テーマD．課題対応型の精密な影響評価
生態系・生物多様性に関する気候変動リスク情報の創出

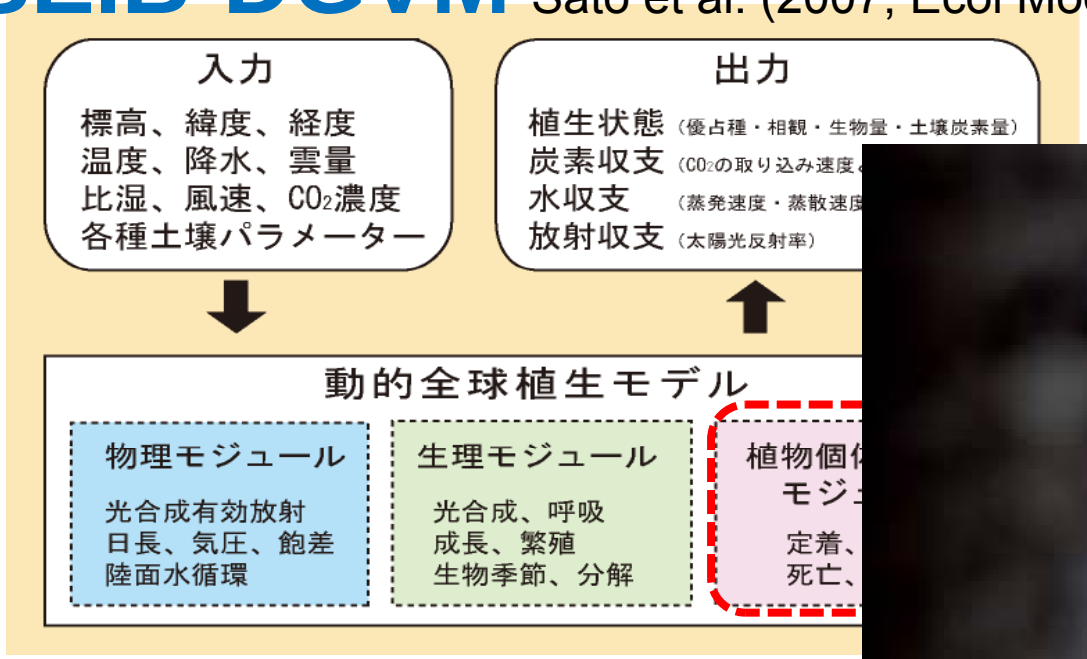
北東ユーラシア・東南アジア熱帯における気候・生態系相互作用の解明と気候変動に対する生態系影響評価

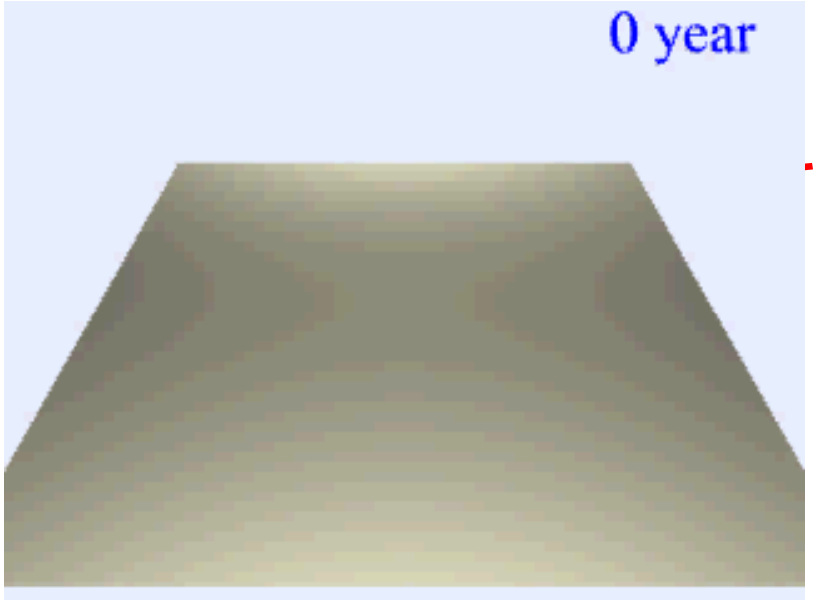
名古屋大学 地球水循環研究センター
熊谷 朝臣

【最終ゴール】

東南アジア、東シベリア、そしてモンスーンアジア全域における植生被覆と生態系機能（いわゆる「緑のダム」効果、炭素貯留機能、土壌流出・浸食リスク、地域の気候に与える影響など）が、今世紀中にどのように変化し得るのか、様々な気候変化予測シナリオと土地利用変化シナリオに基づき予測する。

SEIB-DGVM Sato et al. (2007, Ecol Model 200, 279)





マレーシアの熱帯多雨林（1ha）

SEIB-DGVM（計算時間ステップ：1日）

入力

標高、緯度、
温度、降水、雲量
比湿、風速、CO_2濃度
各種土壌パラメーター

出力

植生状態（優占種・相観・生物量・土
炭素収支（CO_2の取り込み速度と放出速
水収支（蒸発速度・蒸散速度・流出
放射収支（太陽光反射率）

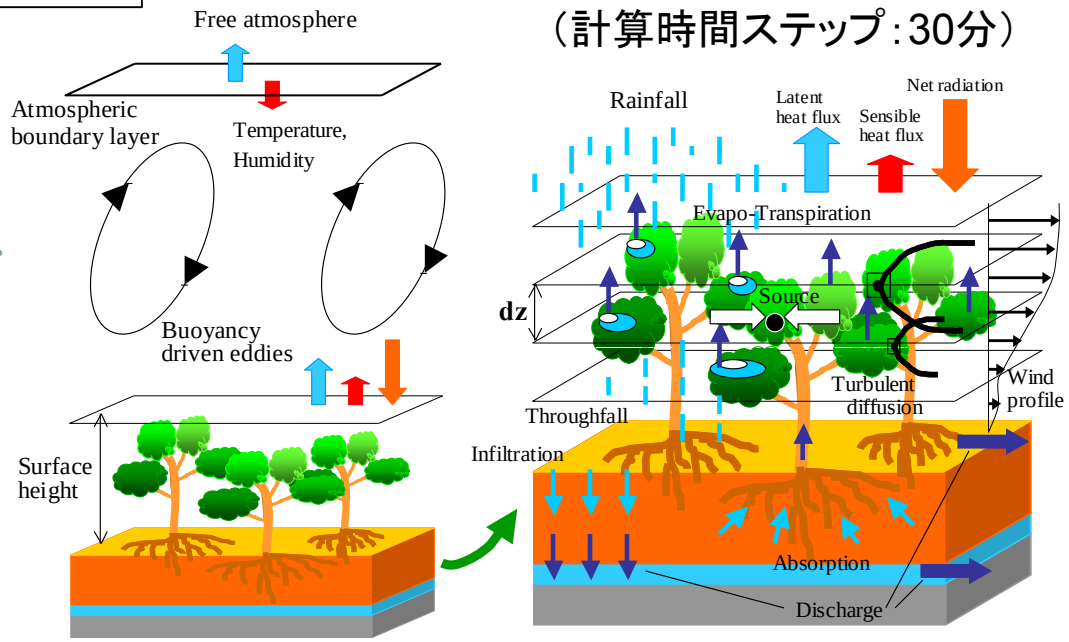
動的全球植生モデル

- **物理モジュール**：光合成有効放射、日長、気圧、飽差、陸面水循環
- **生理モジュール**：光合成、呼吸、成長、繁殖、生物季節、分解
- **植物個体群動態モジュール**：定着、競争、死亡、攪乱

現実的な計算実行性のため、多くの
簡略化・パラメタリゼーション
が適用されている。

土壌・植生・大気結合モデル(SVAT)

（計算時間ステップ：30分）



簡略化・パラメタリゼーション
の理由を探る。

・簡単にできるものは簡単に。
・簡単にしてはいけないものは簡単にしない。

例えば、Kumagai et al. (2006, JGR 111, D10107)

（計画書に記載されている）今年度の計画

・植物生理・生態プロセスモデルの高度化に資する近年の研究成果について、情報収集と整理を行う。例えば、東南アジア熱帯林における乾燥ストレスと木本死亡率の関係などを文献により調査する。
・モデル構築に対して、重要なパラメータを供し、また、モデル正当性確認の重要な資料となる現在実行中の観測の支援。
・世界各所で実施されている極端現象再現実験結果の収集と不足している実験の開始。
・入力用フォーシングデータ、すなわち再解析データや土壌マップなどの入手と整備。モデルに導入できるように単位系や、データフォーマットを整える。

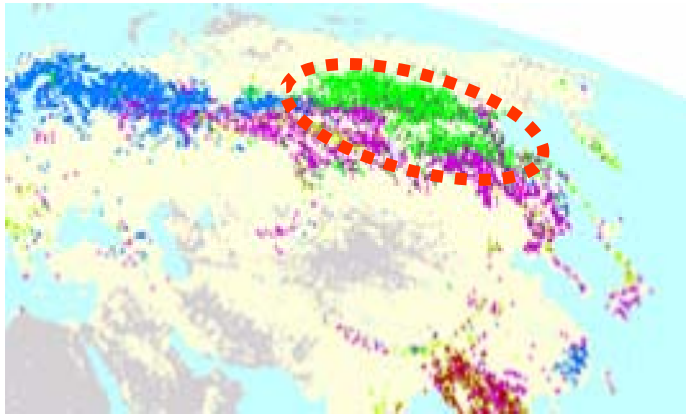
要するに・・・

・モデルを計算するために必要なデータを確保する。
・モデルの正当性を確認するためのデータを確保する。
・データ確保に全力を尽くしつつ、いつでも最高のパフォーマンスを発揮できるよう、モデルのブラッシュアップを図る。

シベリア・カラマツ林における研究

世界で最も広範囲に広がる
針葉樹林

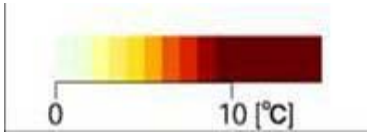
年降水量が
僅か200~300 mmの
潜在的に脆弱な生態系

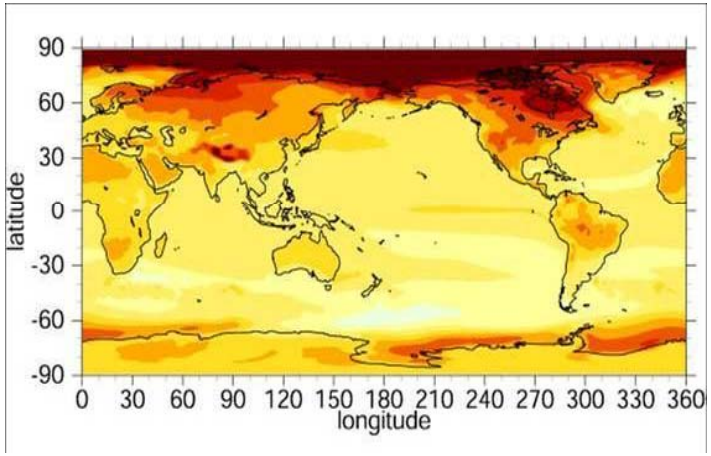


IGBP-DIS Global 1-km Land
Cover data Set (1998)

