



樹林帯の科学と工学

その理解と評価、制御



埼玉大学大学院
浅枝 隆

樹林化現象の国際比較

日本の河川の河岸植生



江戸川



荒川



多摩川



利根川



太田川



渡良瀬川

特徴

- 水際に礫河原、砂州がみられる
- 樹齢は一般に小さい
- 草本群落が卓越している

大陸河川の河岸植生



Missouri River



現在

Mississippi River



Thames River



～100年前

特徴

- 水際まで高木に覆われている
- 礫河原・砂州はほとんどみられない
- 草原もほとんどみられない



Trondheim 近郊
地質:石灰質

大山脈近郊河川の河岸植生

Tagliamento River

著作権のため図を削除

Bramaputra River

著作権のため図を削除

Cellina River

著作権のため図を削除

特徴

- 水際と樹林帯との間に広い礫河原がみられる
- 樹齢は大きい
- 草本群落は少ない

わが国の砂河川

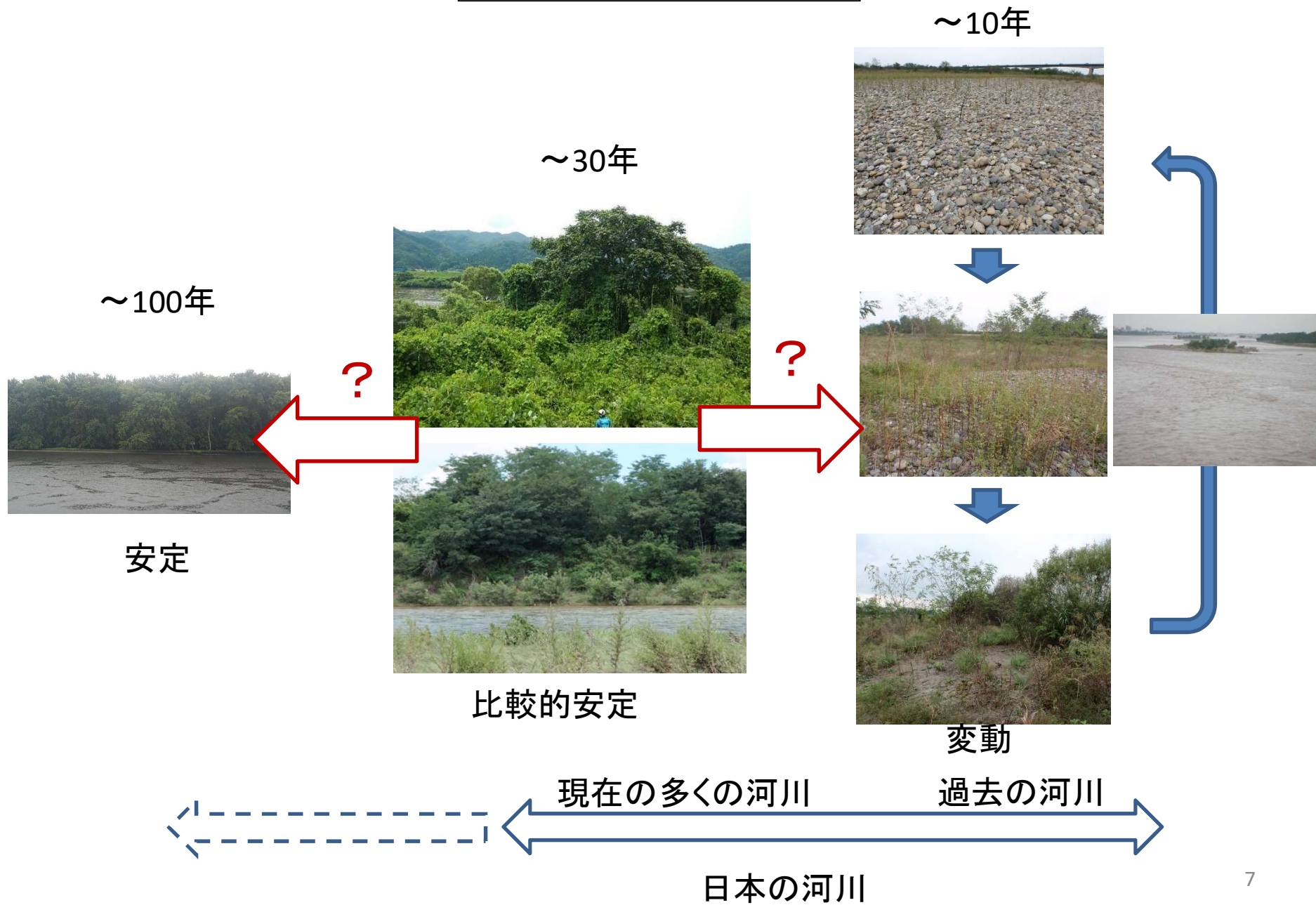


特徴

- 水際まで植生で覆われている
- 樹齢は高低混合
- 草本群落が多い



樹林化現象の系統的比較



既存の研究対象

～10年



～30年



比較的安定

変動

現在の多くの河川

過去の河川

日本の河川



背景



Danube River

著作権のため図を削除

Mississippi River

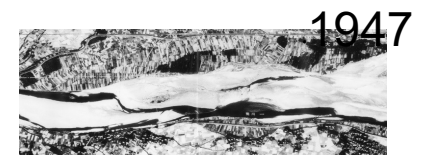
Meandering channel : relatively stable

~(100yrs)

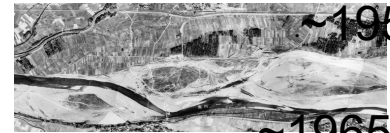
Non-bank: relatively low inundation depth

植生遷移の時間スケール ~O(100yrs)

高木への遷移が可能



1947



~1955



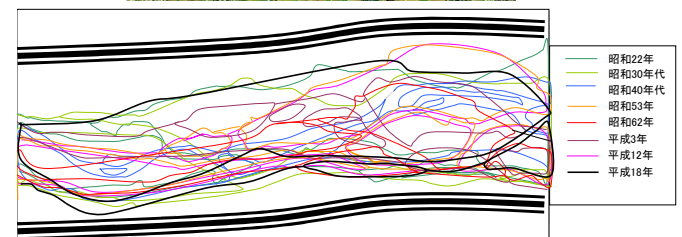
~1965



1978



1991



Japanese Rivers : unstable ~(10yrs)

Bank confined : high inundation depth

植生遷移の時間スケール~O(10yrs)

