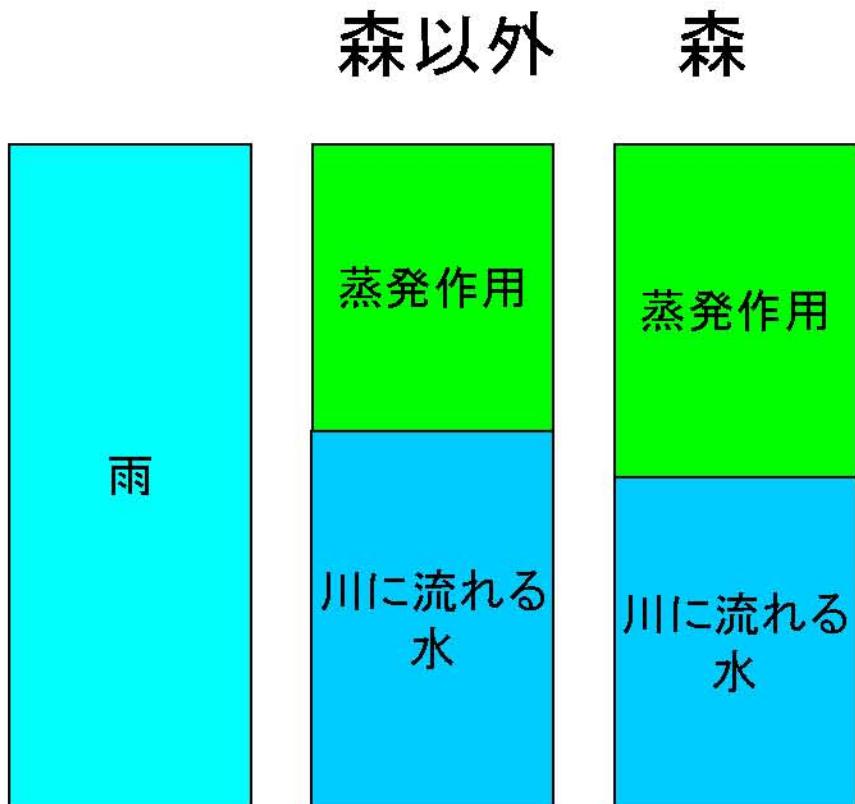


# 森林と水資源

- ・ 森林と水資源は、どのような関係にあるのか？
  - 森林には「蒸発作用」がある
  - 森林が「緑の水」を使った残りが、人間が使える「青の水」
  - 森林は、他の土地利用よりも水消費量が多い土地利用
  - 人と森林は、水を取り合う関係にある