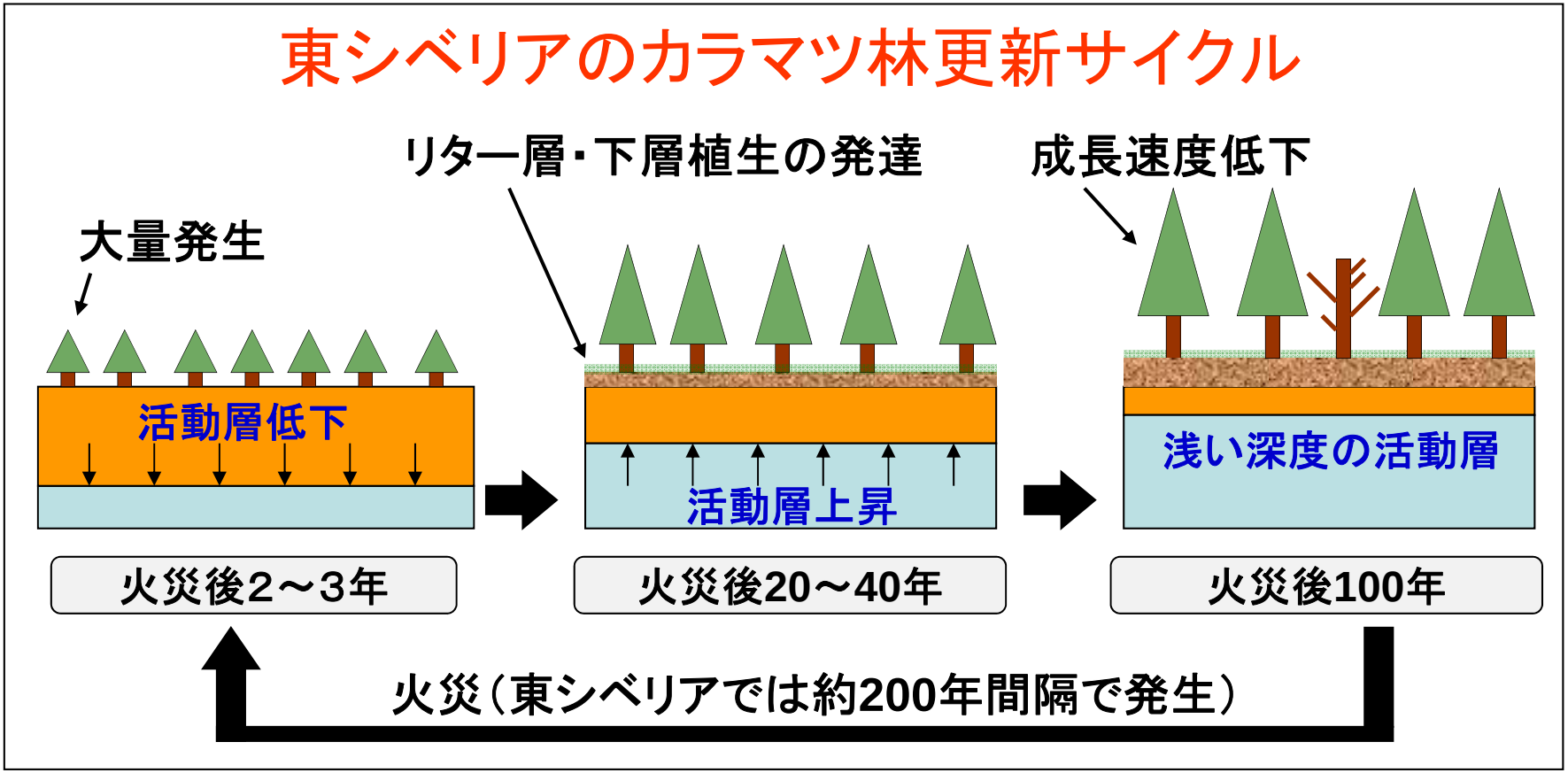
GCM計算結果は、数百年のうちに、この地域が特に温暖化することを予測している。

Predicted global warming by the end of
this century (CCSR-NIES-FRCGC)