樹木も10年程度の周期で更新



Missouri River



Mississippi River



Thames River



特徴

- 水際まで高木に覆われている
- 礫河原・砂州はほとんどみられない
- 樹齢は極めて大きい(～100yrs)
- 草原もほとんどみられない



Trondheim 近郊
地質:石灰質

遷移のパターン

日本の河川



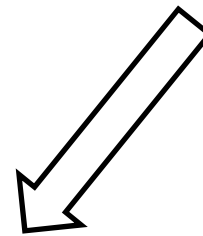
平原の河川



低い
低次元領域
高い
高次元領域
高い



エコシステムエンジニアリング
細粒土砂捕捉、栄養塩供給
パイオニア種優占



時間経過

競争 K戦略者優占

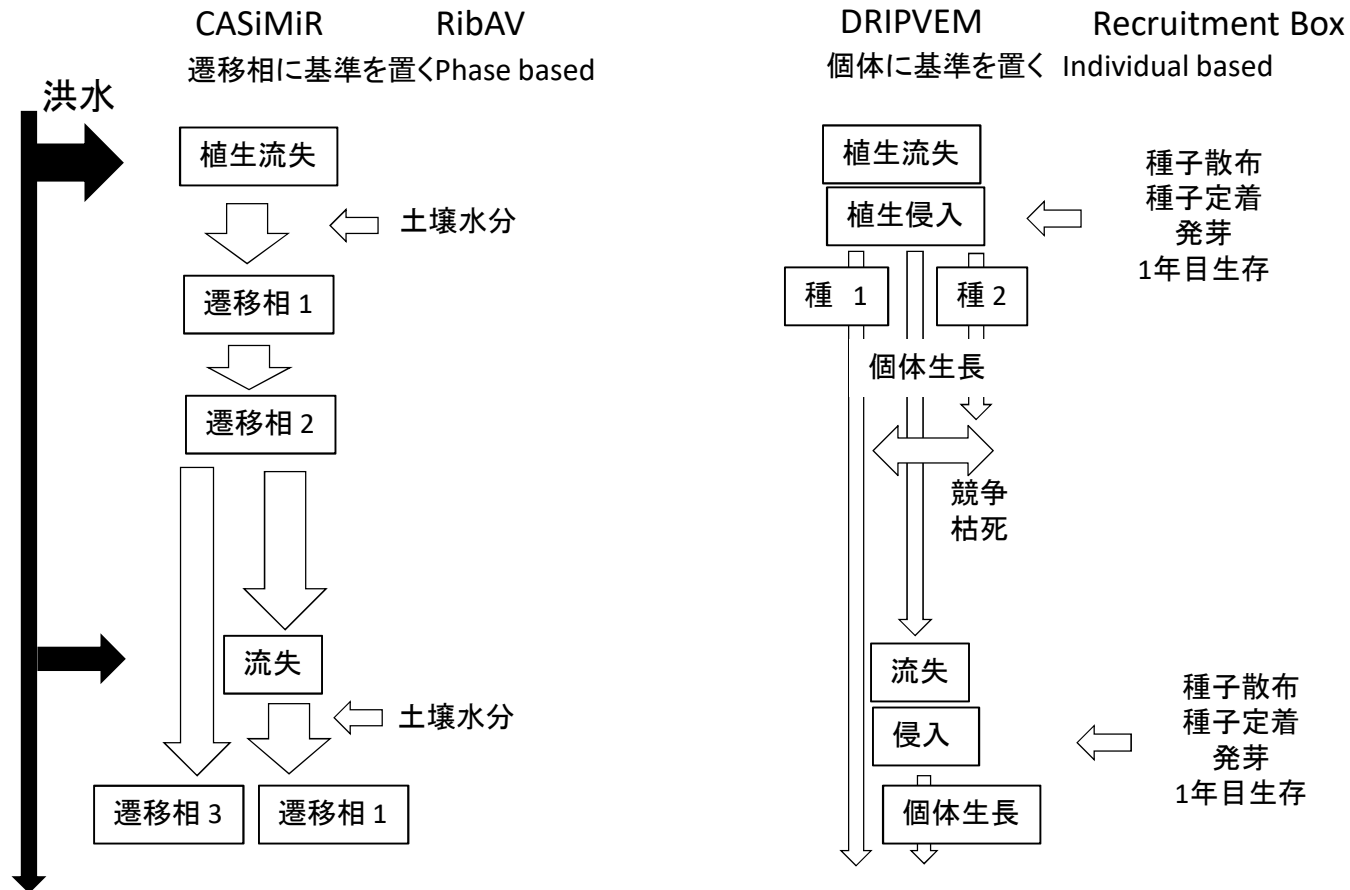


低い 洪水頻度
洪水後長期間経過

高い
洪水直後



樹林化モデルの基本的考え方



特徴

- 長期間(～100yrs)を対象
- 自然の氾濫原を含む広い領域が対象
- 十分な地形データ、水文データは必要としない
- 植生タイプの把握が目的

- 短期間(～10yrs)が対象
- 比較的緻密な地形、水文データが必要
- 通常堤外地が対象
- 樹木分布把握も可能

必要となるプロセス

➤ 多数の洪水から経験的にパターン把握

➤ 個体別樹木の動態把握と総合化

河岸樹木の生活史からみた樹林化の特性とモデリング

寿命樹齢

$$\sum_i \frac{d}{dt} (\text{樹木数}) = \underbrace{(\text{種子の定着}) * (\text{生長時の生存率})}_{\text{多数の研究が存在}} - \underbrace{(\text{洪水による流失、枯死})}_{\text{多数の研究が存在}}$$

Phase based model では一定の植生遷移過程を仮定 $\Rightarrow$ 洪水かく乱過程のみで植生パターンを表現

- 洪水頻度・強度が比較的一定
- 洪水後の遷移過程が比較的均一
- それぞれの洪水以前の植生パターンが比較的均一
- 植生の流失を伴う洪水間隔が長い、もしくは、植生遷移の速度が速く、この間の植生遷移が重要



特 徴

- 長期間の比較的ゆっくりとした遷移
 - 広い氾濫原上での緩流速での浅い湛水
 - 細粒土砂上で生ずる植生遷移
 - 比較的均一な植生遷移
 - 洪水かく乱で表現が可能
 - 長期間が対象—変動が対象-データも限られる
- phase based model が適当



特 徴

- 堤外地の変動は激しい
 - 洪水時は高流速、大水深
 - 洪水間隔は短い-遷移は生じにくい
 - 礫河床上の植生定着、生長
 - 局所性が高い
 - 短期間が対象—データは豊富
- individual based model が適当