# 蒸発作用のイメージ

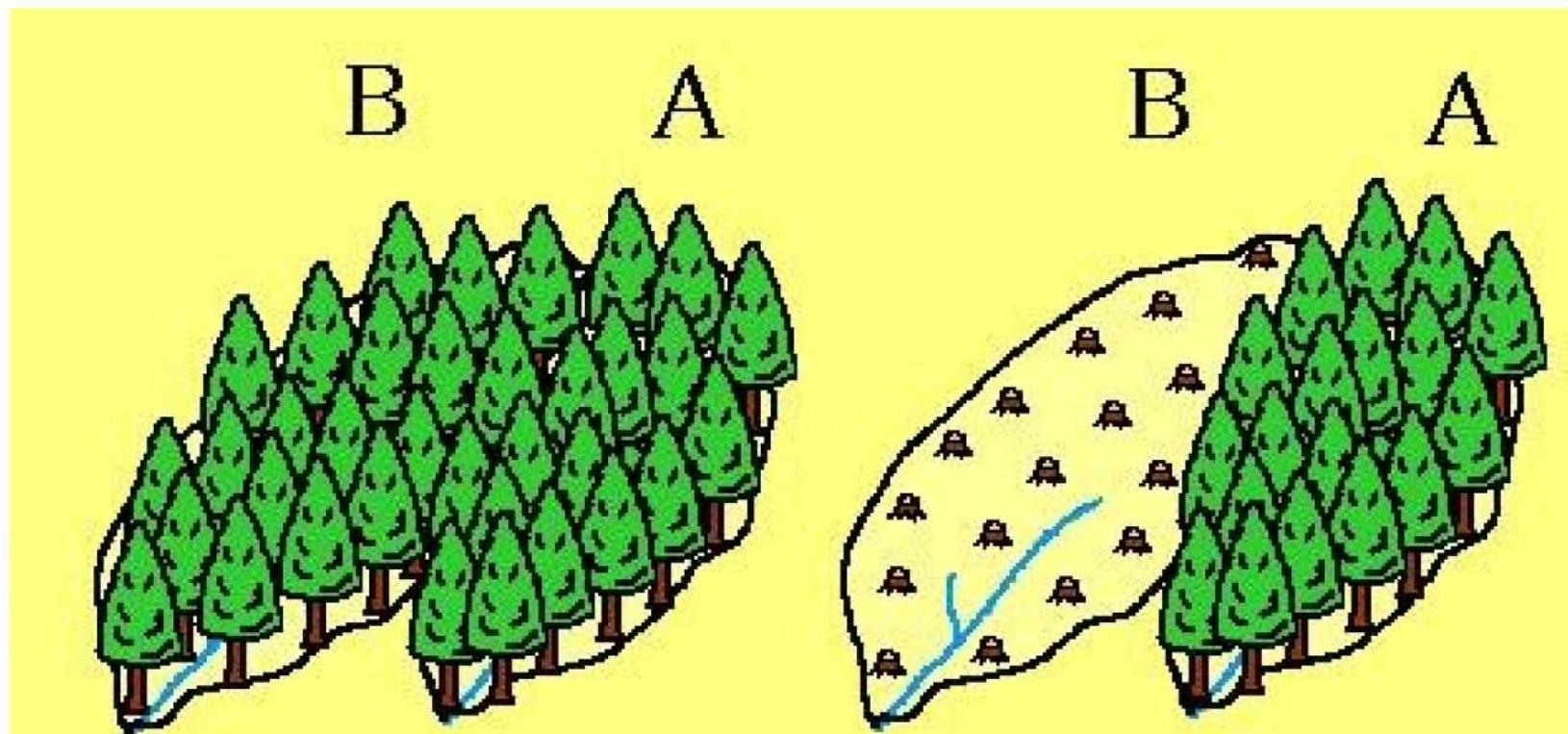
## 水収支



- ・他の土地被覆(草地、ハゲ山など)に比べて森は蒸発作用が大きい
- ・その分だけ、川に流れる水が減る

# 森の蒸発作用を科学的に 明らかにする 対照流域法

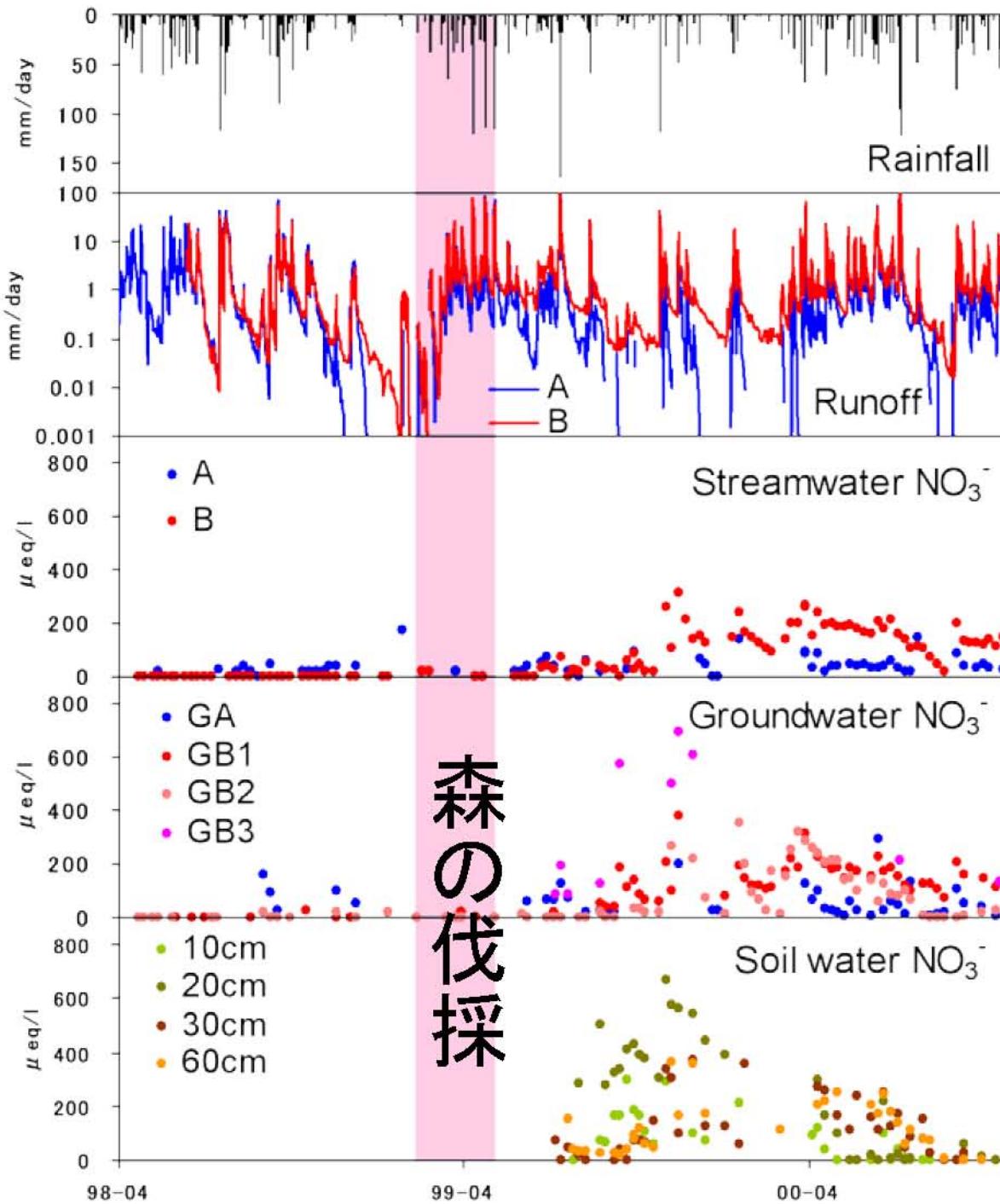
- 隣り合う2つの川を試験地として設定し、川の流量をしばらく観測したのち、片方の森林を伐採する実験を行う
- 100年以上前から、全世界で行われてきた