火災後の水文学的変化

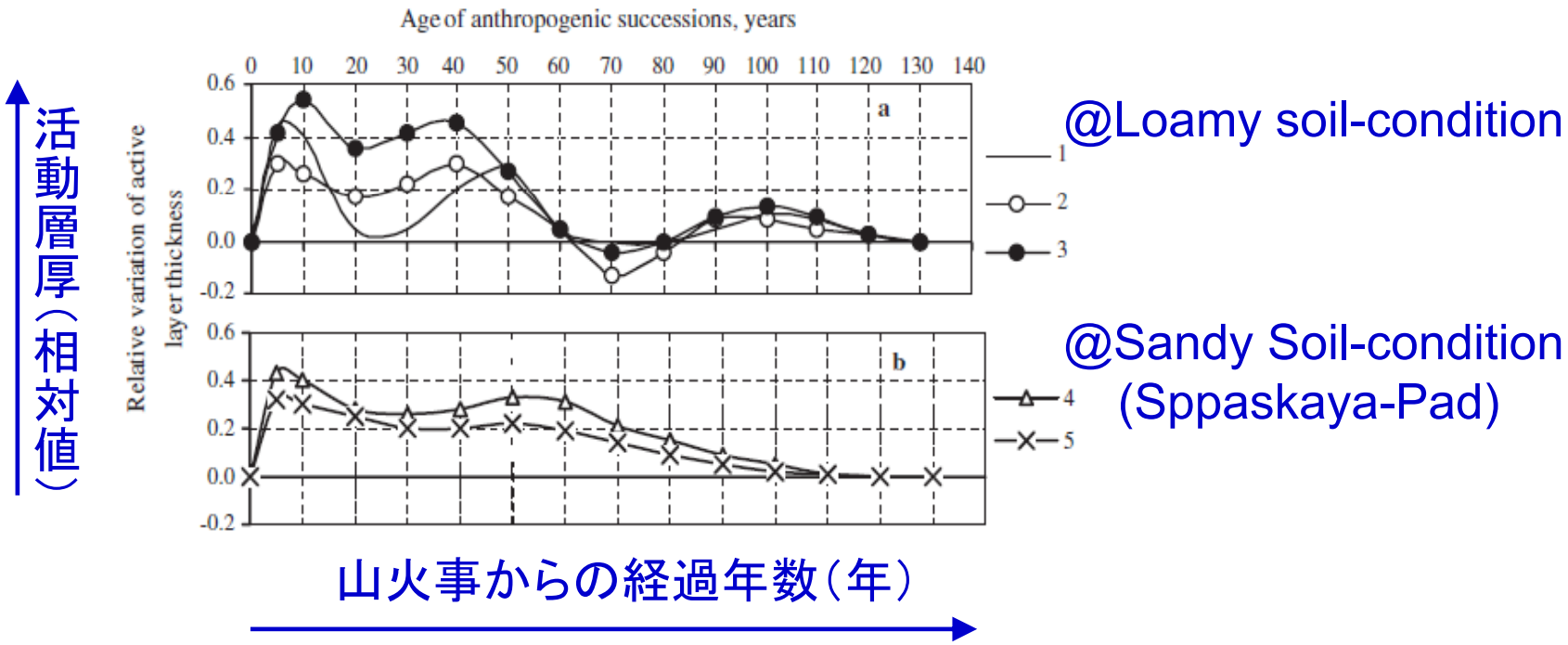


土壌物理サブモデルの導入が必要

次に、森林発達各段階での感度分析が必要

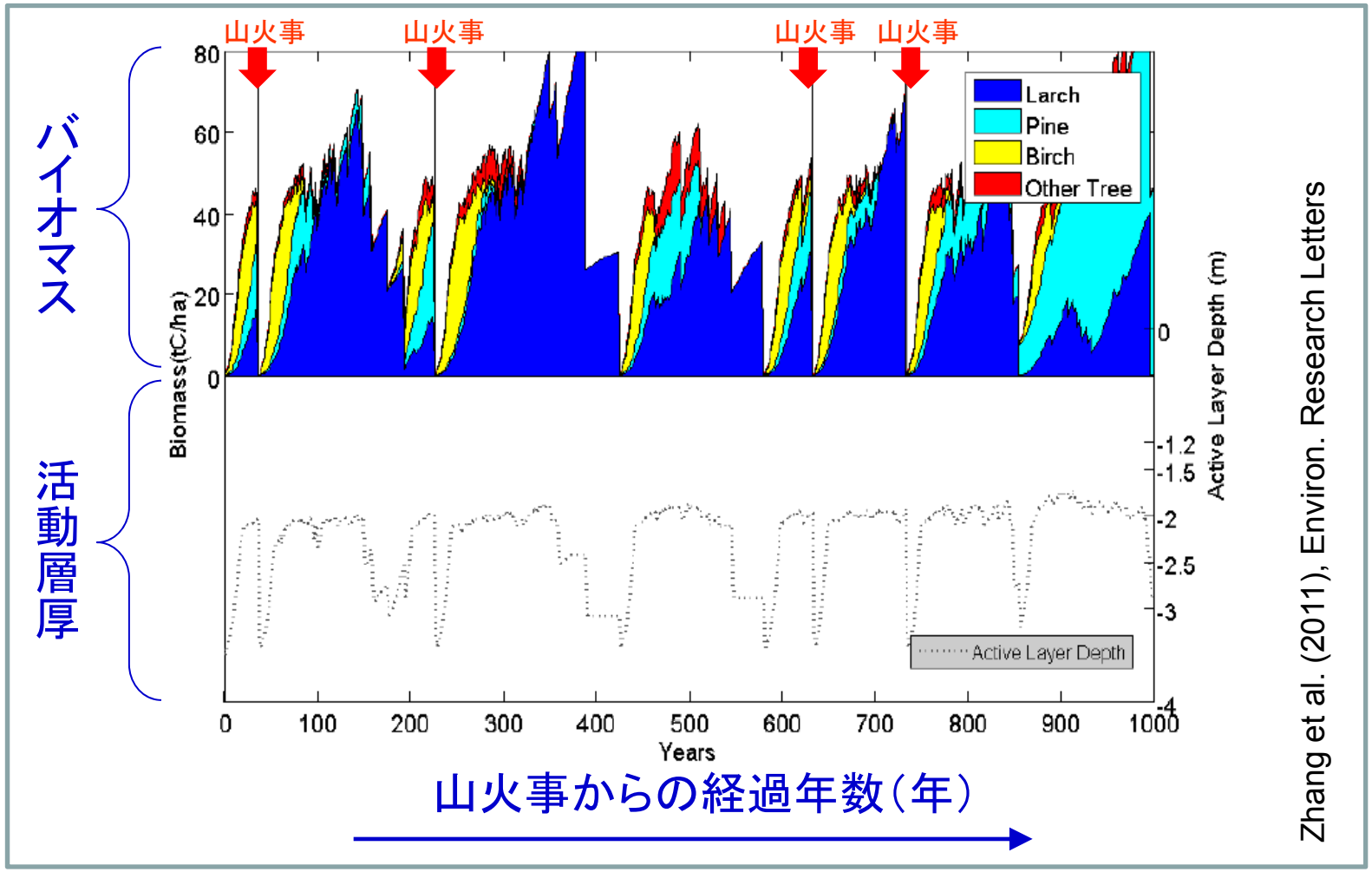
ヤクーツクにおける山火事後の活動層厚の経年変化（観測値）

Vasiliev & Fedorov (2003), 8th Int. Conference on Permafrost



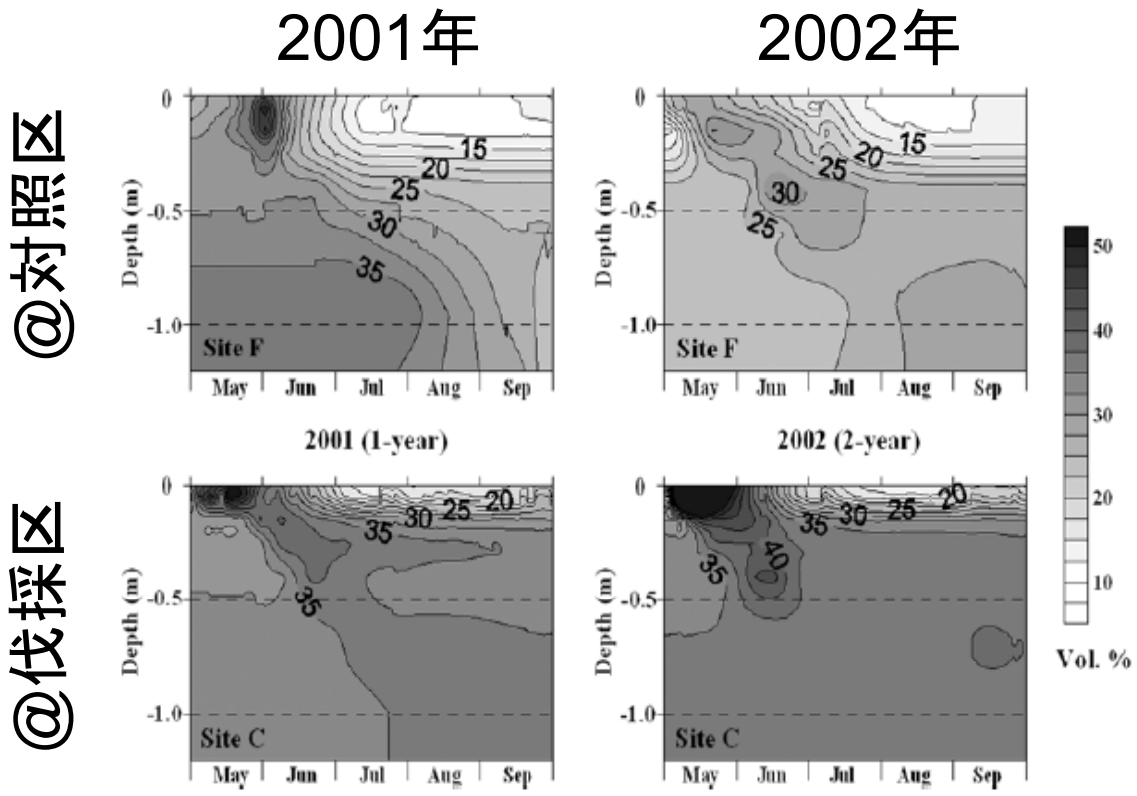
観測によると、活動層厚は、山火事直後に深くなり、
その後60～100年ほどかけて徐々に元の深さに戻っていく