Kootenai River

著作権のため図を削除

Results of DRIPVEM

Hii River

Sanjaya and Asaeda 2017

observation

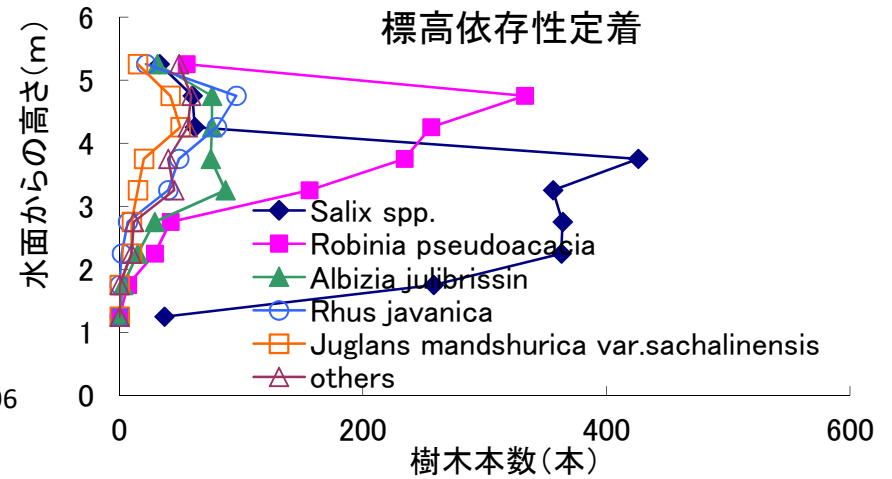
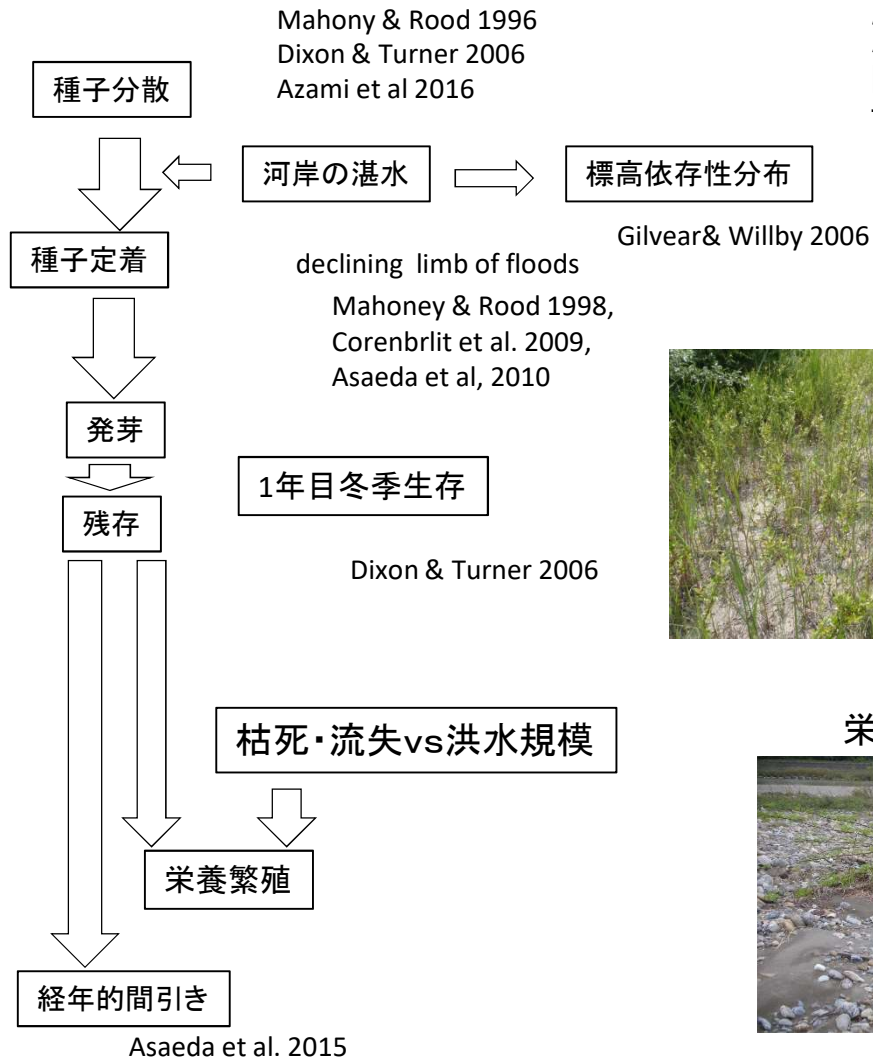
simulation

Results of CASiMiR

Benjankar et al. 2014



樹木の生活史



冬季生存



栄養繁殖



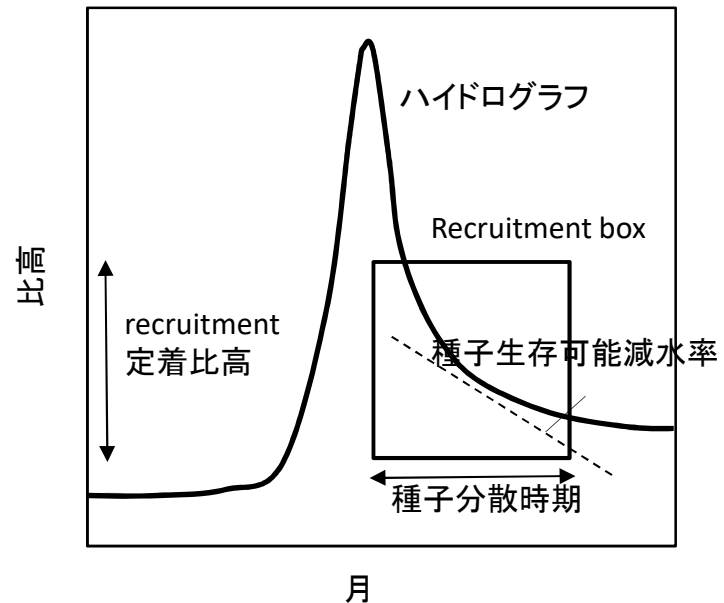
経年的生長及び間引き



定着のパターン

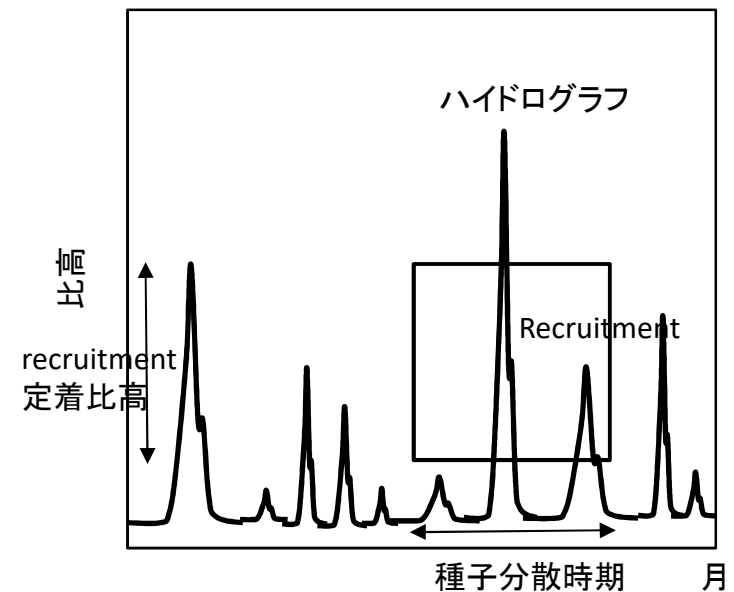
hydrochory

Recruitment Box (季節的水位変動がある場合)



Mahony & Rood 1996

Recruitment Box (わが国の場合)



