

# 北方林地帯における水循環特性と植物生態生理のパラメータ化

-第4回領域シンポジウム-

研究代表者  
太田岳史  
名古屋大学大学院生命農学研究科

CREST 第4回領域シンポジウム  
コヨホール・東京 2007/10/23

1

## 地球上の森林

- 森林が占める面積
  - 全球陸域の約30%
  - 全球面積の約10%を占めるにすぎない。
  - 北方林は、全球森林の約30%(面積ベース)を占める。
- 森林の生産活動
  - 全球光合成活動の約50%が、森林で行われている。
  - 炭素現有量の約90%は、森林に蓄積されている。

世界の森林分布

世界の森林資源

森林の活発な生産活動による水循環システム全体への影響

2

## シベリア北方林の特徴

- 短い生長期間と少ない降水量
- 永久凍土の存在

本研究对象地域

CREST 第4回領域シンポジウム  
コヨホール・東京 2007/10/23

3

## 高緯度帯の森林における水循環

- 気候帯による森林の環境応答特性に関する一般的な記述
  - Canopy surface conductance are generally **low in coniferous boreal forests**; somewhat **higher in broadleaved temperate forest** and possibly somewhat **higher still in humid tropical forests**. (The Forests Handbook, 2001)
  - この違いは、森林あるいは樹木固有のものなのか？ それとも
  - 森林あるいは樹木が**環境へ対応した反応の結果**なのか？

CREST 第4回領域シンポジウム  
コヨホール・東京 2007/10/23

4

## 高緯度帯の環境変動

IPCC:WG1 2007

CREST 第4回領域シンポジウム  
コヨホール・東京 2007/10/23

5

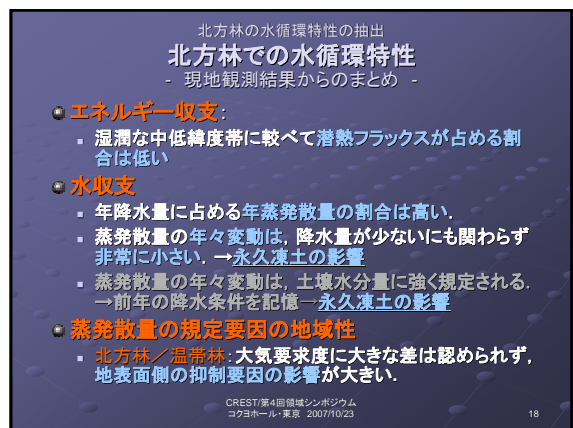
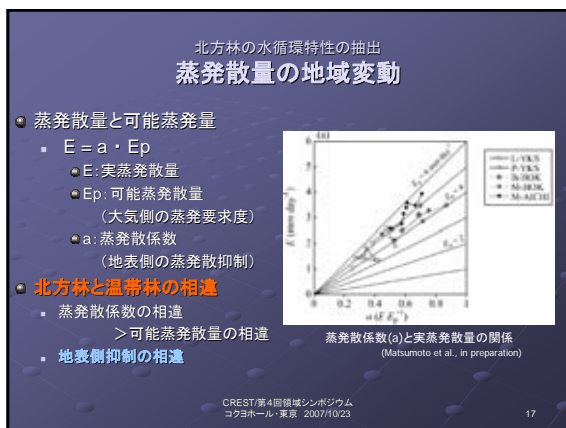
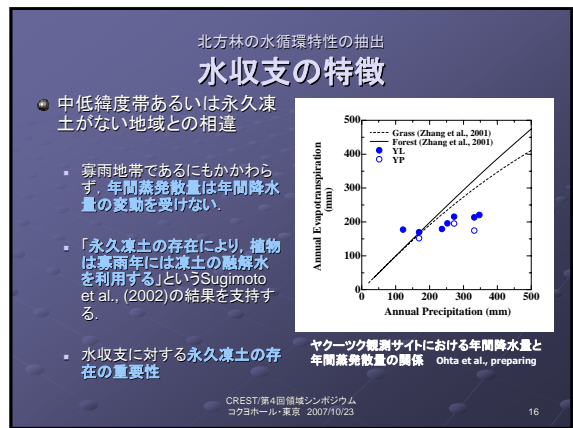
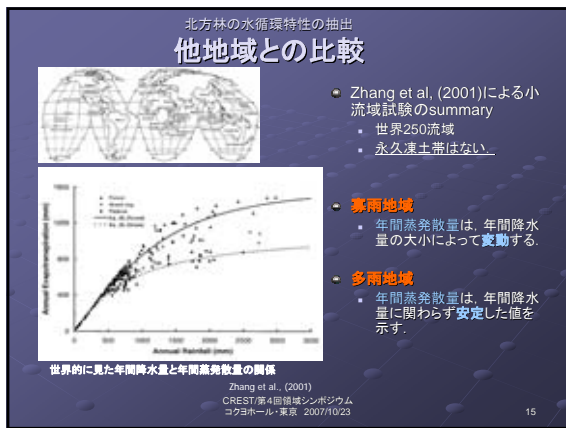
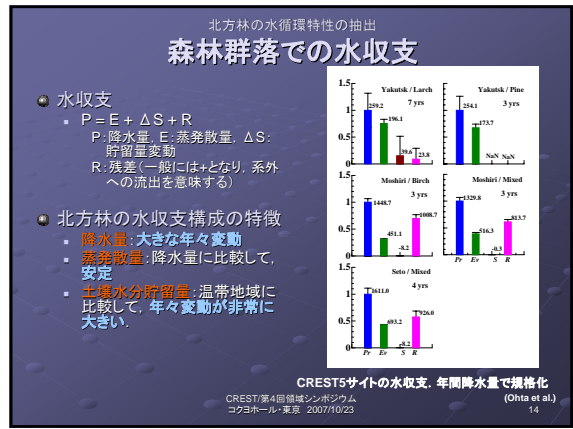
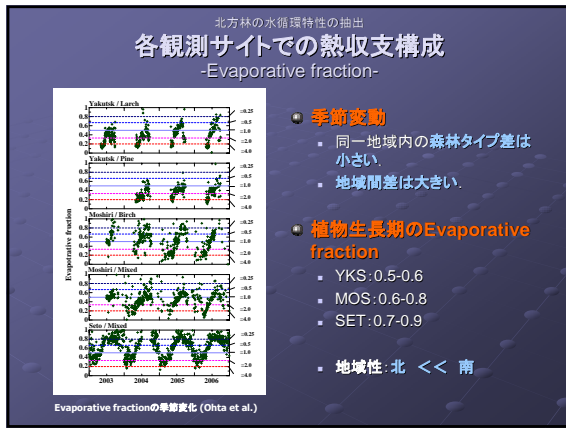
## 研究チームの目標