ヤクーツクにおける山火事後の活動層厚の経年変化（シミュレーション値）



このような経年変化は、既存のモデルでは的確に扱えていない

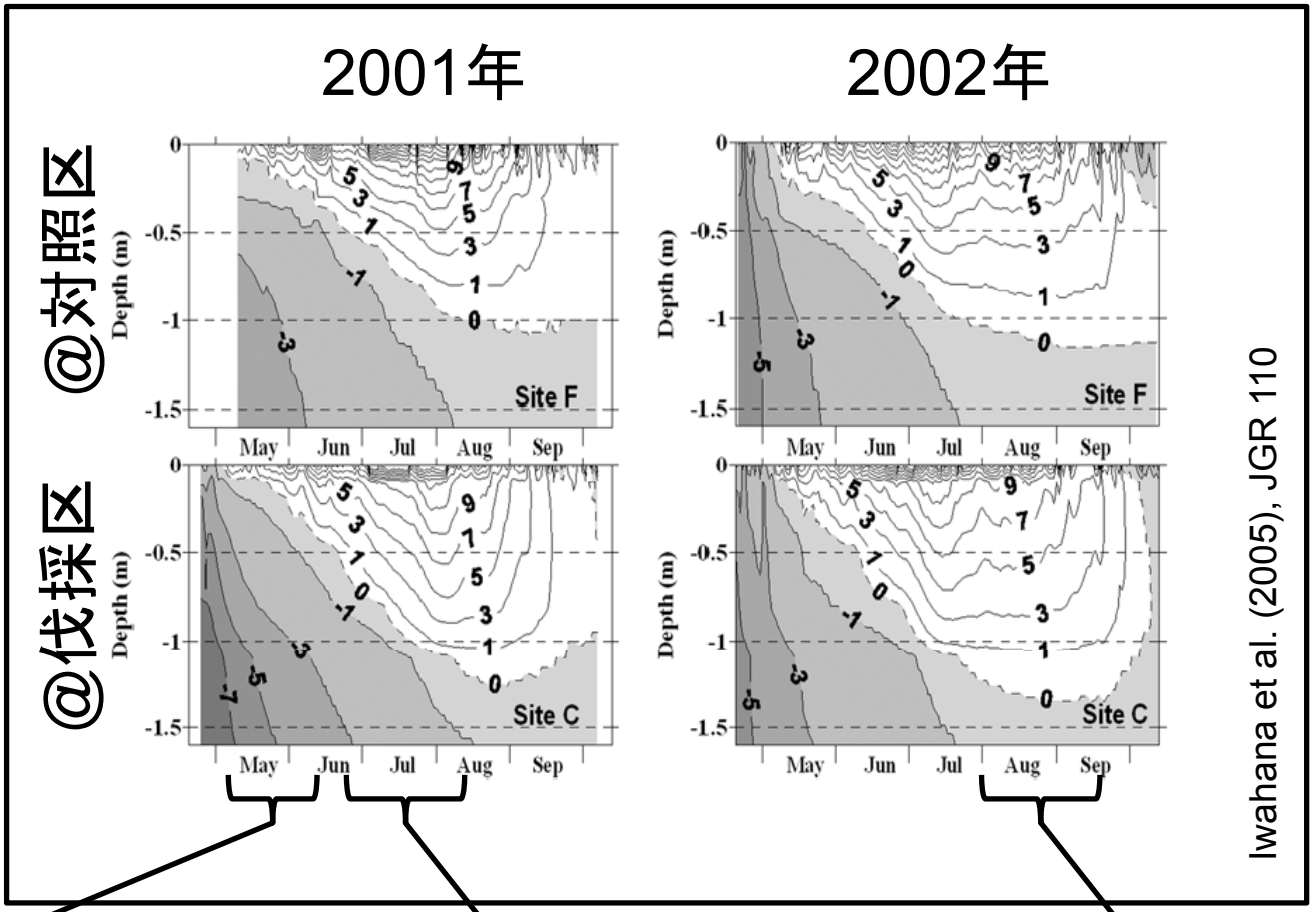
結合モデルの検証に利用する予定の観測データ（土壌含水率）



Iwahana et al. (2005), JGR 110

伐採区では、植生による蒸発散量が激減するため、成長期間にも土壌含水率が高く保たれる

結合モデルの検証に利用する予定の観測データ（土壌温度）

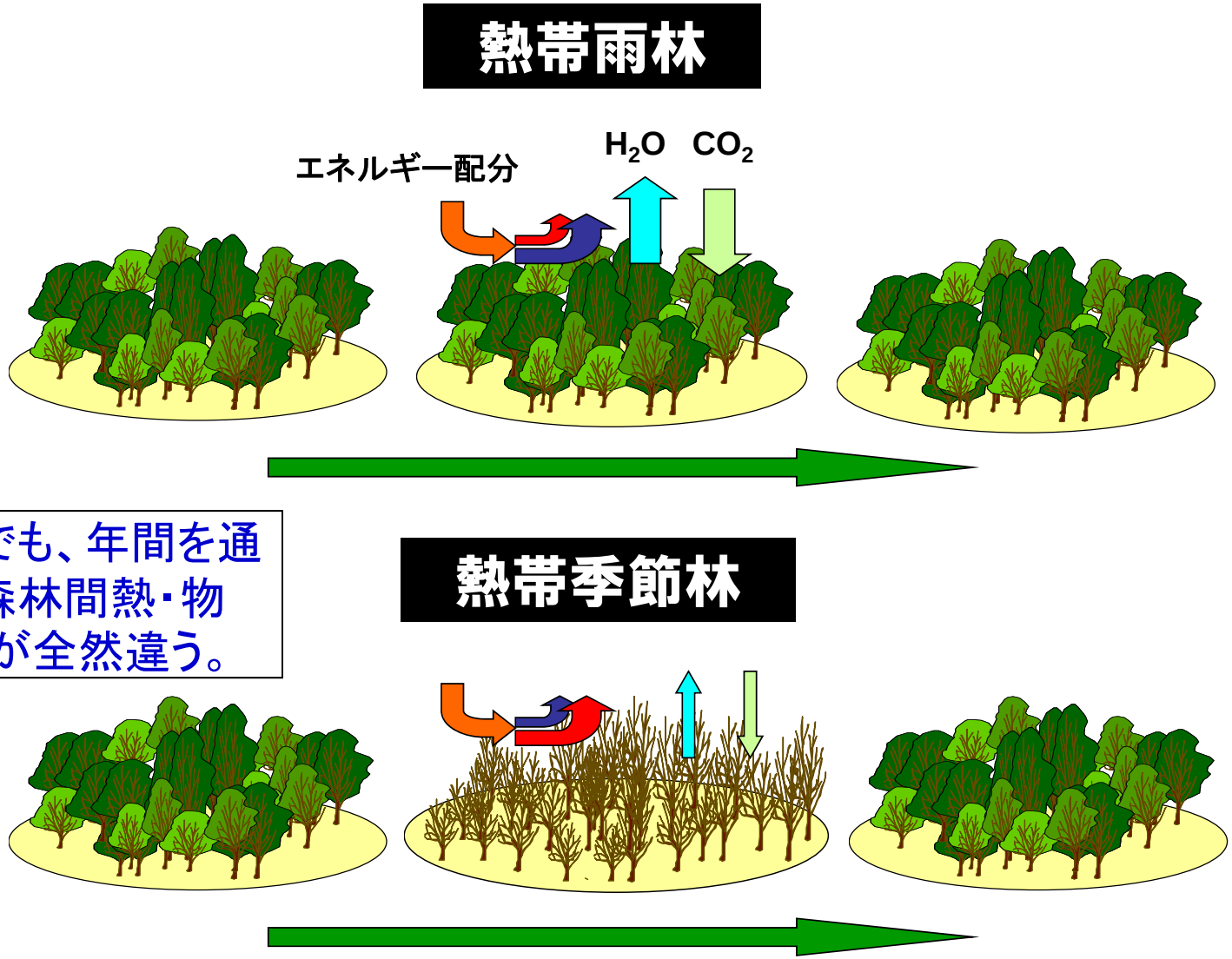


伐採区では、大気との熱交換が生じやすいので、最初の春では、より冷たい

同じ理由で、より早く温まる

伐採区では、土壌含水率が高く熱容量も高いが、やはり温まりやすいトレンドは続く

タイ・熱帯季節林における研究

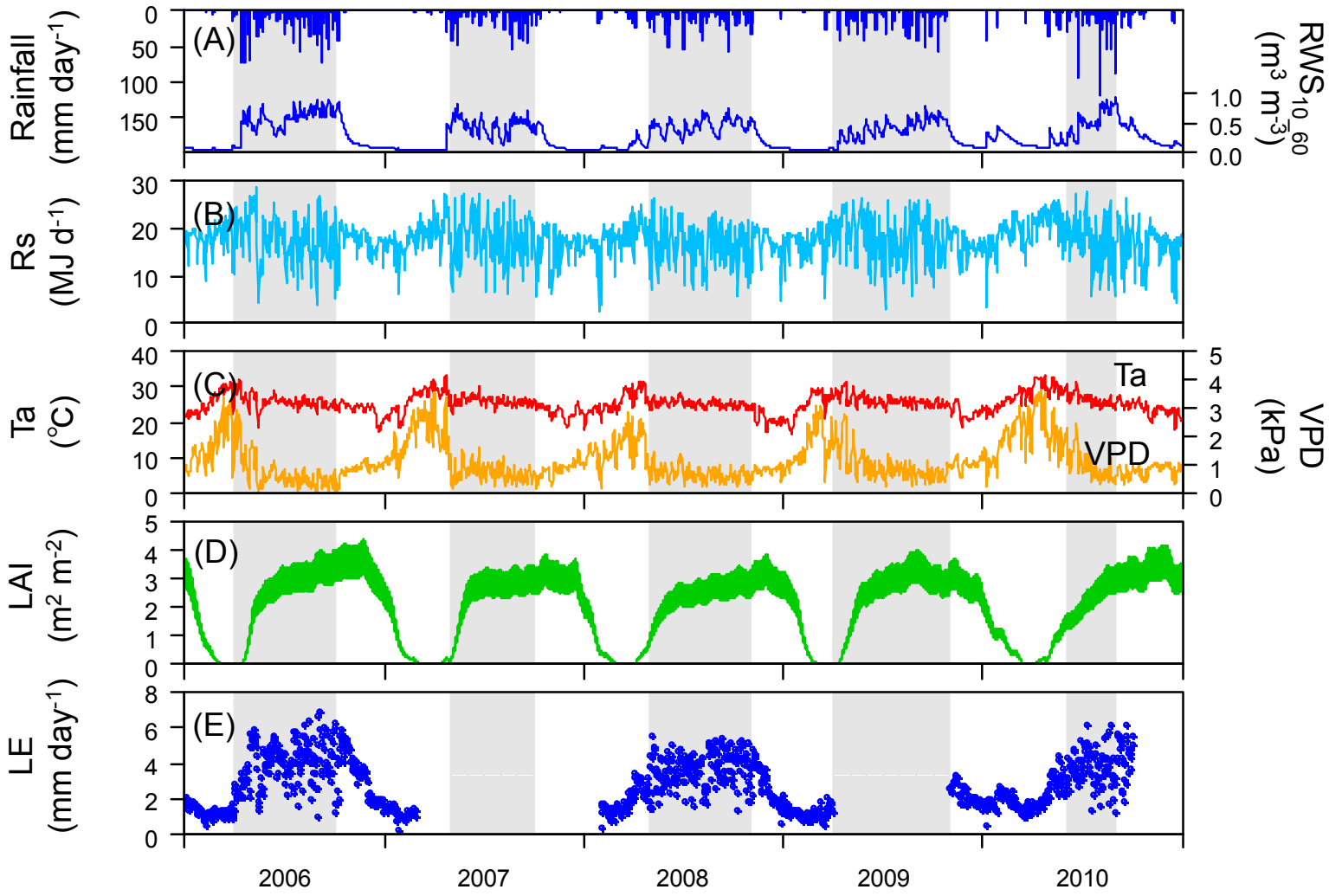


同じ熱帯林でも、年間を通した大気ー森林間熱・物質交換過程が全然違う。

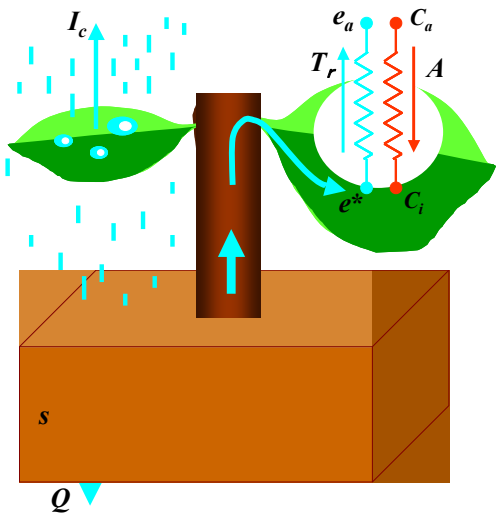
“着葉期間“は土壌水分が決めている。

Yoshifuji et al. (2006) ***Forest Ecology and Management***, 229, 333-339)

タイ・熱帯季節林

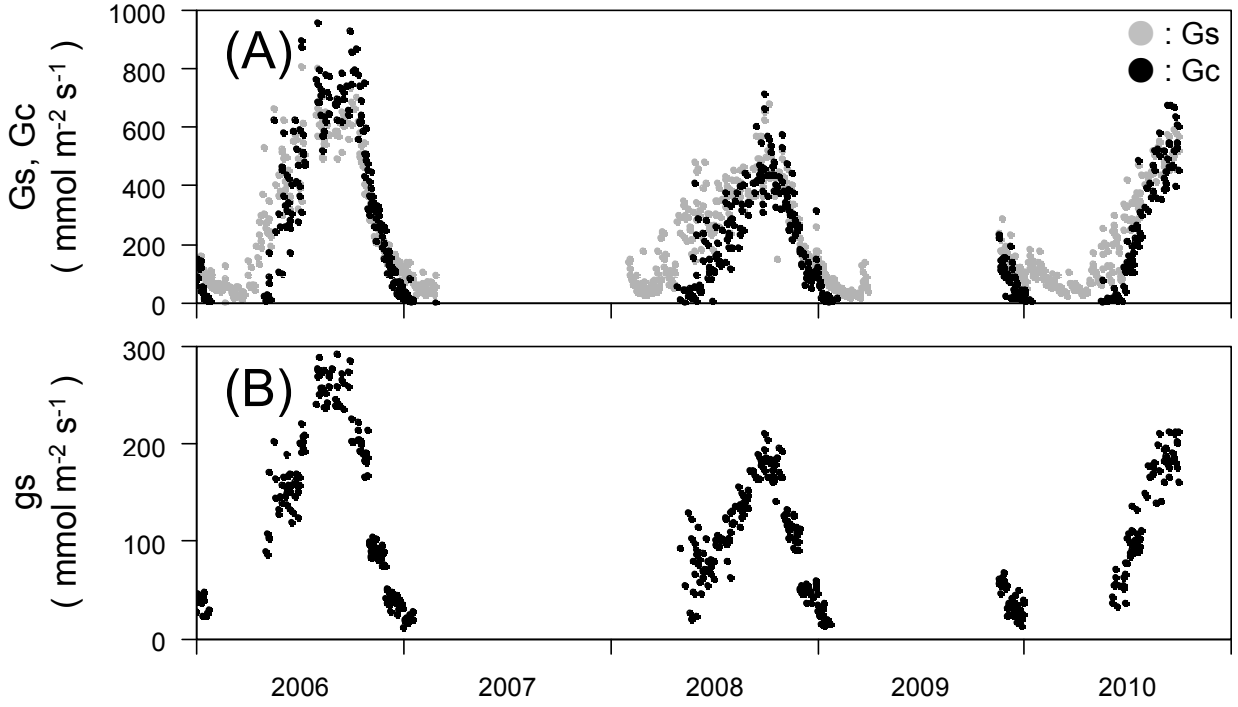


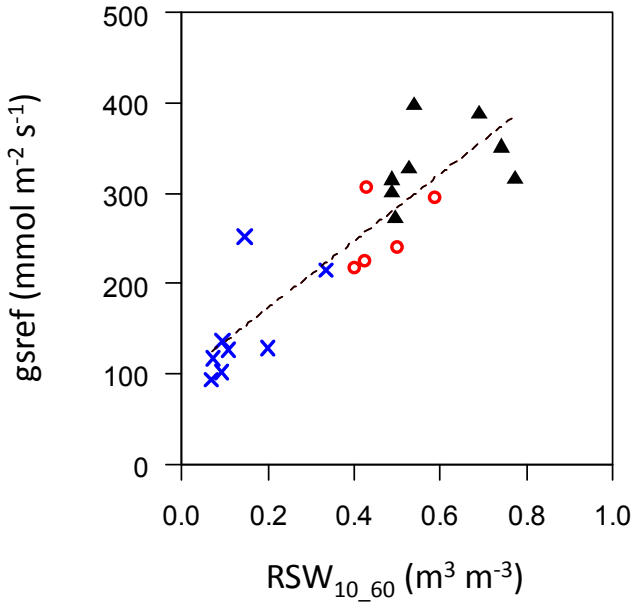
5年間の気象・LAI・水蒸気交換速度データ



生態系全体のコンダクタンス（Gs）と樹冠木のコンダクタンス（Gc)を分離することができた。

樹冠木の平均葉当りコンダクタンス（gs）を割り出すことができた。

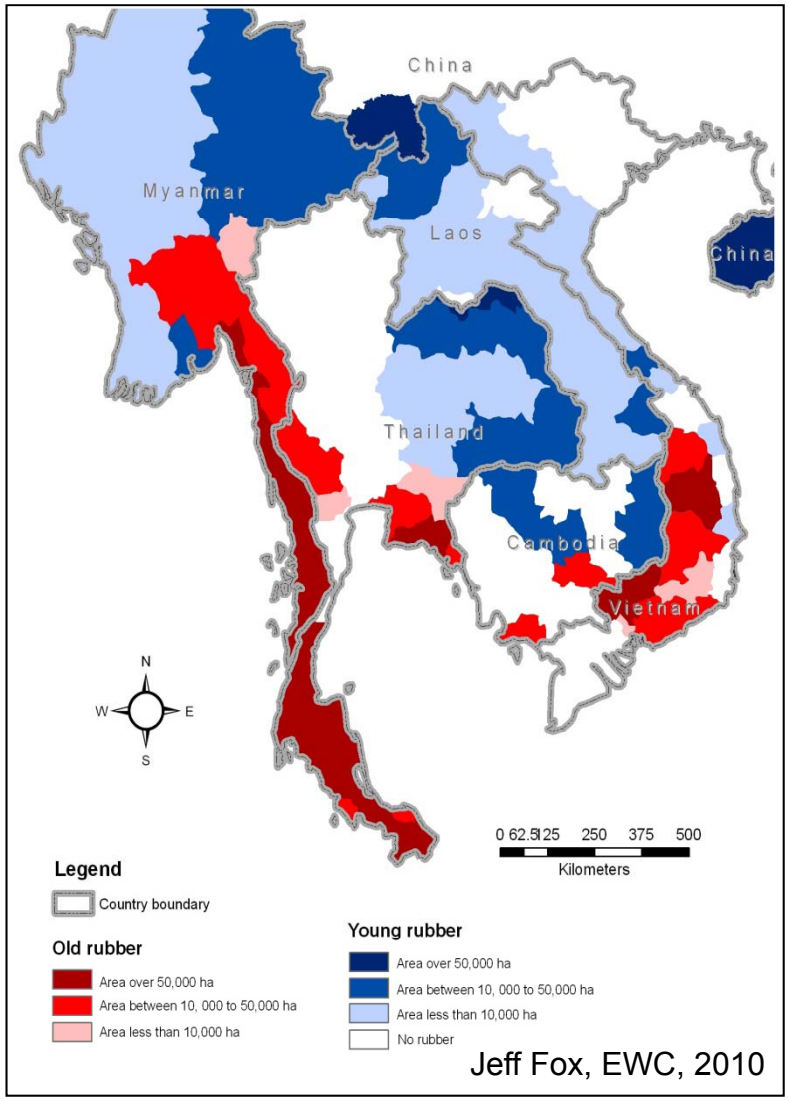




ガス交換に関する葉の性能は単純に土壌水分で記述できることが分かった。

カンボジア・ゴム林における研究

ゴムノキ伝統的・非伝統的生育地



Jeff Fox, EWC, 2010

インドシナ内陸部でのゴム林爆発的拡大

中国雲南	:540ha（1950）⇒300,000ha（2008）
ラオス	:100ha（2003）⇒180,000ha（2010）
タイ	:400,000ha（1961）⇒2,000,000ha（2003）