Asaeda et al. 2012

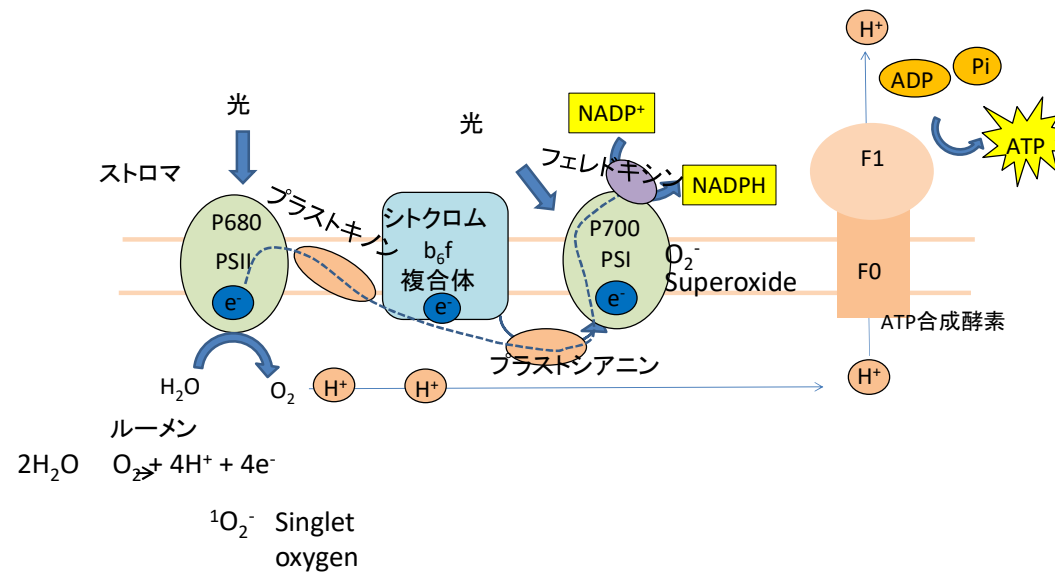
- 種子分散時期: 流下開始
- 徐々に水位低下: 定着比高に定着した種子は発芽・生長
- 急激な水位低下: 土壌水分の急激な低下で種子の枯死
(最大低下率は種子の枯死しない限度内である必要)

- 一洪水の間の流下一定着関係
- 水位上昇期: 一旦定着した種子も流失
- 水位下降期: 流下可能な種子は既に既流下

ストレスの解析

植物の場合：

- 低水分、貧酸素、アレロパシー、流速、日陰、強光などでストレスがかかる。
- ストレスがかかると、光合成効率が低下（光合成に利用される光量が低下、クロロフィル蛍光の増加 F_v/F_M 値の低下 WECで開発中の技術）
- 活性酸素の生成量の増加、抗酸化酵素活性の上昇 など



強光による活性酸素の生成

環境の高ストレス下

強光、塩分、乾燥、有害物質、機械的ストレス

大量の活性酸素ROSの発生

スーパーオキシドディスムターゼ

カタラーゼ
アスコルベートペルオキシダーゼ
など

$O_2^{\cdot -}$ スーパーオキシドアニオン
 $HO^{\cdot}$ ヒドロキシルラジカル
 1O_2 一重項酸素
極めて有害、不安定

抗酸化酵素
(AOX)

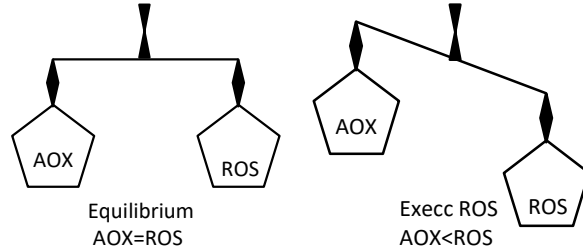
H_2O_2 過酸化水素
有害度は低い、安定

抗酸化酵素
(AOX)

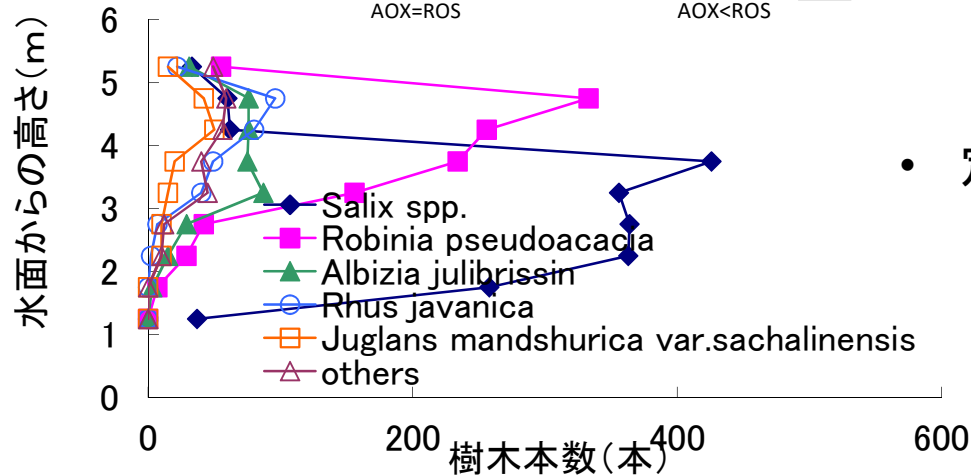
H_2O O_2

平常状態

ストレス状態：ROSが増加

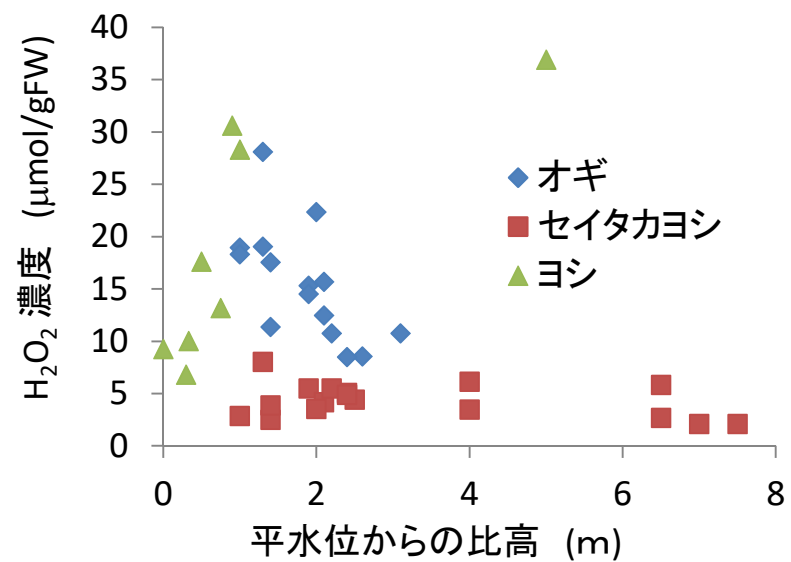
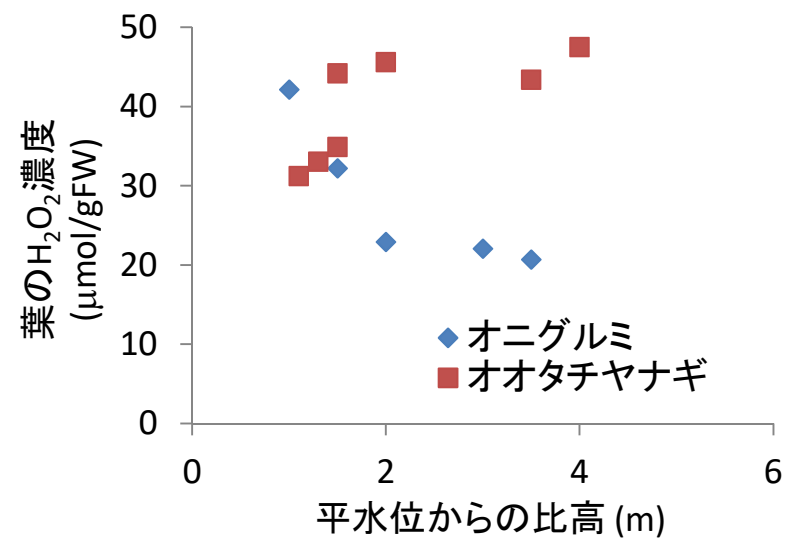