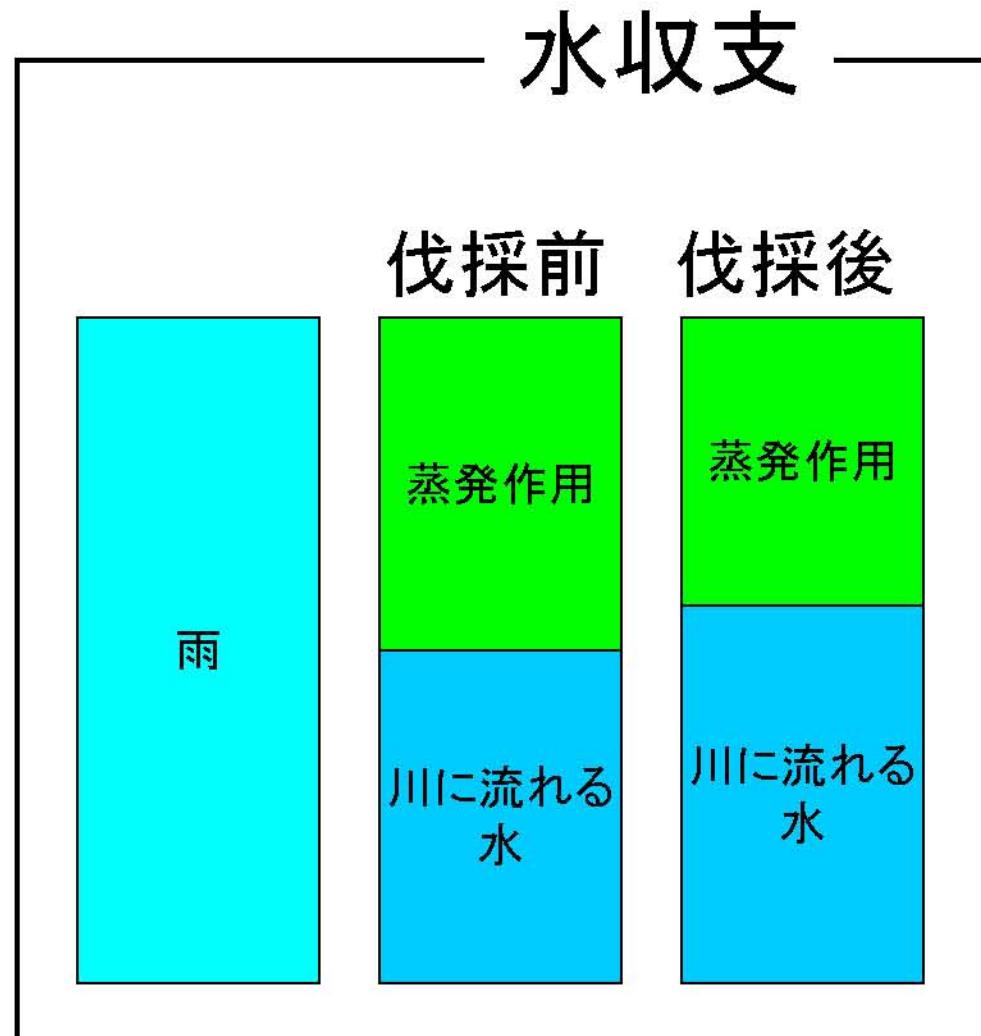
東大千葉演習林袋山沢

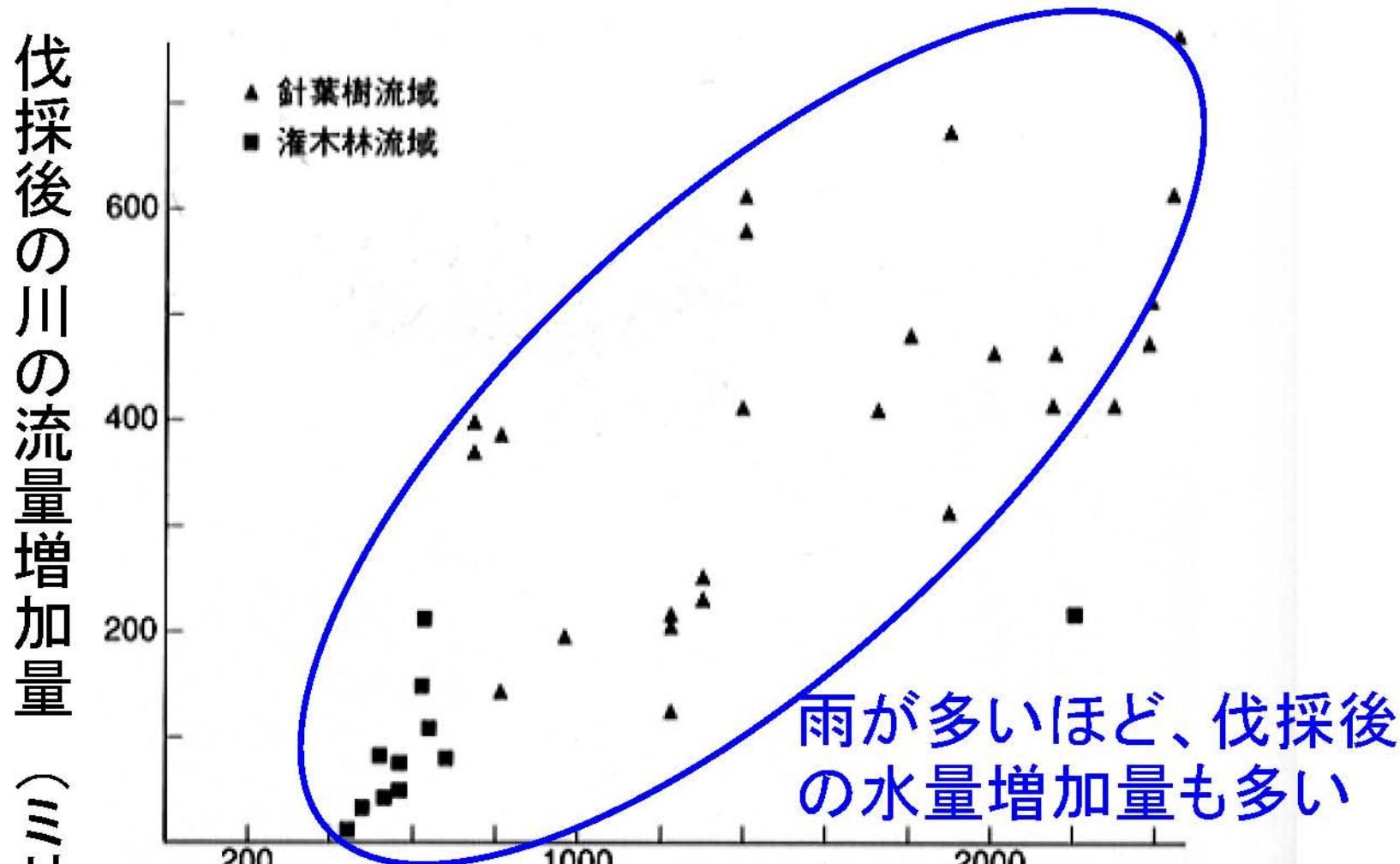
Jun. 1999



# 森の蒸発作用の科学的証拠

- 森を切った方では、川の水量が増える（全世界共通）。
- これまで森の蒸発作用で消費されていた水が余って川に流れてきた。





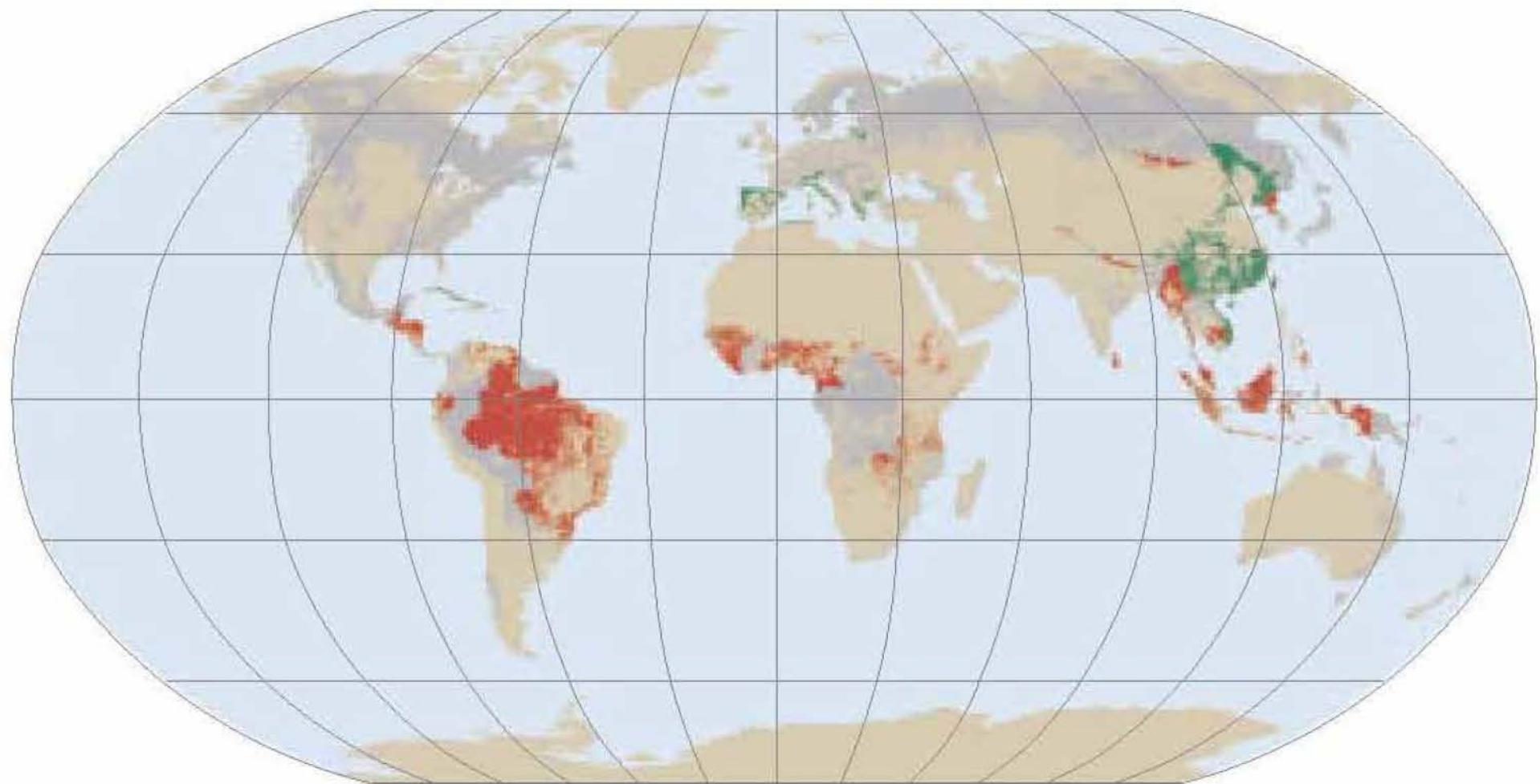
皆伐後の年流出量増加と年降水量の関係 (Bosch & Hewlett, 1982)

世界各地での調査例の総括。いずれも伐採後に流量増加。

# これまで世界で何が起きてきたのか

- 森林伐採による水の増加
  - 19世紀アメリカ、明治20年代日本の水害多発
  - 1998年 長江大水害
  - いずれも、因果関係は証明されていない
- 植林による水枯れ
  - 1930年代 岡山県のマツ植林によるため池枯れ
  - 1960年代 日本全国のスギ、ヒノキ植林
  - 1998年 水害後の中国での世界最大規模の植林(予想)
    - インド、オーストラリアでのユーカリ植林

# 世界の森林管理



FAO Global Forest Resources  
Assessment 2005

>0.50% decrease per year  
>0.50% increase per year  
Change rate between -0.50 and 0.50% per year