- 水・エネルギー循環に対する北方林の**環境応答特性**を理解し、
- その結果に基づいて、北方林地帯の**水循環特性の現況を把握**し、
- 水循環特性の、**将来の変動を予測**する。

CREST 第4回領域シンポジウム  
コヨホール・東京 2007/10/23

6





## “潜在的”応答特性の概念の 提唱と検証

- 群落スケール, 個葉スケールの観測と実験で検証
- 群落スケールの陸面モデルで現況を再現し, その解釈

19

### 潜在的応答特性の概念/群落スケール 表面コンダクタンスのサイトごとの経時変化

- 表面コンダクタンスの地域間差
  - 顕著に現れる。
    - YKS: 季節変動が小さく, 表面コンダクタンスが小さい。
    - MOS: 季節変動が大きく, 生長期の表面コンダクタンスが大きい。
    - SET: 季節変動が小さく, 夏期もあまり大きな値をとらない。

20

### 潜在的応答特性の概念/群落スケール 環境因子と表面コンダクタンス

- Jarvis型表面コンダクタンスモデル (1976)

$$G_s = G_{smax} \cdot f(Q) \cdot f(D) \cdot f(T_a) \cdot f(W)$$

$$f(Q) = \frac{Q(2100 + k_1)}{2100(Q + k_1)}$$

$$f(D) = \left( \frac{1}{1 + (D/D_{0.5})^2} \right) (1 - k_1) + k_1$$

$$f(T_a) = \left( \frac{T_a - T_{amin}}{T_{aopt} - T_{amin}} \right) \left( \frac{T_{amax} - T_a}{T_{amax} - T_{aopt}} \right) \left( \frac{T_{amax} - T_{amin}}{T_{aopt} - T_{amin}} \right)$$

$$f(W) = \left( \frac{W - W_{min}}{W_{max} - W_{min}} \right) \left( \frac{W_{max} - W_{min} + k_2}{W - W_{min} + k_2} \right)$$