H_2O_2 濃度からストレス状態の評価



・ 定着比高の分析等、様々に利用可能

定着比高

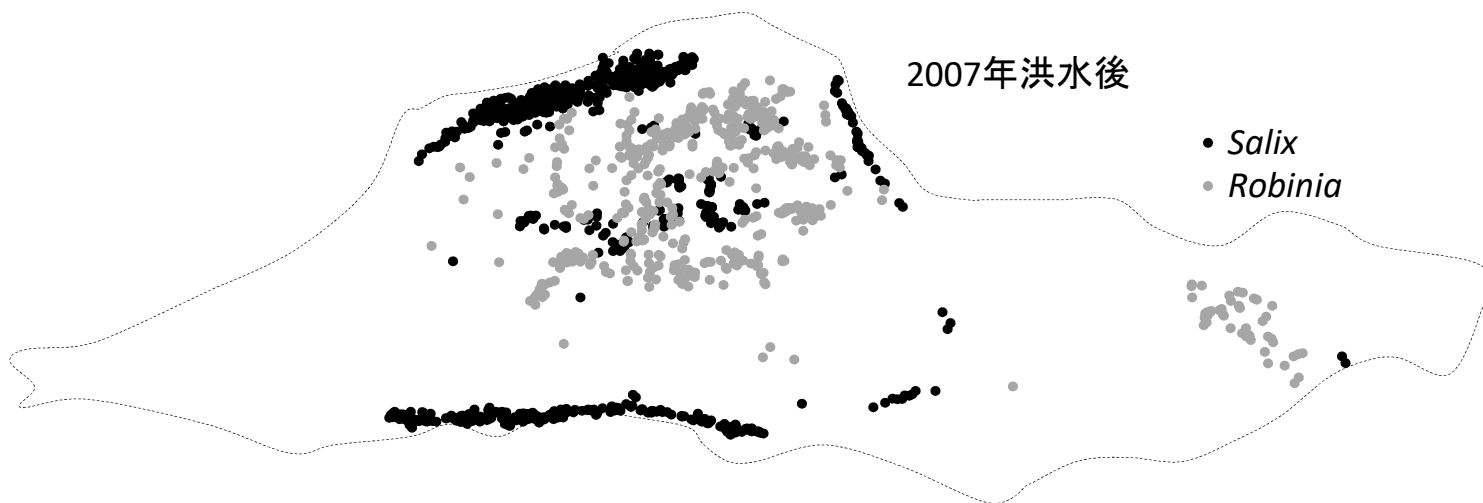


荒川大麻生砂州の場合

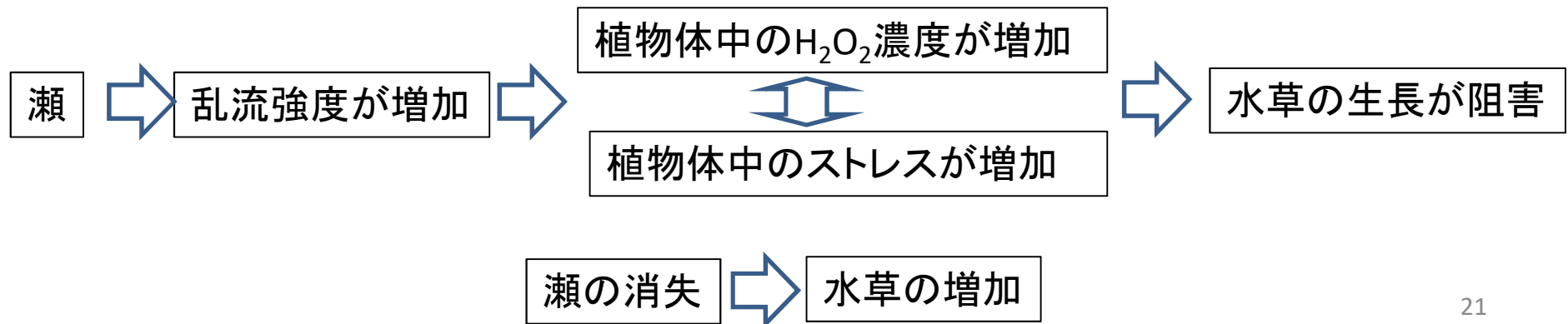
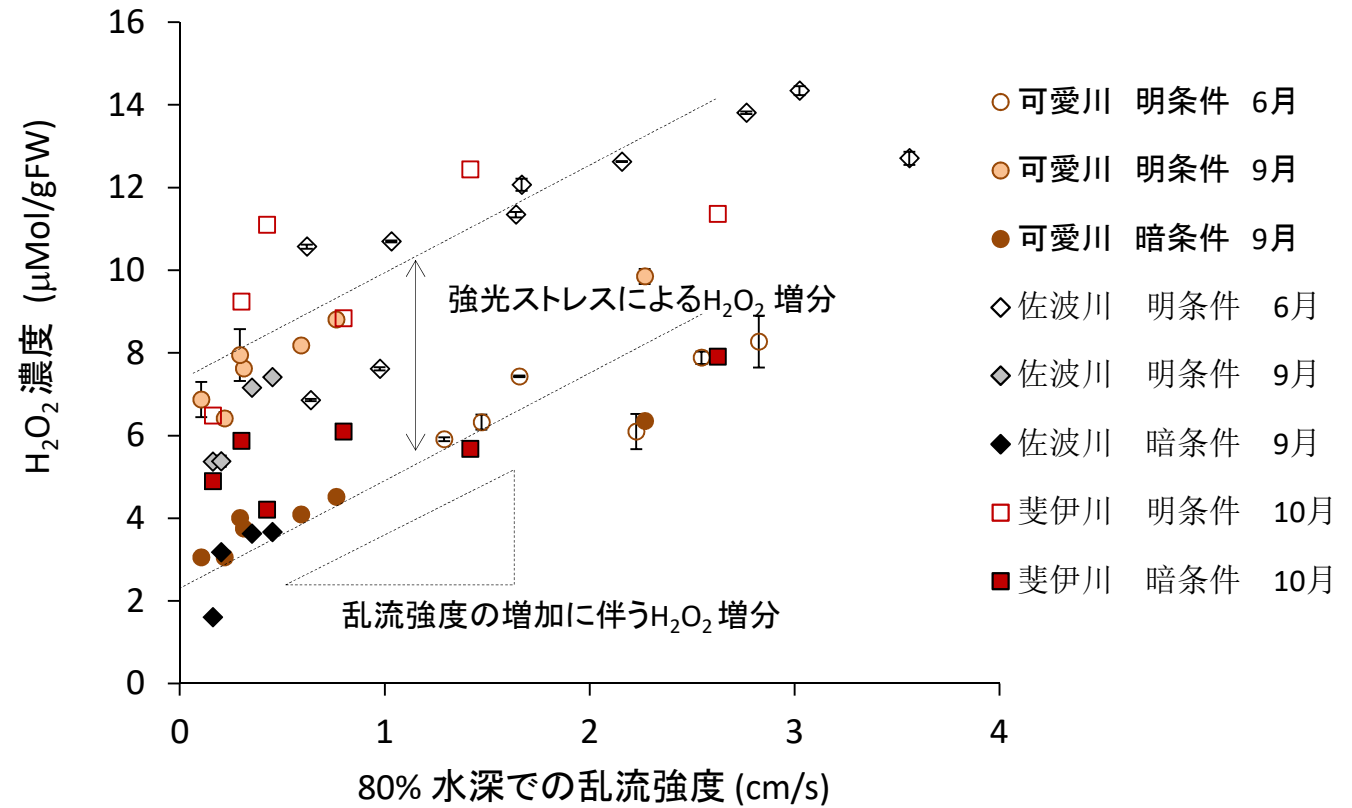
2007年洪水前