とんでもないCO_2吸収能力

とんでもない水利用量

ゴム林を造成したら・・・霧が消えた。

ゴム林のせいで・・・流出が3倍

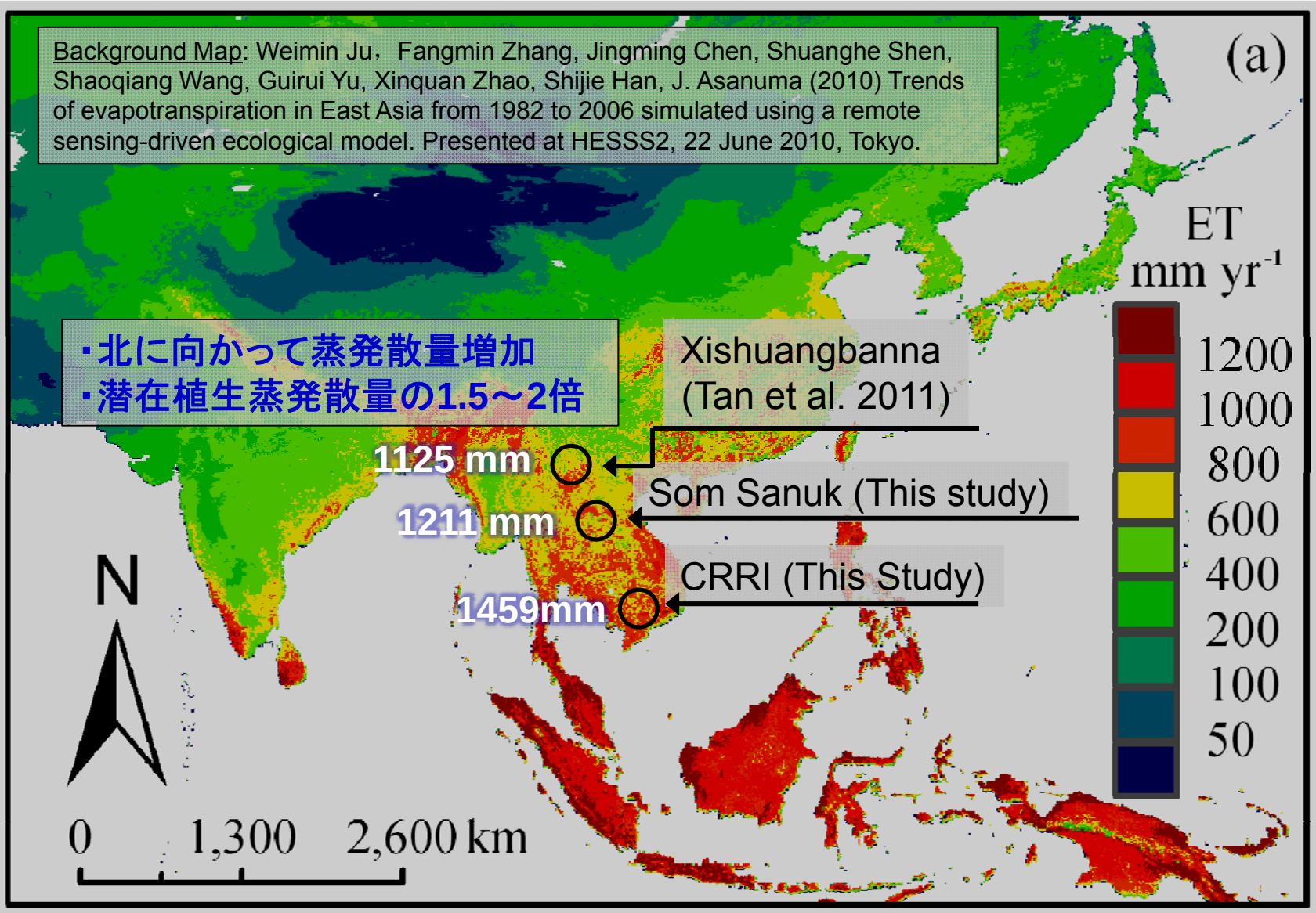
土壌浸食が45倍

・
・
・

SCIENCE, Vol.325 31 July 2009

From「水と土をはぐくむ森」(太田猛彦著)

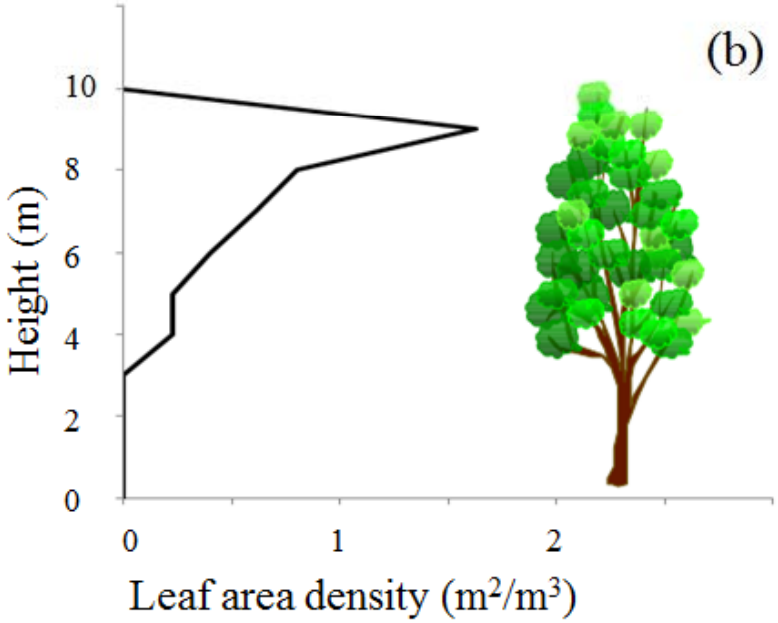
Act like a "Big Drinker"



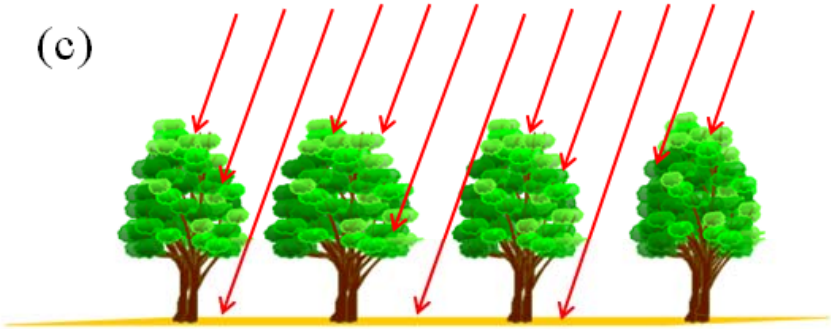
Tan Z-H et al. (2011) Rubber plantations act as water pumps in tropical China. *Geophysical Research Letters* 38, L24406, doi:10.1029/2011GL050006.