$G_{smax}$ : 最大群落コンダクタンス ( $m^2 s^{-1}$ ),  $f(Q)$ : PFD ( $Q$ ;  $\mu mol m^{-2} s^{-1}$ ) の関数  
 $f(D)$ : 飽差 ( $D$ ; hPa) の関数,  $f(T_a)$ : 気温 ( $T_a$ ; °C) の関数,  $f(W)$ : 土壌体積含水率 ( $W$ ; %) の関数  
 $D_{0.5}, T_{amin}, T_{aopt}, T_{amax}, W_{min}, W_{max}, k_1, k_2, k_3, k_4$ : フィッティングパラメータ

21

### 潜在的応答特性の概念/群落スケール サイトごとの環境因子と表面コンダクタンス

- サイトごとに応答は大きく異なるのか?
- 観測範囲が大きく異なる。
  - 気温: 母子里, 瀬戸では値の大きい観測がない。
  - 気温: 瀬戸では低温での観測がない。
  - 土壌水分: サイトごとに大きく異なる。ヤクーツクを除いては, 観測範囲が狭く抑制因子として働いていない。
  - 土壌水分は, 制御因子として理解されない。

22

### 潜在的応答特性の概念/群落スケール 各サイトの結果をプールした結果

- 応答特性を, サイト共通の包絡線できる。
- 土壌水分が観測サイトを越えた表面コンダクタンスの規定因子として評価される。

23

### 潜在的応答特性の概念/群落スケール 表面コンダクタンスの再現性

表面コンダクタンスの再現

RMSE ( $10^{-3} m^2 s^{-1}$ ):

	Within site	Pooled
YL	1.5	1.5
MB	5.2	5.4
MM	4.2	6.2
SM	2.4	2.4

- サイト共通の応答関数により, 表面コンダクタンスは再現できる。

24

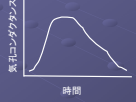
潜在的応答特性の概念/群落スケール  
**群落スケールでの解析結果**

- **群落の表面コンダクタンス**
  - 広範な地域でのデータをpoolすることによって得られる共通の応答特性により、各サイトの表面コンダクタンスを再現できた。
    - 中間評価で、プロトタイプは報告済み。
    - 葉群の評価を改善し、複数年での適用性を確認
- このことは、気候帯、森林タイプを越えた共通の環境応答特性が存在することを示唆する。



CREST 第4回領域シンポジウム  
 コクヨホール・東京 2007/10/23 25

潜在的応答特性の概念/個葉スケール  
**個葉スケールでの気孔コンダクタンスの応答特性**

着枝・自然条件

切枝・制御条件





- 個葉スケールでの気孔コンダクタンスの応答特性
  - 個葉スケールでも、群落と類似した“共通の”応答特性が存在するの？
- 着枝・自然環境条件下での測定
  - 群落同様に、樹種共通の応答関数が存在するの？
- 切枝・環境制御条件下での測定
  - 同一条件下で、個葉レベルでの環境応答は樹種、成立環境によらず類似するの？ 相異なるの？

CREST 第4回領域シンポジウム  
 コクヨホール・東京 2007/10/23 26

潜在的応答特性の概念/個葉スケール  
**観測の概要**

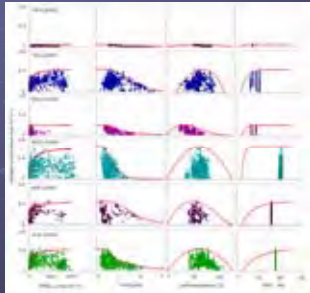
- 測定年 2003~2007
- 対象樹種
  - カバノキ属 3種
  - コナラ
  - カラマツ
  - アカマツ



CREST 第4回領域シンポジウム  
 コクヨホール・東京 2007/10/23 27

潜在的応答特性の概念/個葉スケール  
**着枝・自然環境条件下での観測結果**  
 -サイトごと、樹種ごとに見た環境応答特性-

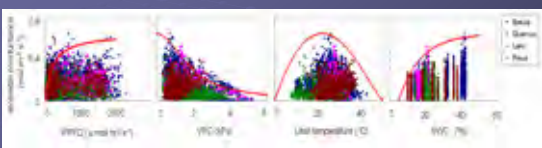
- サイトごとに全く異なって見える。
- YKSでは同じ地点の同一樹種であるにもかかわらず、コンダクタンスの大きさが、大きく異なる。



カバノキ属でのサイトごとに異な  
 気孔コンダクタンスの応答特性  
 (Ito and Kato)