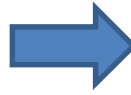
2007年洪水後



ストレス解析の利用の例 オオカナダモの生育特性の把握



経年的間引き



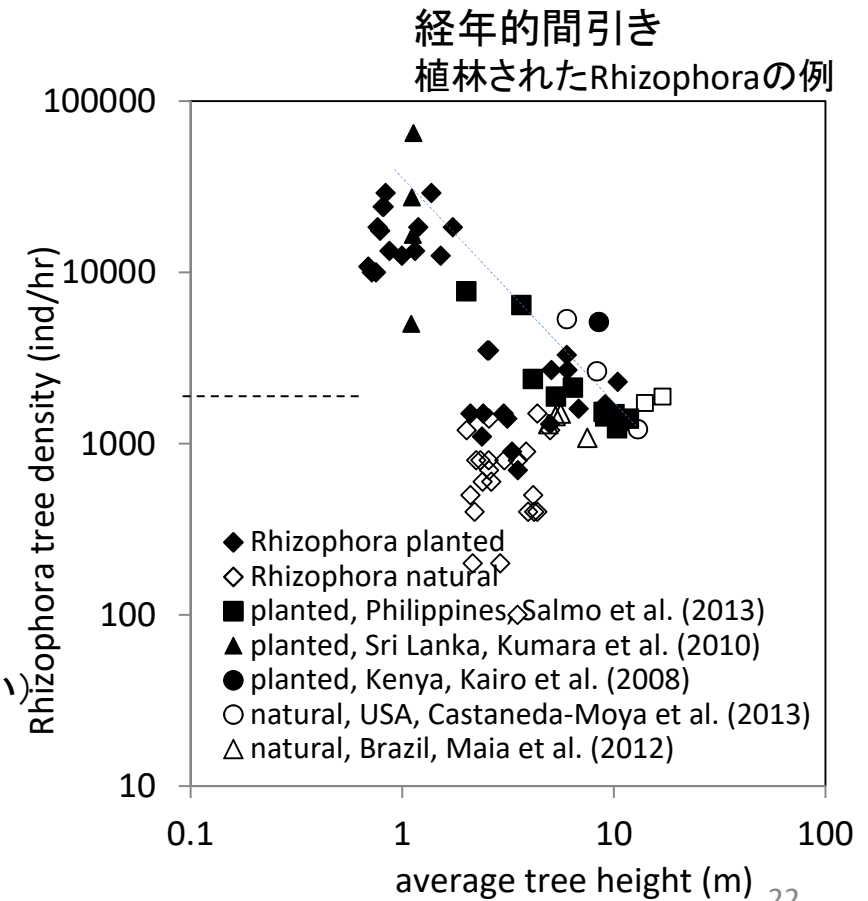
わが国の河川：多くは流失・生長の繰り返し

大陸平原河川：概ね平衡状態（生長した樹木の流失は少ない）



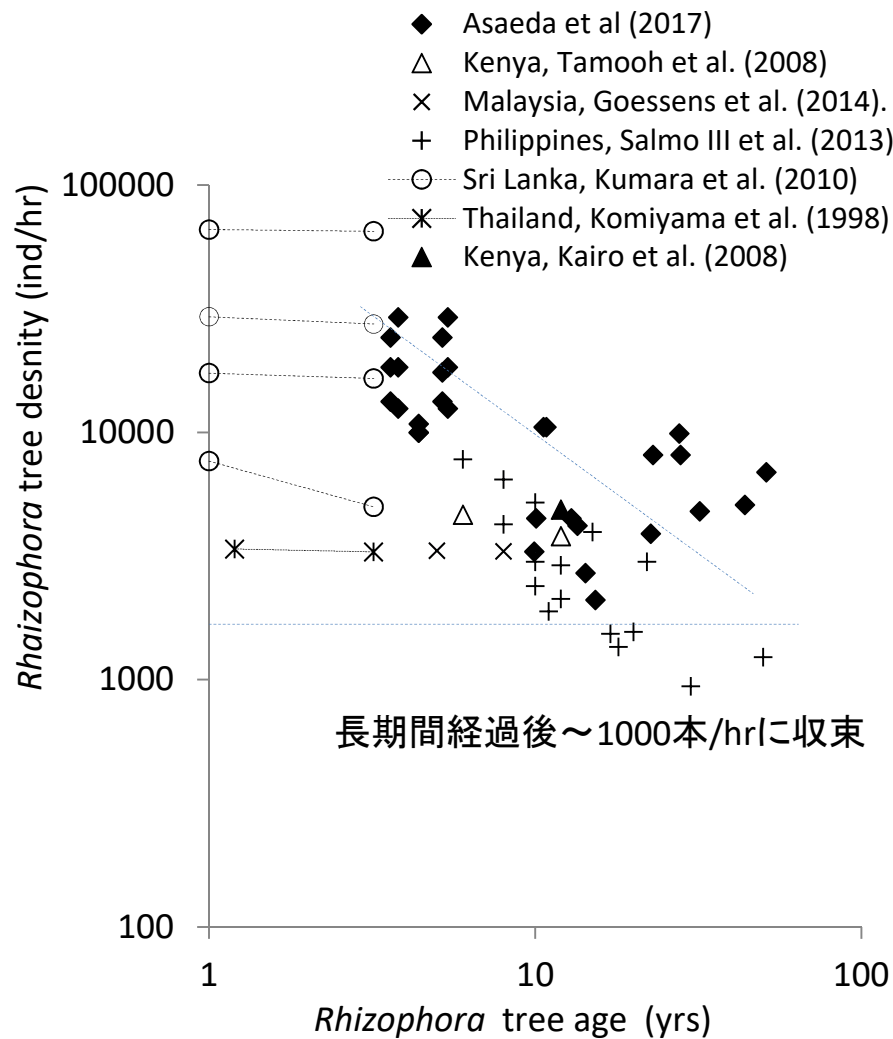
Mississippi River

- 定着後の生長は間引きを伴う
- 単一種の場合、50年程度経過後
最大～1000-2000本/ha 程度

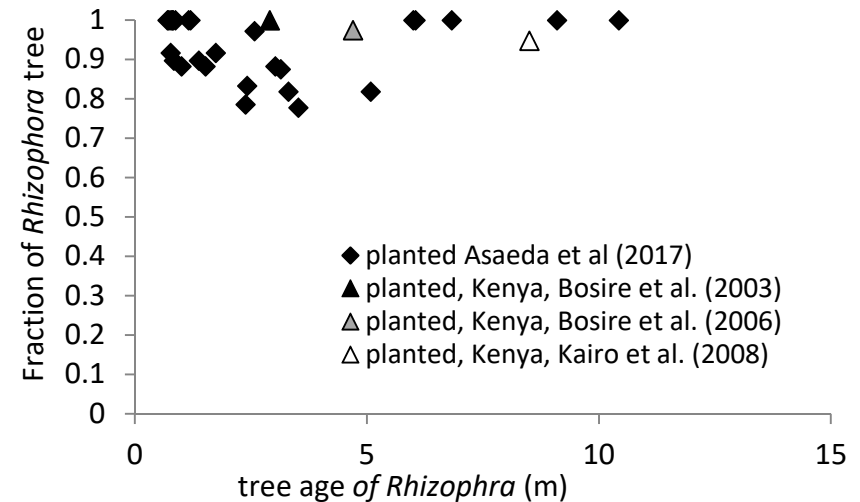


マングローブ植林からの群落特性変化の類推

植林されたRhizophoraの経年変化



- 樹齢が明確で一定
- 初期樹間が一定
- 潮位変動により多種の種子は常時侵入



長期間経過後も多種の定着は僅か

樹木定着制限要因

- 大陸平原河川 : 河岸樹木は概ね平衡状態
流域開発による微細土壌の流入、水際草本類の増加
- 日本の河川 : 多くは樹木の流失・定着の繰り返し
流失・定着・生長制御因子の変化により経年的に変化