# 中国の森林管理

- 1998年の長江大水害をきっかけに森林保護・植林政策を強力に推進中
- 世界最大の森林面積の増加
  - 2000-2005年に400万ha / 年 (23区の64倍)
- 世界最大の植林面積の増加
  - 1990-2005年の15年間に130万ha / 年増加、  
2005年に2800万ha (日本の2.8倍)
- 産業用丸太輸入量は過去10年間で5.7倍、  
2007年には3,867万m<sup>3</sup>(世界最大、約3割)

# たまたま好都合だったケース

- ・アフリカのマラウイ湖
- ・森林が伐採され、湖の水位が下がった
- ・データ解析の結果、100年間の湖の水位の変動(最大－最小=9m)は、降水量の変動と森林の伐採だけで、ほぼ説明できた
- ・もし森林が伐採されていなかつたら、湖の水位は現在よりさらに1m下がっていたこともわかつた
- ・森林が伐採されたおかげで、致命的なことにならずに済んだ

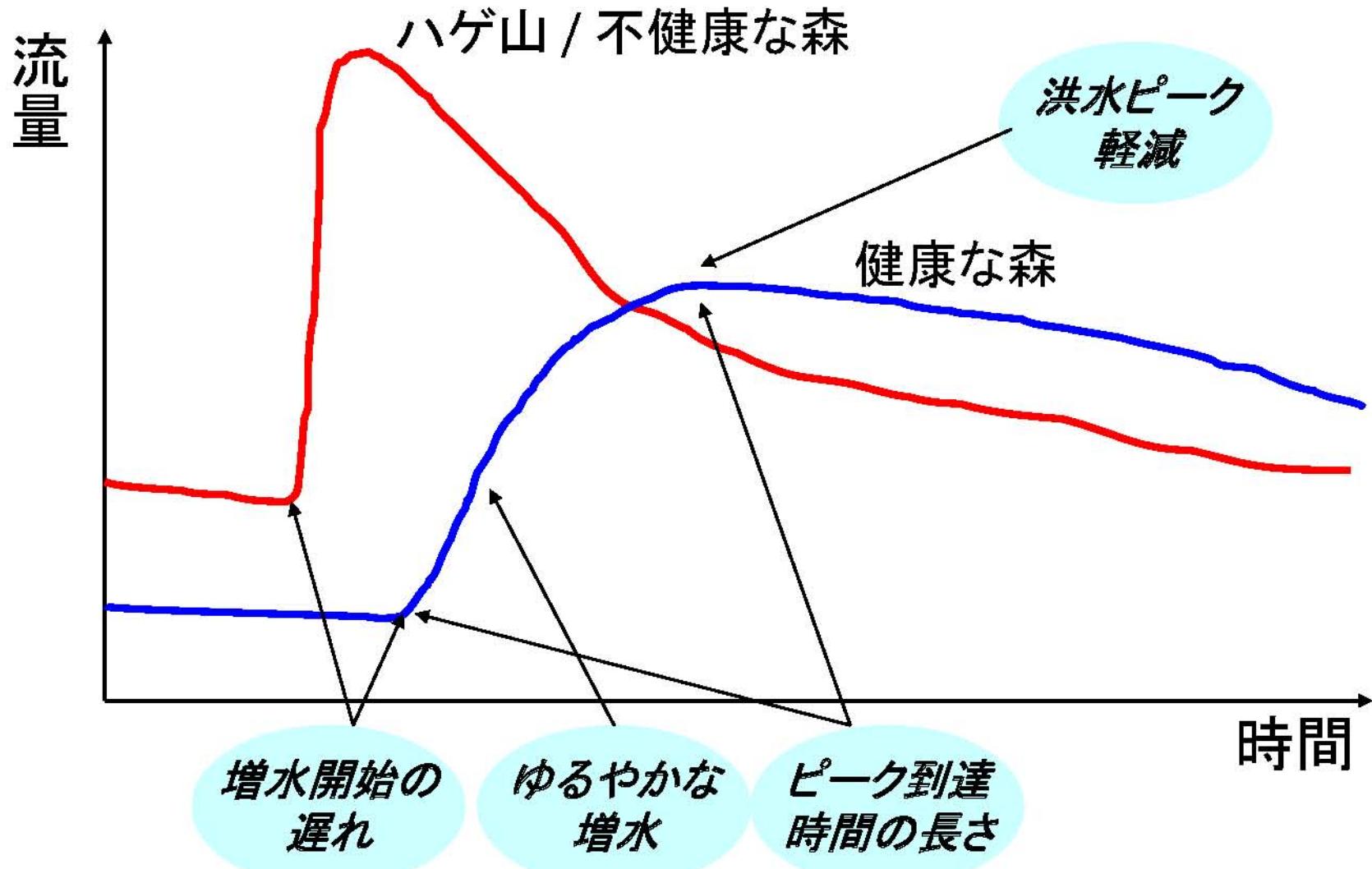
# 先進国は南アフリカ共和国

- 水と森林を巡る問題の解決に、世界で最も先進的な国
- 「水資源森林省」がある
  - 水資源と森林の一体的な管理を実現
- 土地利用に対する「水消費税」がある
  - 水を消費する農園、森林を造成する場合、河川流量低減型利用(SFRA)として課金される
  - 「緑の水」への課金
  - 「青の水」を効率よく得て、公平に配分するために、「緑の水」も管理する

# 水の時間的な変動

- ここまででは単純な「水の総量」の話
- ここからは「水の時間的な変動」の話
- 例えば雨季、乾季があるようなところでは、総量が減少したとしても、減少は主に雨季で、乾季に少しでも増えてくれれば、人間にとつて都合がよい
  - 森林の「**蒸発作用**」とは別の、もう一つの作用を考える必要がある
  - それが「**平準化作用**」