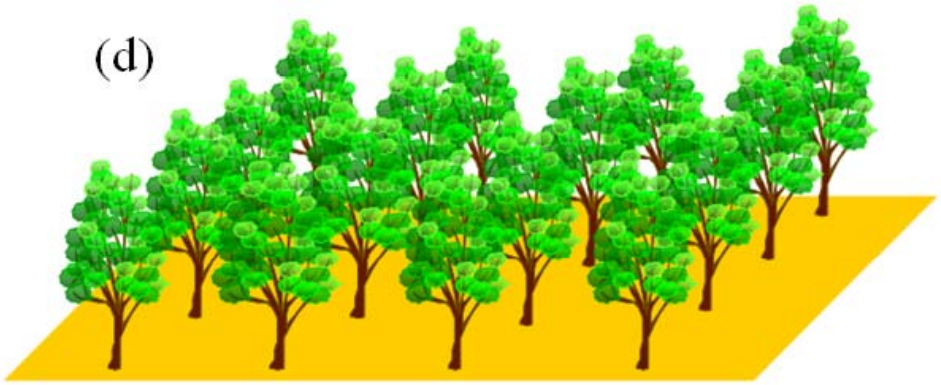
Thomas Giambelluca教授（ハワイ大学）の好意による

ゴム林の熱・水・CO_2交換過程モデル化

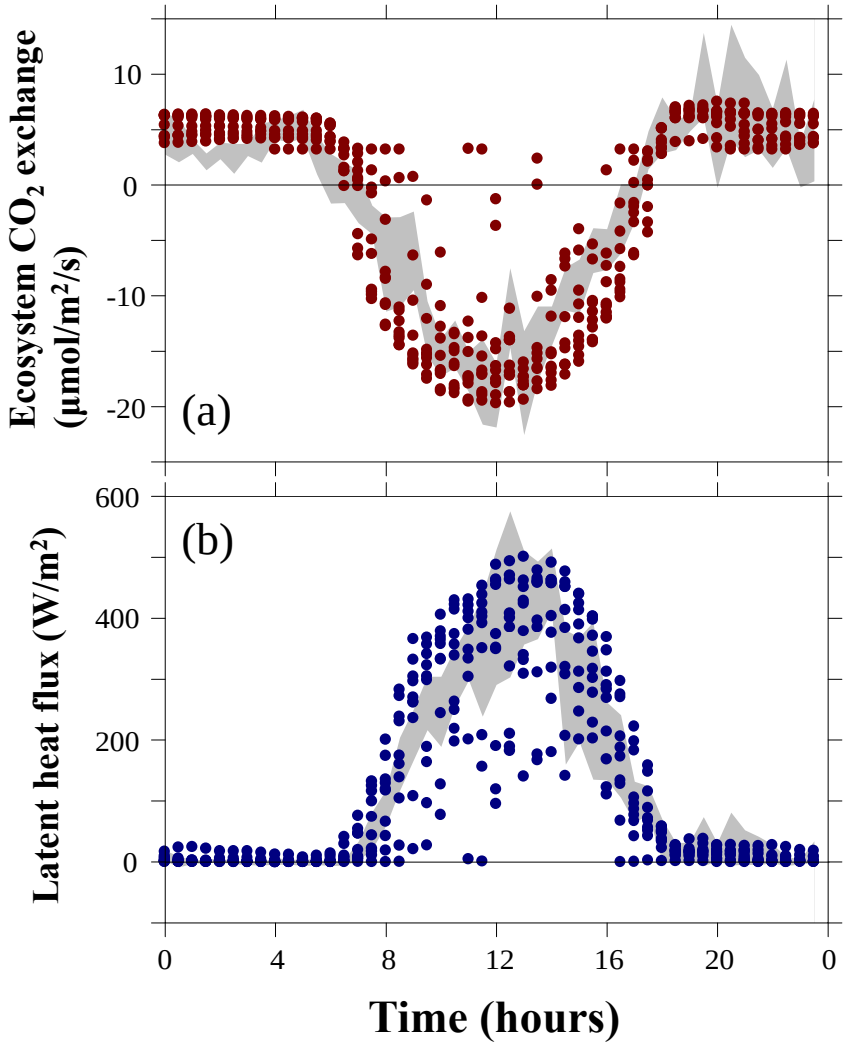


モデル化上の問題点:
ゴムノキは列状に植栽されている。





同じ葉量でも樹木の
配列で受光効率は違う

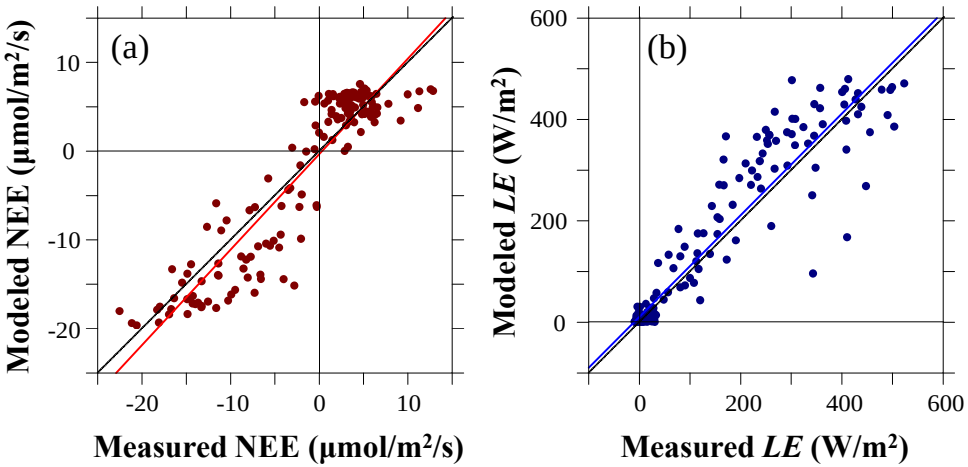


10日間観測（生理・樹冠構造・気象・フラックス全てのデータが揃っている日）の比較

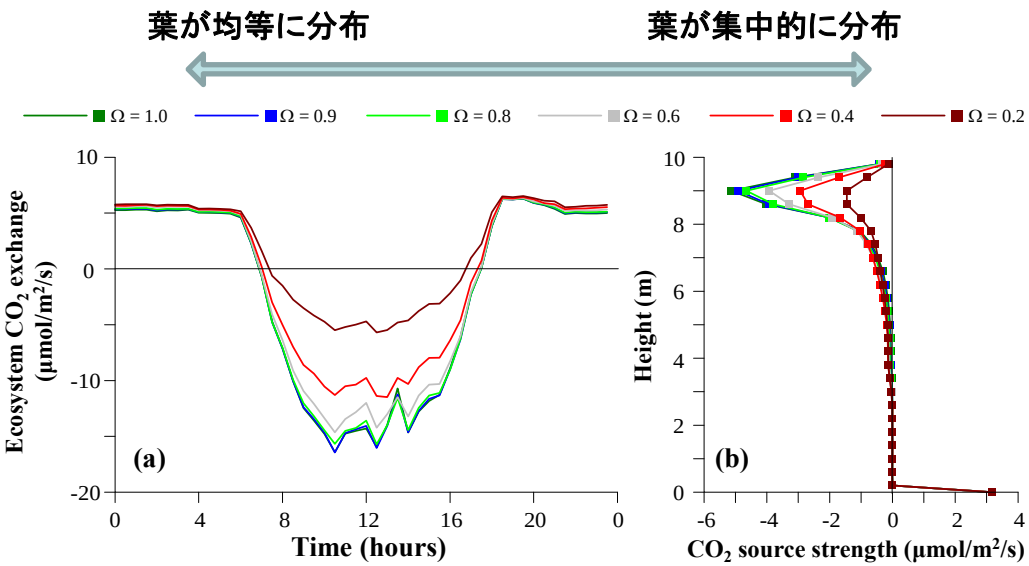
観測値：4分位で外れ値を除去

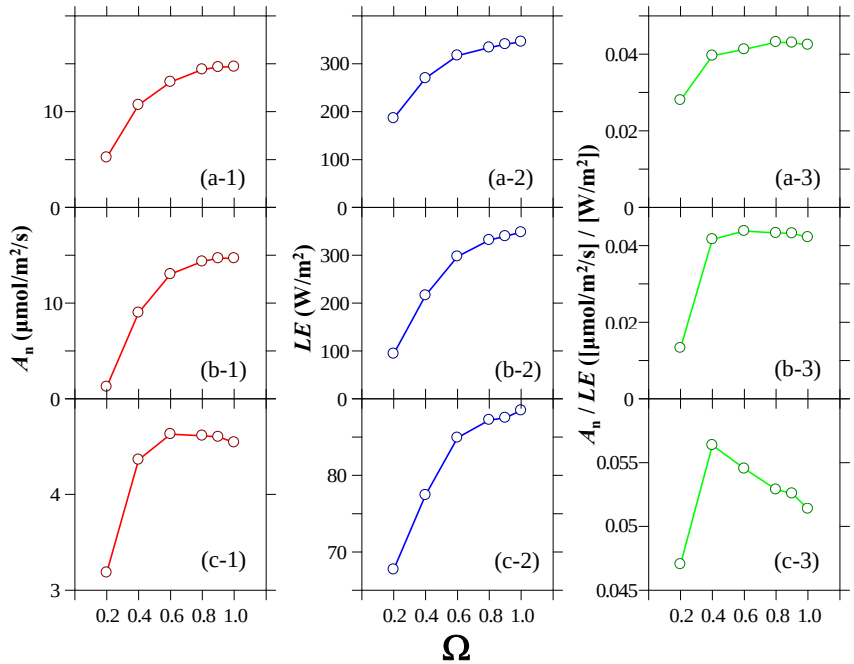
計算値：10日分の全計算結果

雨の日（＝外れ値）も含む



1：1線上でのモデル値ー観測値比較



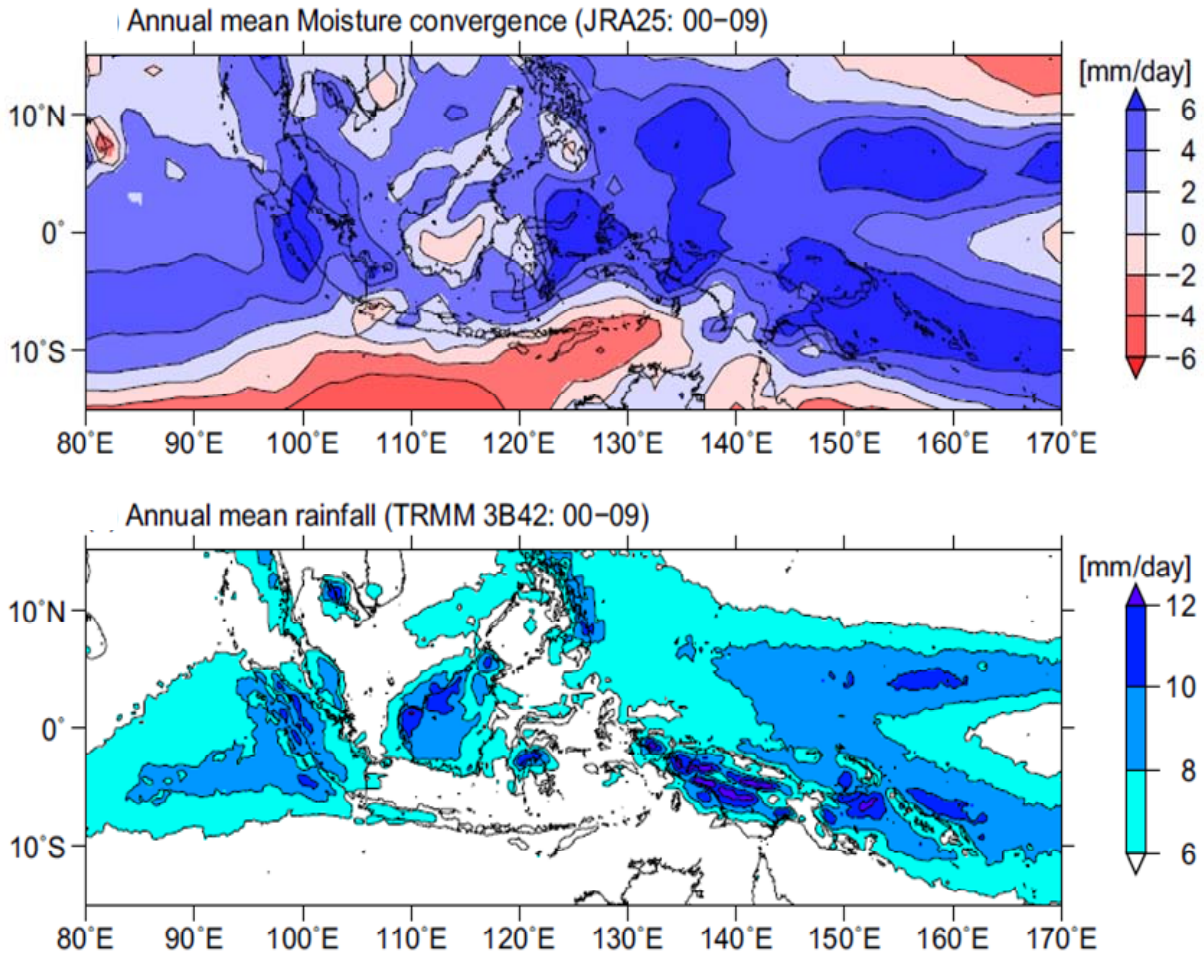


一旦モデルの正当性が確認されたならば様々な数値実験が可能となる:

数値実験の一例:
どのような植栽間隔がゴム林の生産性を最大にするか？

結果→
3m×6．7m植栽が最適
実際には、
3m×6m（カンボジア）
3m×7m（タイ）

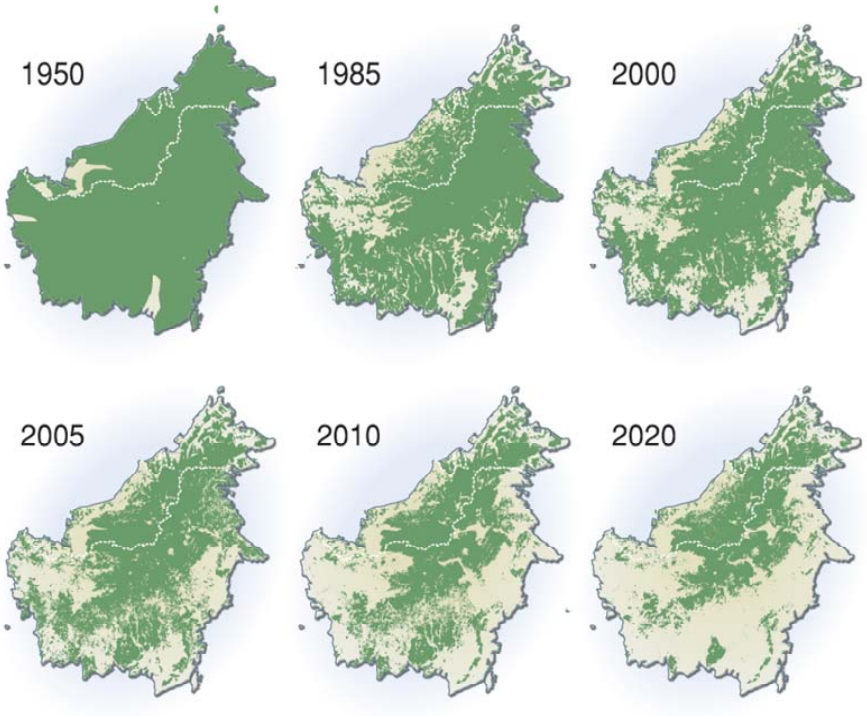
マレーシア・熱帯雨林における研究



ボルネオは周囲から水蒸気が供給されないのに雨が多い。

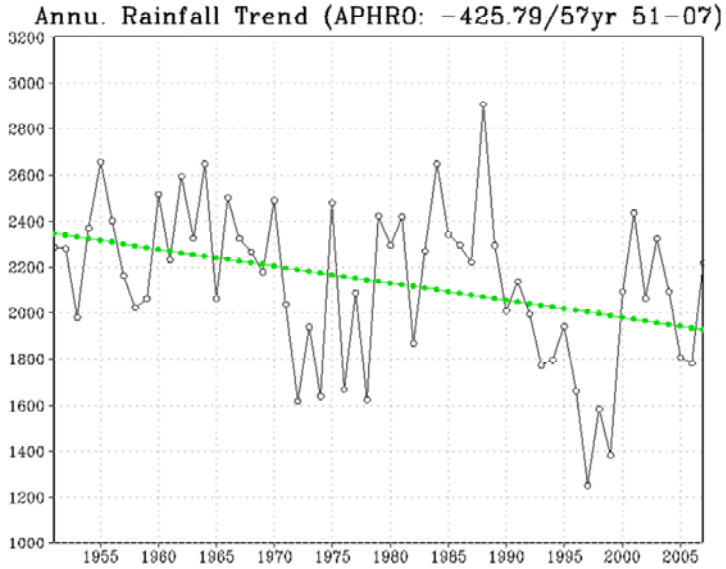
⟵ 植生の蒸発散による**雨のリサイクル**が盛ん。

(Kanamori, unpublished)