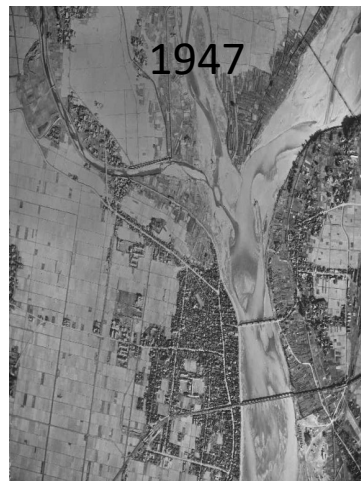
荒川大麻生砂州 2007年9月洪水3年後



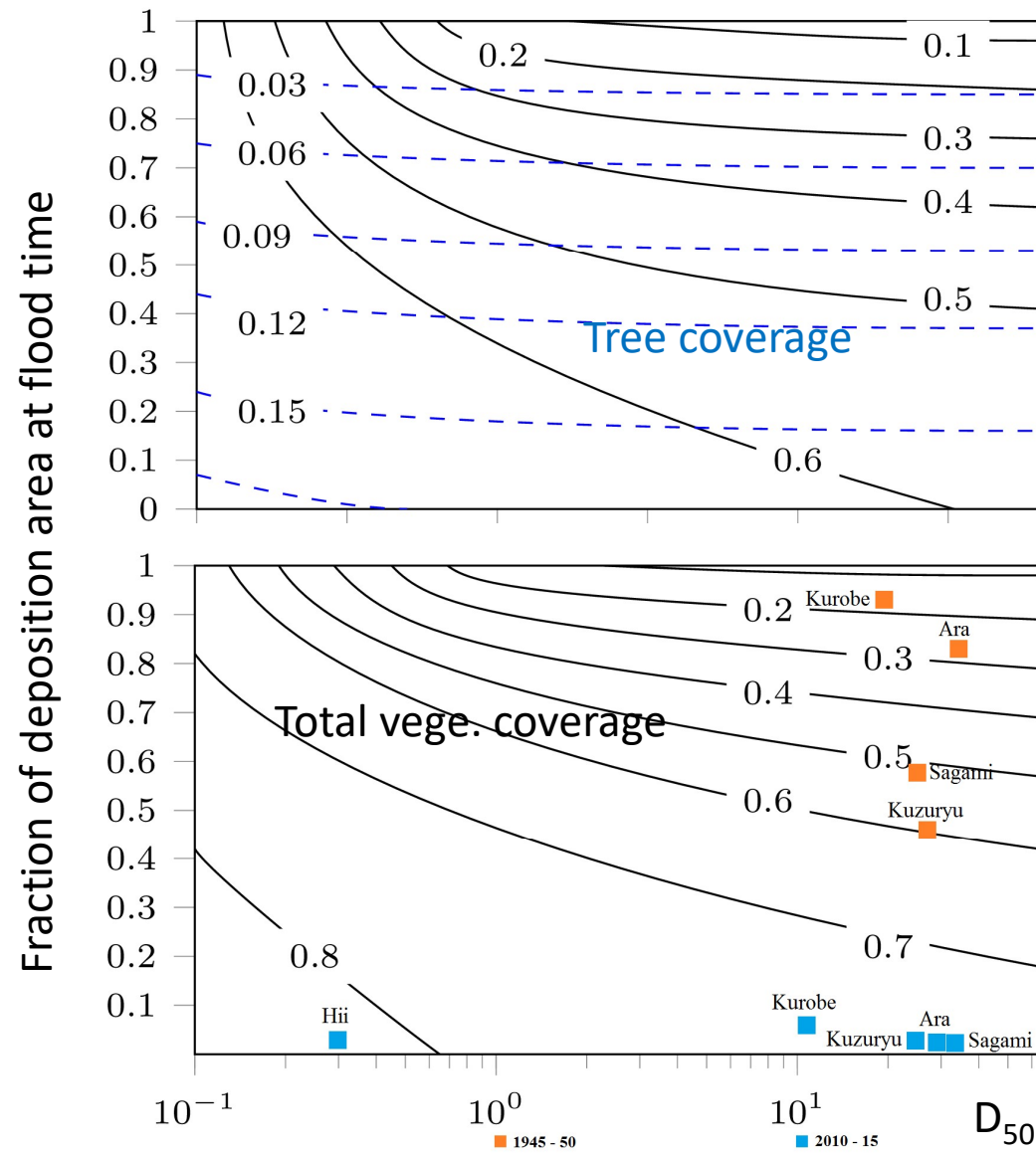
➡ 近年の河川樹林化の要因: 定着・生長の阻害要因としての流動型礫の減少



平原河川の樹林化の形態に遷移の可能性



Vegetation coverage in 50 years



Pueraria lobata クズ



Albizia julibrissin ネムノキ



Robinia pseudoacacia ニセアカシア



土壌の遷移過程
窒素固定

Atmosphere N₂

Mortality,
mineralization

Rhizobia

Frankia

Alnus japonica ハンノキ



Elaeagnus umbellata
アキグミ





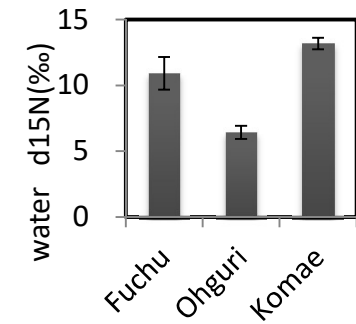
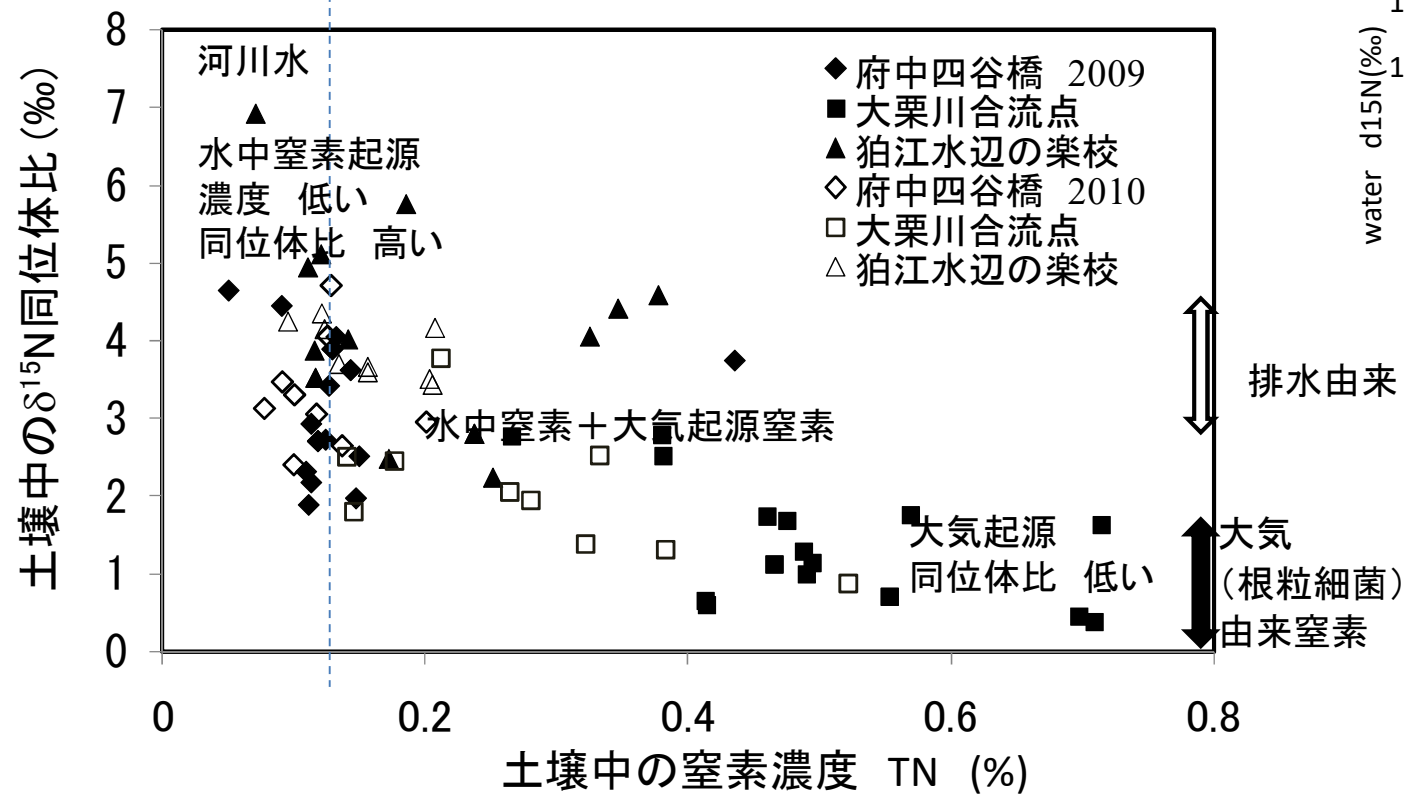
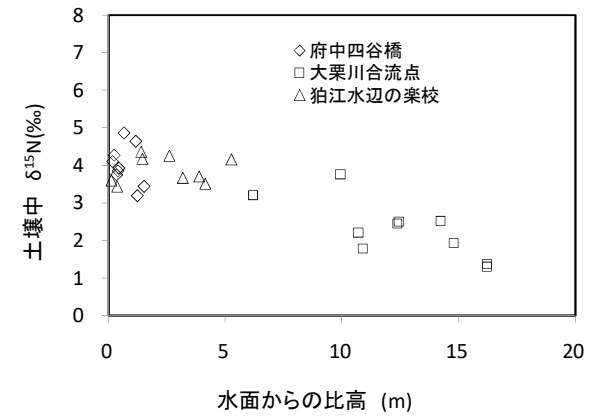
Fuchu
Low elevation
Frequent inundation



Ohguri
High elevation
Rare inundation



Komae
Middle elevation



ま と め

河川の樹林化は大きな問題であるが、

- ◆ 日本の河川で生じている樹林化の状態は必ずしも一般に生じているものではない。海外の異なる特性を有する河川を含めて検討することで、より広範な予測が可能になる。
- ◆ 樹林化は、日本の河川では短期間で変動する状態にあり、大陸の平原河川では、長期間をかけて、樹齢の高い樹木が水際まで覆う、安定化した状態にある。
- ◆ 河道内の礫の減少により、日本の河川の樹林化の状態も大陸河川のものに近づきつつある。
- ◆ 樹林化のモデル化においても、予測する内容に応じて、日本の河川に適したもの（短期間に予測に適した、individual-based）、大陸河川に適したもの（長期間予測に適した、phase-based）を使い分ける必要がある。

Keynote and Special sessions concerning about riparian vegetation in ISE 2018

Keynote session	Title: The ecohydrology of river vegetation Organizer: Dr. Matthew O'Hare (CEH Edinburgh, Bush estate, Penicuik, EH26 0QB, UK) Keywords: macrophyte, ecohydrology, ecohydraulics, riparian, flume