# 平準化作用のイメージ



# 森林と水の関係における 作用と機能の関係

作用	機能	洪水緩和 機能	水資源かん養 機能
平準化作用 (雨水を一時的に保水し、それを川や地下水にゆっくりと流していく作用)		+	+
蒸発作用 (雨水を一時的に保水し、水蒸気として大気に戻す作用)		+	-

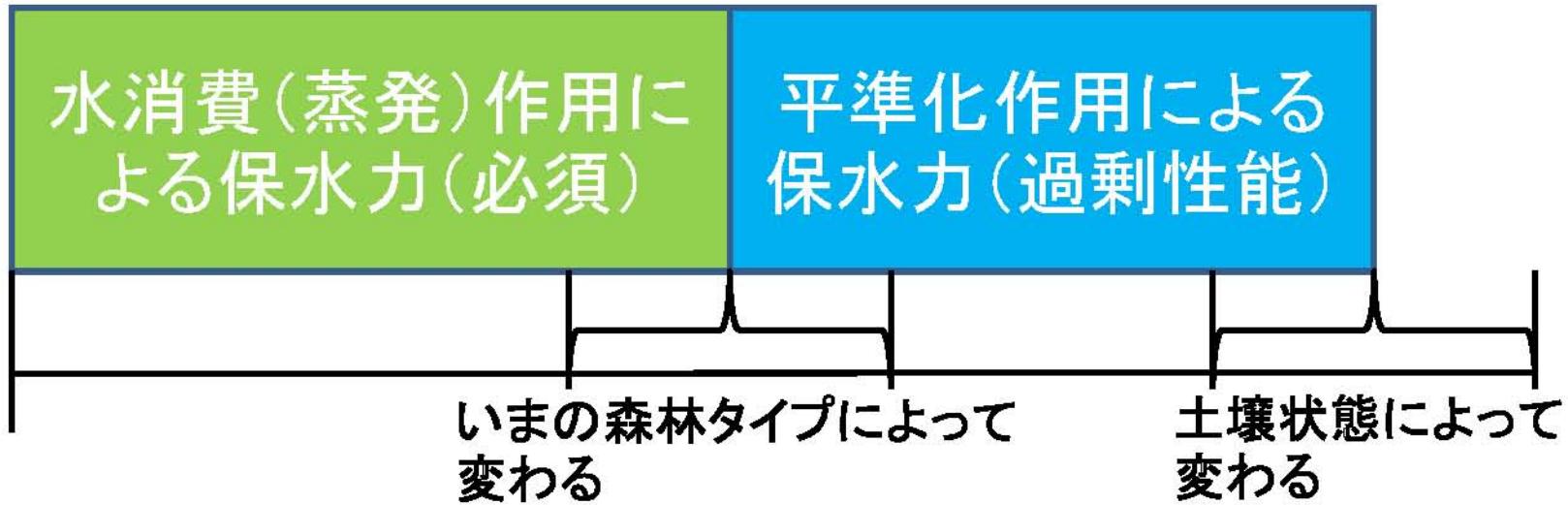
# なぜ森林には「平準化作用」が備わっているのか

- 森林は水を使うので、水を保水しないと生きていけない
- 保水するために、岩盤を碎き、落ち葉や自ら枯れて分解されることで、保水力の高い土壌を作る
- 干ばつにも備えるので保水力に余剰がある（過剰性能）
- それがたまたま人間にとて、とても都合がよかった

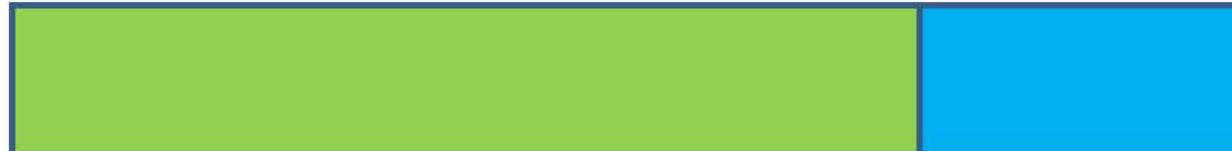
# 蒸発作用、平準化作用、保水力

- 平準化作用
  - 水を一時的に貯留し、川にゆっくり流す
  - 川の水量は変わらないが、流れる速度が変わる
- 蒸発作用
  - 水を一時的に貯留し、川に流さずに蒸発させて大気に返す
  - 川の水量そのものを減少させる
- 両方とも水を一時的に保水することに変わりはない