CREST 第4回領域シンポジウム  
 コクヨホール・東京 2007/10/23 28

潜在的応答特性の概念/個葉スケール  
**着枝・自然環境条件下での観測結果**  
 -全結果をプールした解析-

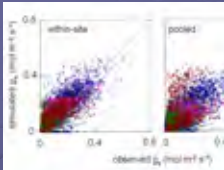
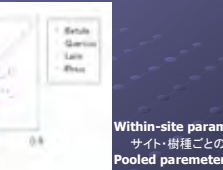


全データをpoolした気孔コンダクタンスの応答特性  
 (Ito and Kato)

- 個葉スケールにおいても
  - 全データをプールすることにより、共通の応答関数が得られる。

CREST 第4回領域シンポジウム  
 コクヨホール・東京 2007/10/23 29

潜在的応答特性の概念/個葉スケール  
**着枝・自然環境条件下での観測結果**  
 -気孔コンダクタンスの推定精度-

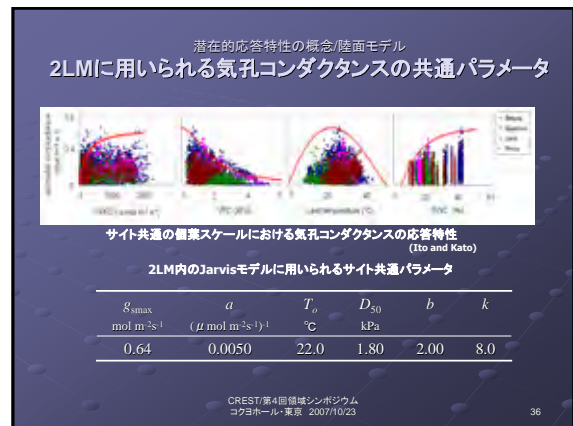
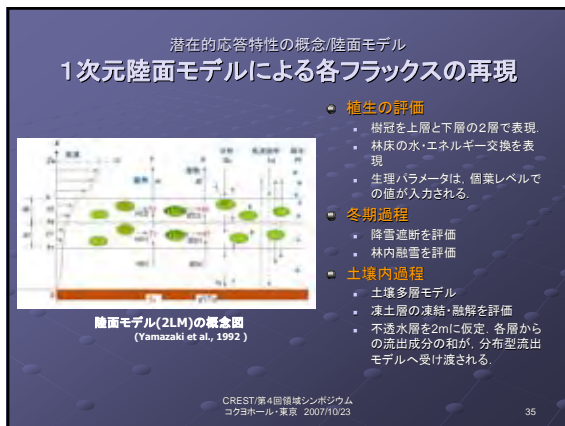
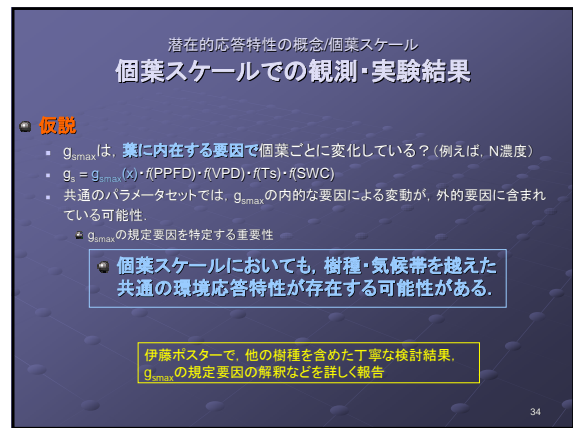
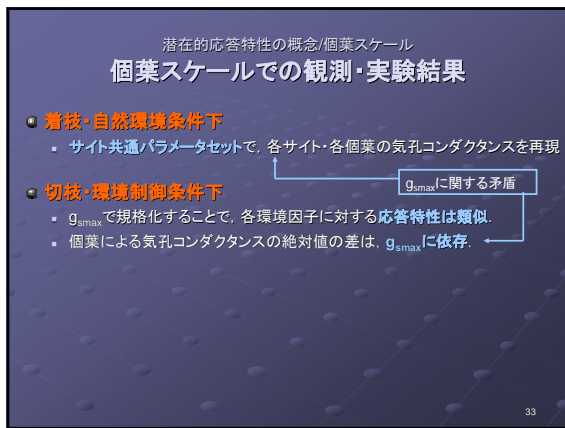
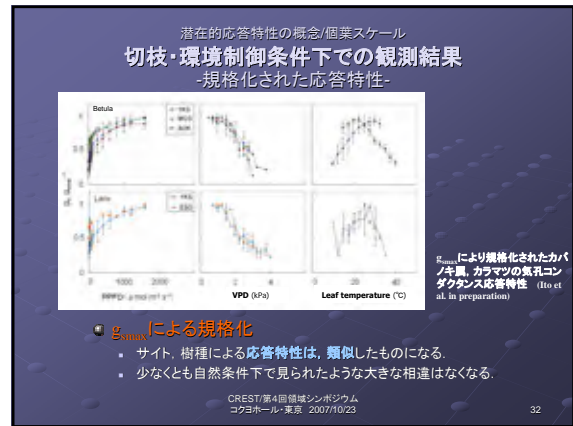
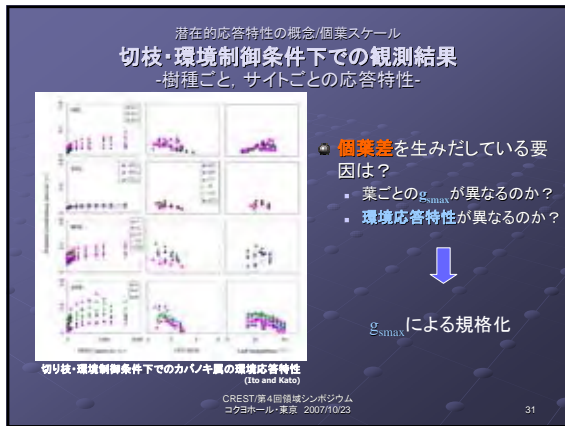
気孔コンダクタンスの推定結果 (Ito et al.)