Special Session 15	Title: Restoring River-Floodplain Connectivity and Riparian Ecosystems Organizer(s): Dr. Kumud Acharya (Research Professor, Desert Research Institute, NV, USA), Dr. Mark Stone (Associate Professor, University of New Mexico, NM, USA), Dr. Ryan Morrison (Assistant Professor, Colorado State University, CO, USA), Dr. Shaohua Marko Hsu (Professor, Feng Chia University, Feng Chia, Taiwan), Dr. Yiping Li (Professor, Hohai University, Nanjing, China)
Special Session 17	Title: Riparian Vegetation Processes – Knowledge, Modelling and Management Organizer(s): Dr. Hyoseop Woo (Gwangju Institute of Science and Technology, South Korea), Dr. Takashi Asaeda (Saitama University, Japan), Dr. S.-U. Choi (Yonsei Univ., South Korea), Dr. Mahito Kamada (Tokushima University, Japan), Dr. Gregory Egger (Austria), Dr. Rohan Benjankar (Southern Illinois University, USA), Dr. Félix Francés (Universitat Politècnica de València, Spain), Dr. Onyx Wai (Hong Kong Polytechnic University), Dr. Diego García de Jalón Lastra (Universidad Politécnica de Madrid, Spain) Keywords: riparian vegetation, dynamic succession model, 'white to green' river, adaptive management
Special Session 32	Title: Innovative Methods for Monitoring and Analyzing Riparian and Aquatic Environment Organizer(s): Prof. Hitoshi Miyamoto (Shibaura Institute of Technology, Japan), Prof. Yuji Toda (Nagoya University, Japan), Prof. Yoshihisa Akamatsu (Yamaguchi University, Japan) Keywords: Monitoring technology, computer modelling, riparian and aquatic environment, integration of monitoring and modelling outcomes



Fin