図．ボルネオ島における過去50年間の森林面積の減少．暗色が森林域を示し、2010、2020年は予測である。（Radday, 2007）

仮説：雨が減るのでは？

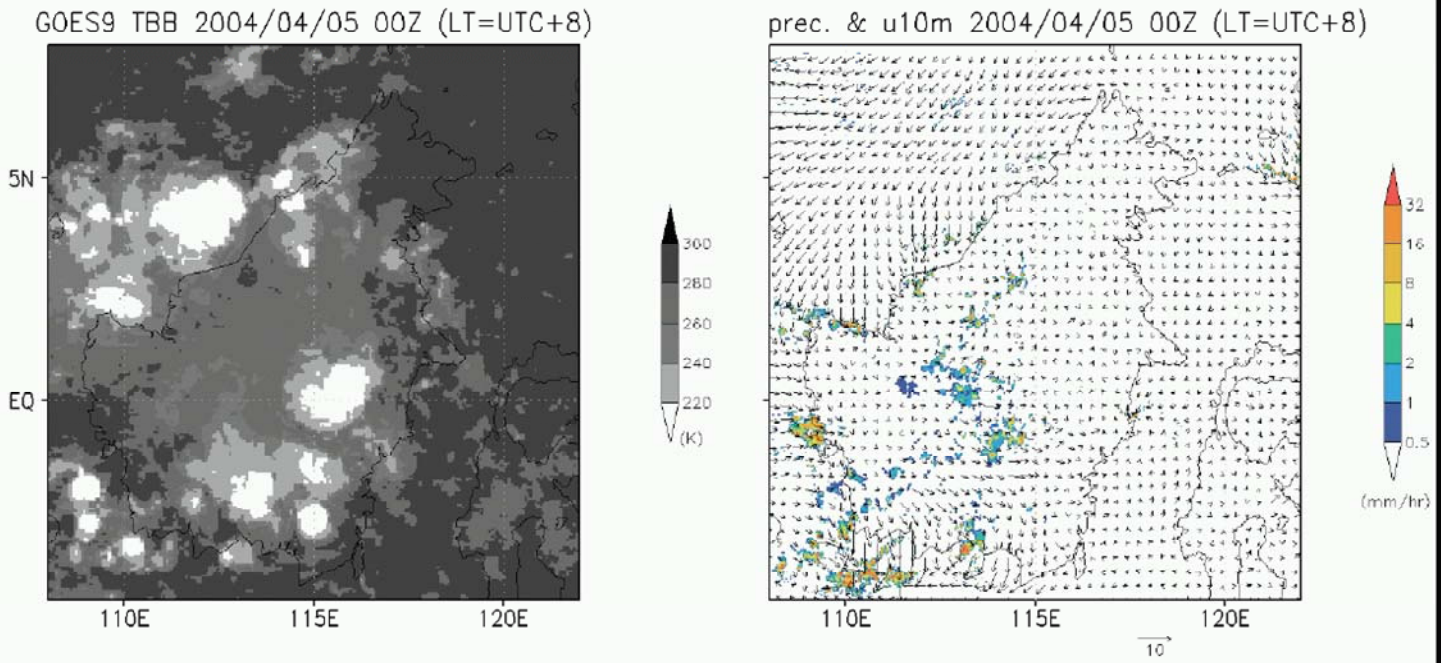


気候変動による生態系変化のリスクだけでなく、
生態系変化から気候変化へのフィードバックも考えたい。

図．ボルネオ島全域の降水量の減少傾向
（Kanamori, personal communication）

CReSS、WRFの利用
陸面植生モデルの検討
（既存陸面モデル（CLM4）の改良（破棄？））

08LT　先行研究の例(Hara et al., 2009)



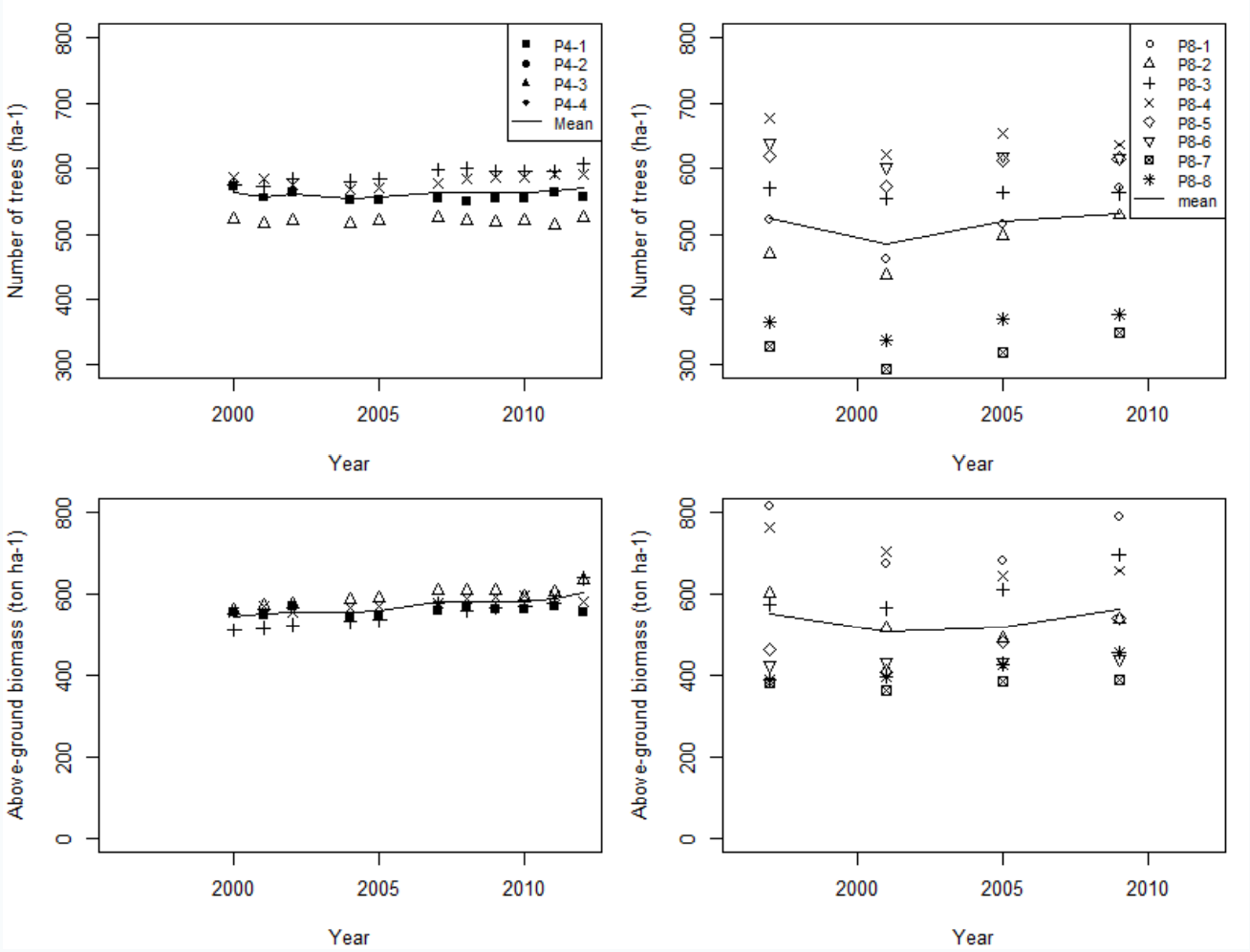
Hara, M., T. Yoshikane, H. G. Takahashi, F. Kimura, A. Noda, and T. Tokioka, 2009: Assessment of the diurnal cycle of precipitation over the Maritime Continent simulated by 20-km mesh GCM using TRMM PR data, Journal of the Meteorological Society of Japan, 87A, 413-424, doi:10.2151/jmsj.87A.413