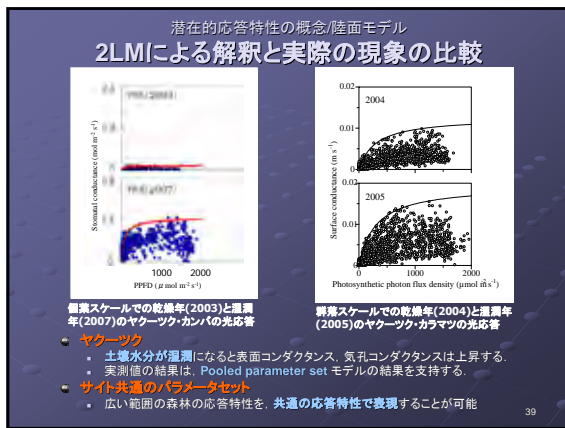
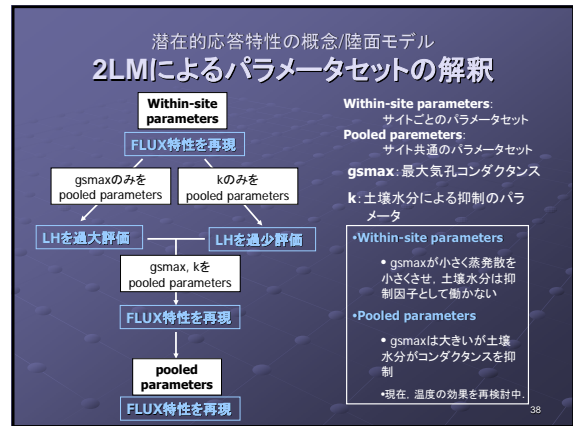
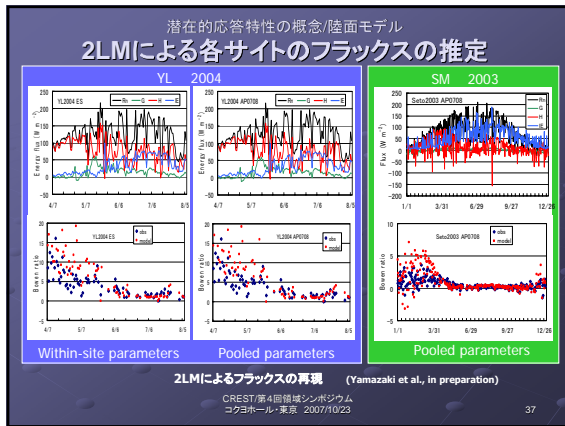
Within-site parameters:  
 サイト・樹種ごとのパラメータセット  
 Pooled parameters:  
 サイト・樹種共通のパラメータセット