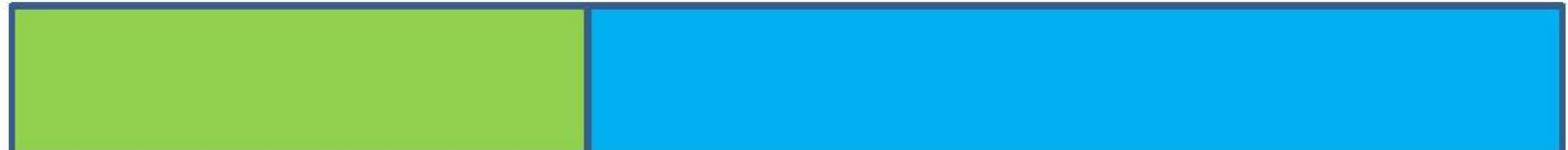
# 森林の2種類の保水力



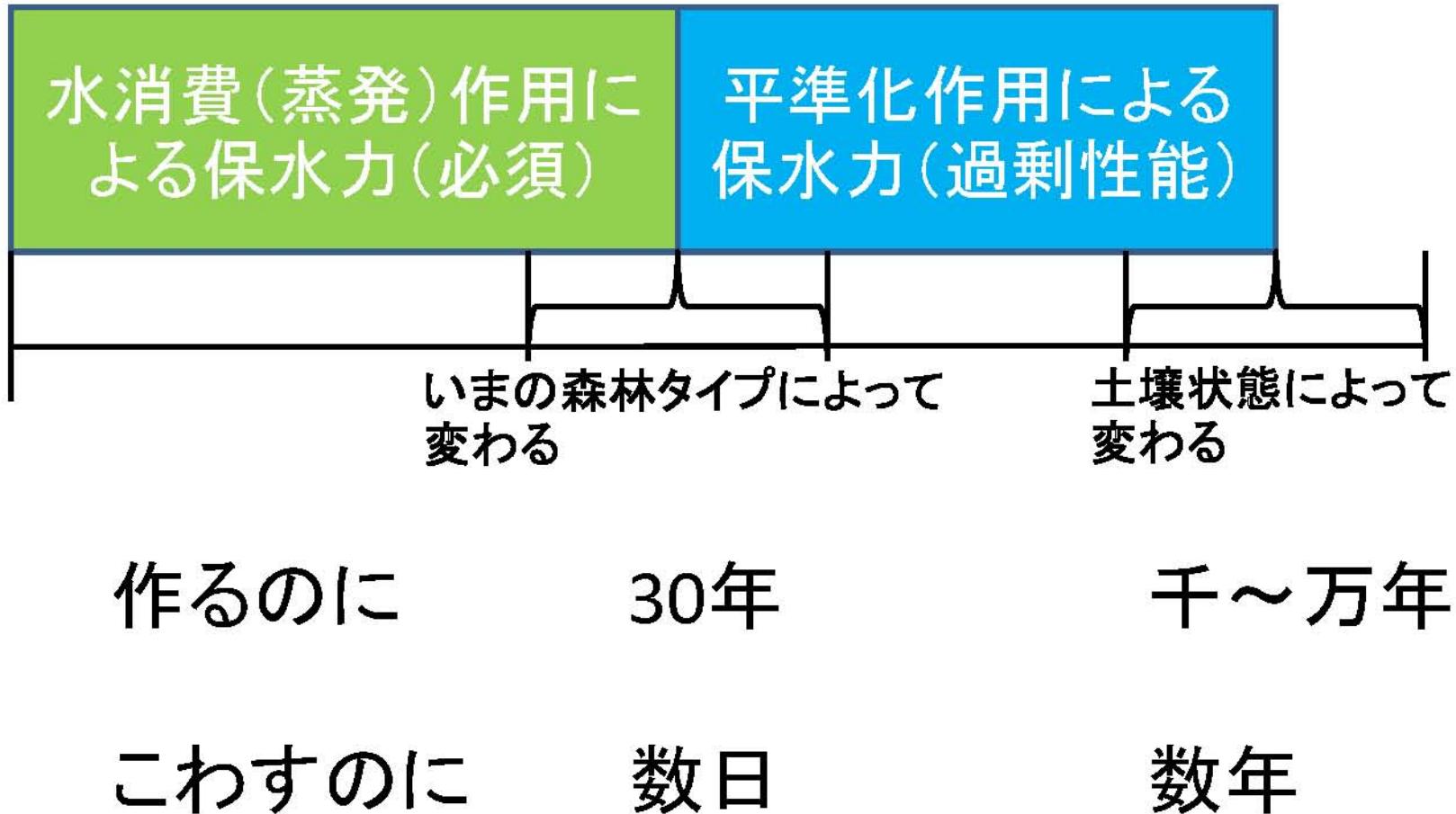
森林が水消費型で土壤が貧弱な場合



森林が節水型で土壤が豊かな場合



# 森林の2種類の保水力



# 土壤をつくる、失う

- 土壌はつくるのにすごい年数がかかる
  - 数千年？ 数万年？
- 失うのは一瞬
  - 土壌を失って滅びた文明
  - 日本でもかつて土壌を失い、ハゲ山になった
- 土壌の再生にはたいへんな手間と費用がかかる
- 雨が少ないところでは極めて困難→沙漠化

# 砂漠化防止のための植林とは

- ・ 沙漠にいきなり木を植えても「緑の水」の保水力がなければ、木は生きてゆけない
- ・ 育つのは水を吸い上げる力が恐ろしく強い種類(ユーカリ等)だけ → 水枯れを引き起こす
- ・ 保水力は土壤によってのみ取り戻せるが、土壤をいったん失うと、取り戻すには長い時間がかかる
- ・ 雨が少なく土壤がないところでの植林ツアへの参加は自己満足