2004/04/05
（左）GOES9 T_{BB} （右）WRF 前１時間降水量 / 10m水平風

樹木群集の密度・地上部現存量

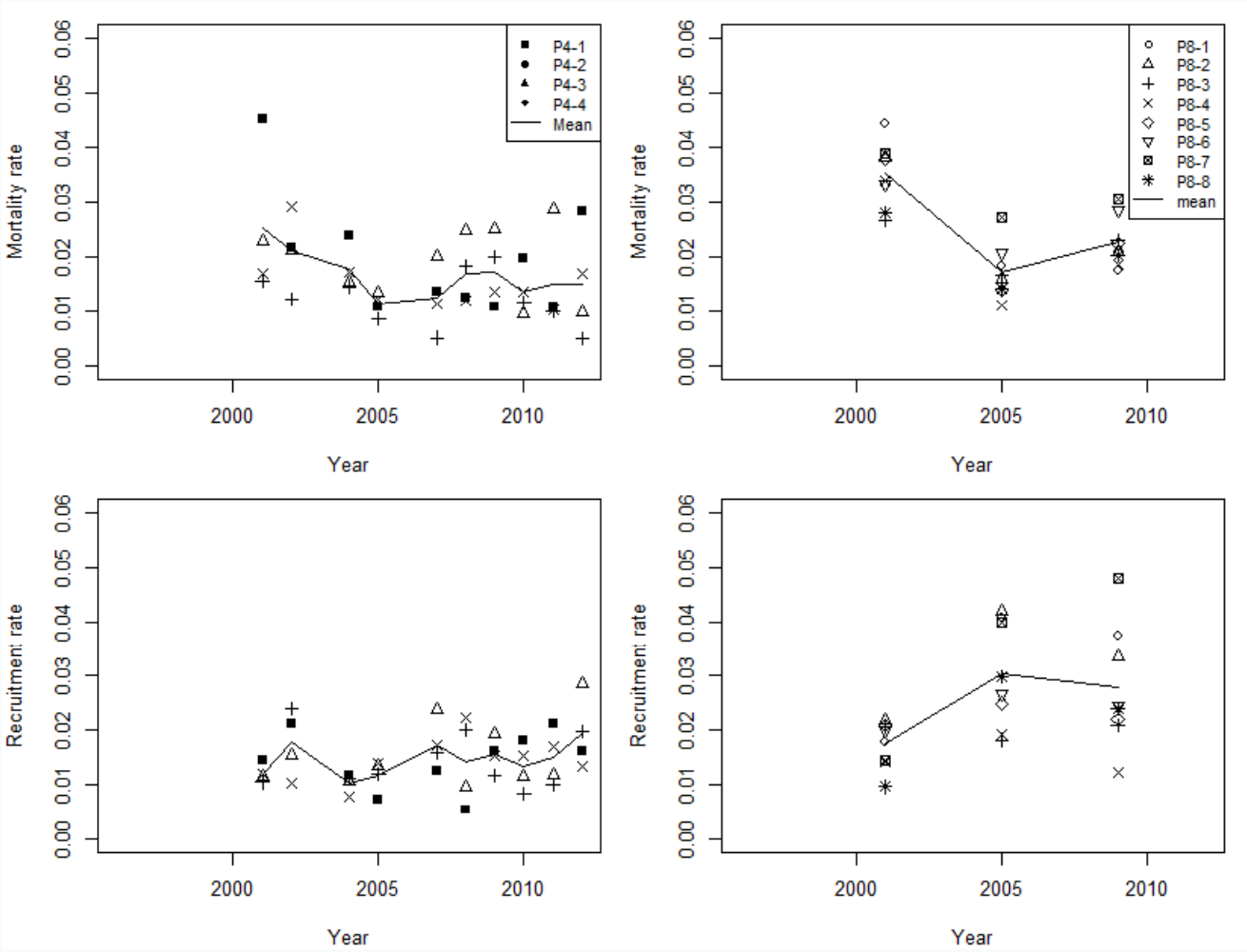
SEIB-DGVMの基礎データ

- 1997-98年のエルニーニョ以前からモニタリングを継続している8haプロットにおいて干ばつに伴う樹木枯死により明らかな個体数と地上部現存量の減少が見られた。
- その後、個体数と地上部現存量の共に回復が見られた。



樹木群集の枯死率・更新率

8haプロットにおいて、干ばつに伴う樹木枯死により定常状態の約2倍の枯死率の増加が見られた。



Kumagai & Porporato
(2012, JGR G02032)

Eos, Vol. 93, No. 33, 14 August 2012

RESEARCH SPOTLIGHT

Highlighting exciting new research from AGU journals

PAGE 324

Droughts threaten Bornean rainforests

At 130 million years old, the rainforests of Southeast Asia are the oldest in the world and home to thousands of species of plants and animals, some endemic to these forests. The rainforests also play important roles in modulating regional rainfall and in the global carbon cycle.

However, since the 1960s, increased warming in the Indian Ocean and frequent El Niño events have reduced rainfall in the region by approximately 1.0% per decade. Furthermore, the Intergovernmental Panel for Climate Change predicts that over the 21st century, Southeast Asia will experience higher land temperatures, more droughts, and increased seasonality; that is, wet seasons during the fall will get wetter, and dry seasons during the spring will get drier. However, few studies in the past have investigated how trees in the southeastern Asian rainforests respond to droughts and climate change.

In a new study, *Kumagai and Porporato* combine extensive field observations, historical records, and global climate models to investigate the potential impact of rainfall shifts and droughts on tree mortality in the Bornean rainforests of Southeast Asia. They found that as El Niño events become more frequent in the future in response to warming in the tropical oceans, even the species of trees that can adapt to drought conditions will be at increased risk of dying off. The small number of species that cannot adapt well to drought conditions will be at even greater risk of dying off.

Their study has implications for predictions of ecological changes, regional rainfall patterns, and global climate as well as direct applications for policies aimed at reducing additional human impacts on these ecosystems, which not only are vulnerable to climate change but also have the highest rates of deforestation in the world. (*Journal*

T. Kumagai

Tropical rainforest in Lambir Hills National Park, Sarawak, Malaysia.

© 2012. American Geophysical Union. All Rights Reserved.

名大が警鐘

エルニーニョ 熱帯雨林壊す

フィリピン
マレーシア
シンガポール
インドネシア
ボルネオ島

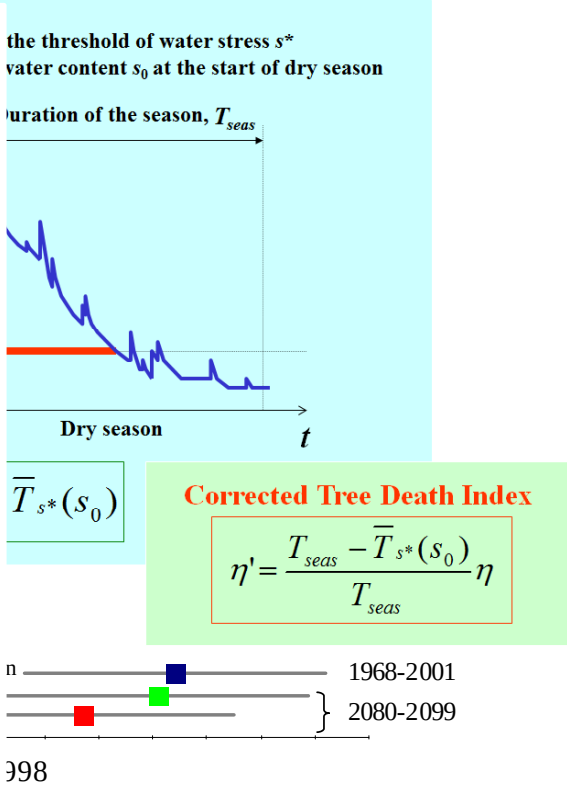
世界有数の生物多様性を誇るマレーシア・ボルネオ島の熱帯雨林が、頻発が予測されているエルニーニョ現象による乾燥で七十～九十年後に、壊滅的な打撃を受ける恐れがあることを、名古屋大地球水循環研究センターの熊谷朝臣准教授らのグループが突き止めた。計算上では、樹木が現在の六割にまで減り、熱帯雨林の生態系が崩壊する可能性がある。米地球物理学誌「ジャーナル・オブ・ジオフィジカル・リサーチ」の電子版に発表した。

70～90年後 ボルネオ島

グループは、ボルネオを襲った一九九七年の異常乾燥に着目。太平洋赤道海域の海面水温が南米ペルー沖で高い状態となるエルニーニョ現象の発生が誘因で、三百六十年に一度の乾燥状態だった。研究では、九七～二〇〇一年までの四年間に、熱帯雨林で毎年6%ずつの樹木が枯れたことが分かった。枯れる割合は、ふだんの七倍に達した。

英国の研究センターが公表する将来の気候変動予測を用いると、二〇八〇～九九年にエルニーニョ現象が現在よりも高頻度で発生することが判明。ボルネオの熱帯雨林でも、九十年に一度で起こり、樹木が急激に減少する可能性が出てきた。

世界で最も豊かだとされる生態系が失われる危険もあり、熊谷准教授は「熱帯雨林の危機で生物の多様性が失われ地球全体に悪い影響を与えるかもしれない。注視していく必要がある」と話している。

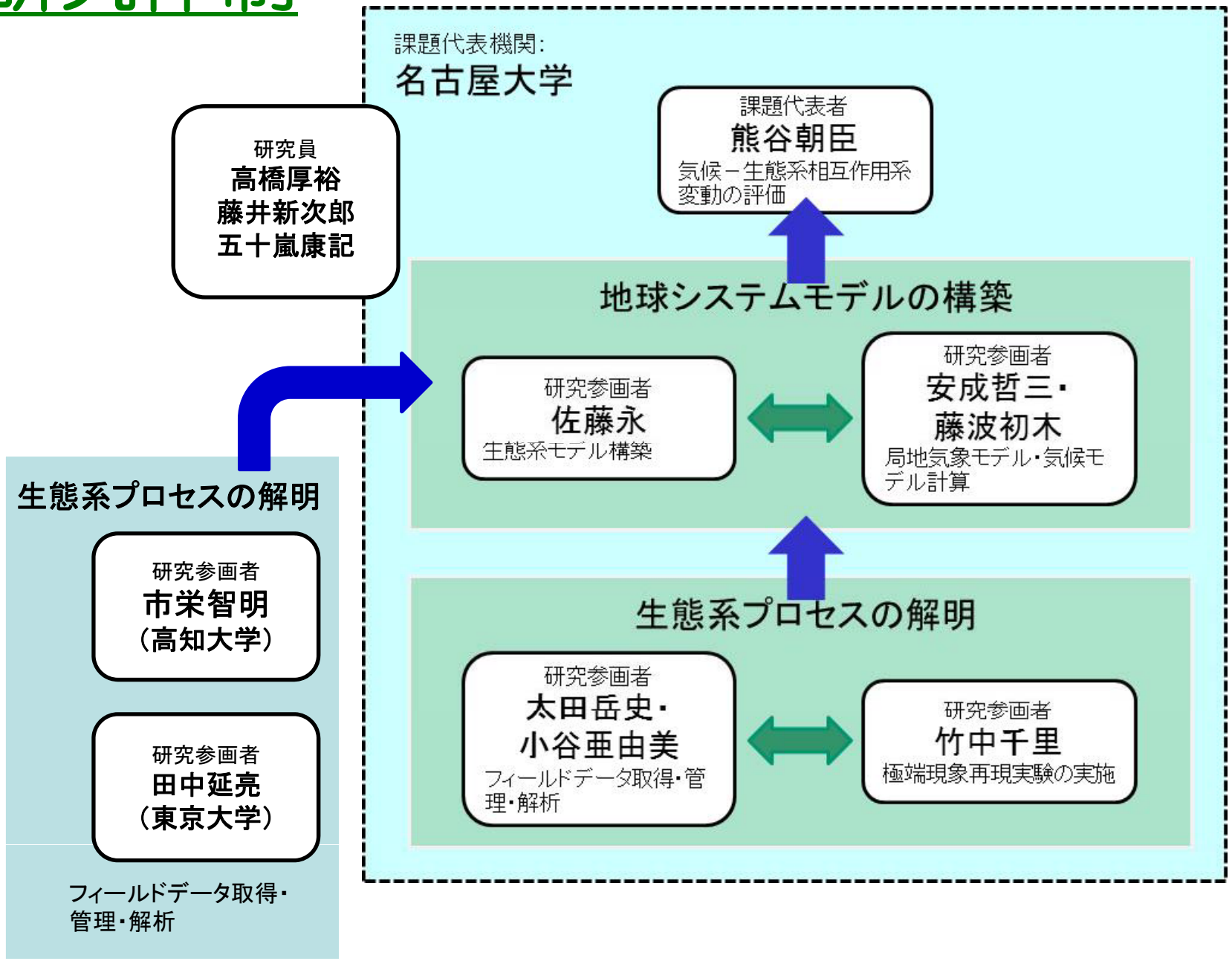


Eosで紹介（August 14, 2012）

Science*Daily*で紹介（July 16, 2012）

中日新聞で紹介（2012年7月26日朝刊1面）

研究体制


課題代表機関:
名古屋大学
課題代表者
熊谷朝臣
気候－生態系相互作用系変動の評価
研究員
高橋厚裕
藤井新次郎
五十嵐康記
地球システムモデルの構築
研究参画者
佐藤永
生態系モデル構築
研究参画者
安成哲三・
藤波初木
局地気象モデル・気候モデル計算
生態系プロセスの解明
研究参画者
太田岳史・
小谷亜由美
フィールドデータ取得・管理・解析
研究参画者
竹中千里
極端現象再現実験の実施
生態系プロセスの解明
研究参画者
市栄智明
（高知大学）
研究参画者
田中延亮
（東京大学）
フィールドデータ取得・管理・解析