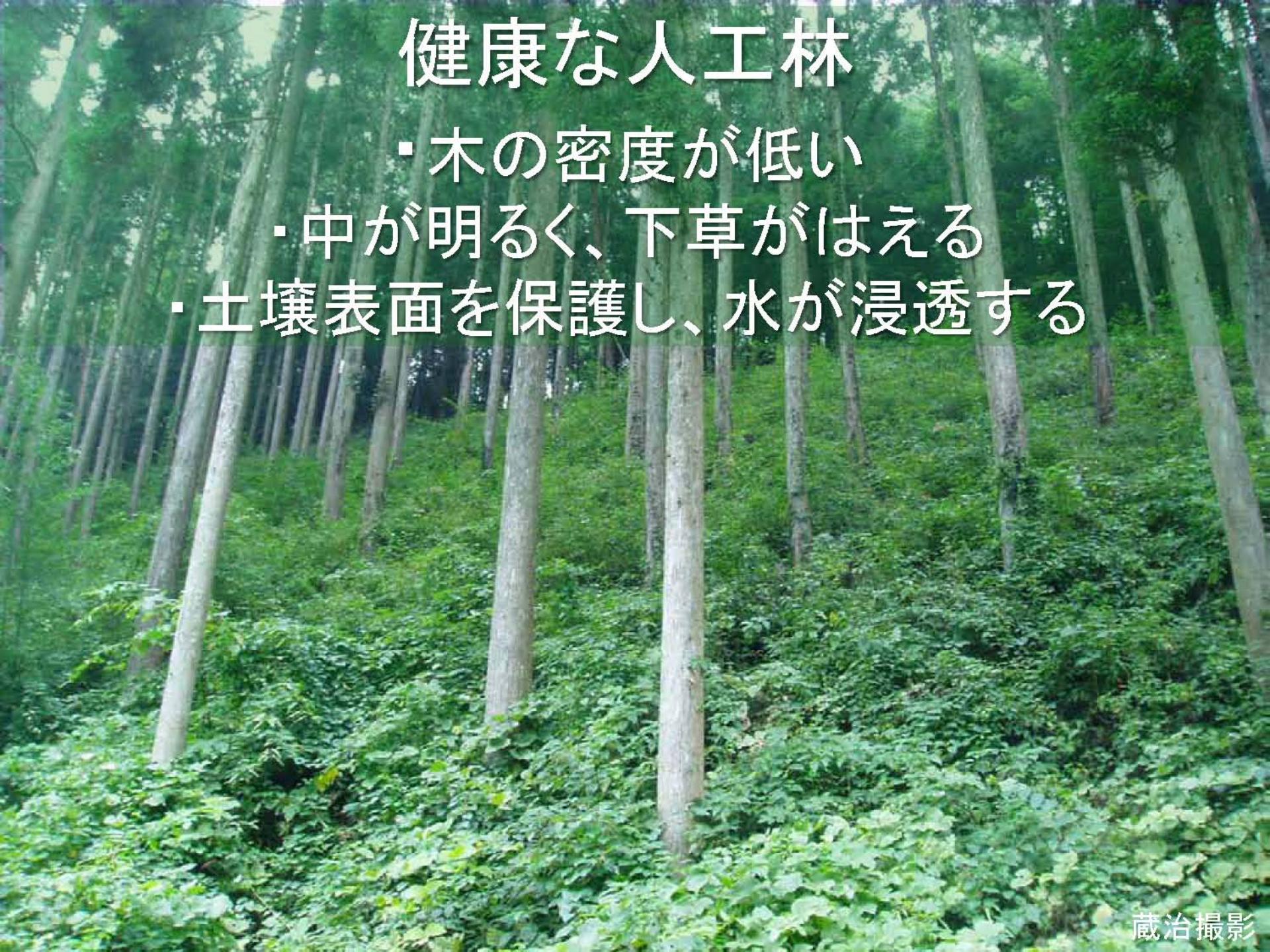
# 日本の教訓

- ・ ハゲ山からの森林再生（よい教訓）
  - 雨が多かったので、助かった
- ・ 木材生産のみを目的として、スギ、ヒノキなど「水消費型の森林」を植林によって造成
- ・ その後、管理を放棄し、土壌が流出。その結果、「青の水」の平準化作用が最も小さい、人間にとて最も都合が悪い森林となる
- ・ 「緑の砂漠」とは、保水力がないのに、木が水を大量に消費する「林の中が乾いた」森

# 不健康な人工林(緑の砂漠)

- ・木の密度が高い
- ・中が暗く、下草がはえない
- ・土壤表面がむき出しになり、水が浸透しない





# 健康な人工林

- ・木の密度が低い
- ・中が明るく、下草がはえる
- ・土壤表面を保護し、水が浸透する

# 森づくりに唯一解はありません 重視する機能を決めれば、解がある

- 木材生産**機能**重視の森
  - 作業道・搬出路を作り、倒木を搬出する
- 洪水緩和**機能**重視の森
  - 作業道・搬出路をできるだけ作らない。倒木は搬出せず、土留め、土壤の原料にする
  - 木は土壤が流れない範囲で、**できるだけ密**に
- 水資源かん養**機能**重視の森
  - 作業道・搬出路をできるだけ作らない。倒木は搬出せず、土留め、土壤の原料にする
  - 木は**できるだけまばら**に

# 現実には

- 水資源だけのための森林管理の例は少ない
  - ニューヨーク： キヤツツキル・デラウェア水源地
  - フランス： ヴィッテル 5,000haの農薬や家畜の規制、下水道処理
  - 日本： 東京都水道局、サントリー、明治用水土地改良区など
- 土地を所有して管理するのが最も確実
- それが困難な場合、次善の策として、受益者による支払い制度
  - 水源税、水道料金上乗せ、水源基金など

# 今後の見通し

- ・水と土地は一体のものとして管理されなければならない(統合的土木・水資源管理)
- ・制度設計と、その運用
- ・経済的インセンティブ
- ・最小限の「緑の水」で最大限の農林業生産を
- ・「より多くの水を手に入れる」から「より効率的に水を使う」、さらに「水を公平に分配する」へ
- ・日本の苦い経験を教訓として、中国、インドなどの「森と水」に貢献できることはたくさんある

# 推薦する3冊の本

- ・『水の革命 森林、食糧生産、河川、流域圏の統合的管理』（イアン・カルダー著、藏治光一郎・林裕美子監訳、築地書館、2008）
- ・『「森と水」の関係を解き明かす 現場からのメッセージ』（藏治光一郎著、（社）全国林業改良普及協会、2010）
- ・『「持たざる国」の資源論 持続可能な国土をめぐるもう一つの知』（佐藤仁著、東大出版会、2011）