	Within-site	Pooled
RMSE (mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	0.058	0.070

- アカマツを除いて、大きく低下することはない。

CREST 第4回領域シンポジウム  
 コクヨホール・東京 2007/10/23 30





森林が示す表面コンダクタンスをどのように解釈するか？

- 北方林の、表面コンダクタンスは小さい？
  - Canopy surface conductance are generally low in coniferous boreal forests; somewhat higher in broadleaved temperate forest and possibly somewhat higher still in humid tropical forests. (The Forests Handbook, 2001)
- この違いは、森林あるいは樹木固有のものそれとも
- 森林あるいは樹木が環境へ対応した反応の結果

CREST 第4回領域シンポジウム  
ココロホール・東京 2007/10/23 40

“潜在的”応答特性の概念の提案

「森林の応答特性は、気候帯、森林タイプを越えてひとつの特性に収束している」

=最適(同一の条件に置かれたときに)条件に置かれたときに、森林が示す反応は類似する=

- ただし、今回、群落スケール、個葉スケールで示したサイト共通のパラメータセットが“潜在的”応答特性そのものの関数とは言えない。

CREST 第4回領域シンポジウム  
ココロホール・東京 2007/10/23 41

“潜在的”応答特性の概念の応用

- 他大陸の森林群落への応用
- 大陸河川への応用
- 環境変動による大陸河川の流出・水収支変動

CREST 第4回領域シンポジウム  
ココロホール・東京 2007/10/23 42

### 潜在的応答特性の概念/他大陸への適用 フラックスネットデータの利用

解析対象地点の概要

AmeriFLUX	NR	MM	WB	WC
	vegetation	EGC	DB	DB
LAI	4.0	4.9	4.7	5.3
Years for calculation	5	7	6	9

EuroFLUX	BD	BR	TR
	vegetation	EGC	EGC
LAI	5.5	5	6
Years for calculation	2	3	5

解析に用いたEuroFLUX / AmeriFLUXの観測地点

- 対象地域
  - 2LMの計算可能な要素が公開されている地点を選択
  - LAIはprojected LAI

43

### 潜在的応答特性の概念/他大陸への適用 AmeiFLUX / EuroFLUXへの適用結果

再現性

- AmeriFLUXサイトはほぼ再現される
- EuroFLUXサイトは過大

過大評価の考えられる原因

- Euroは全てEGC. EGCの応答特性は異なる? ←NRもEGC.
- 土壌水分量の表現: 体積含水率 →マトリックポテンシャル

JJAの平均潜熱フラックスの推定結果 (Yoshida et al.)

CREST第4回領域シンポジウム  
コクヨホール・東京 2007/10/23

44

### 潜在的応答特性の概念/大陸河川への適用 レナ川の概要

- レナ川の特徴
  - 流域面積: 2,490,000 km<sup>2</sup>
  - 流域の大部分に永久凍土が存在し、ほとんどが森林(カラマツ)に覆われる。

レナ川の地形と流量解析対象地点

CREST第4回領域シンポジウム  
コクヨホール・東京 2007/10/23

45

### 潜在的応答特性の概念/大陸河川への適用 解析モデル(2LMと分布型流出モデル)の構造

- 流域の解像度
  - 0.5x0.5°; etop2より作成。
- 植生パラメータ
  - 先に示した値を時間的にも空間的にも不変。
- 河道流の運動
  - Kinematic wave法
  - 各種常数は、側方流入のない区間の波形伝播より決定
- 貯留関数成分
  - 貯留関数への流入率は trial & error法. 年間を通じて一定。

レナ川の水文特性解析に用いたモデル構造の概観図 (Hatta et al.)

CREST第4回領域シンポジウム  
コクヨホール・東京 2007/10/23

46

### 潜在的応答特性の概念/大陸河川への適用 現況の再現性 / 水収支と蒸発散量の空間分布

- VS 再解析データ
  - 精度向上
- VS 水文解析
  - ほぼ同程度の再現性

	Ev mm yr <sup>-1</sup>	Runoff mm yr <sup>-1</sup>
This study	201.1 ± 13.8	204.0 ± 32.8
Serreze	182	221
Obs.	--	257.9 ± 34.7

(Park et al., in preparation)

- VS 現地観測
  - 本モデル: 150mm/JJA → 1.60 mmd<sup>-1</sup> (レナ川中流部)
  - 現地観測: 1.16 - 1.90 mmd<sup>-1</sup> (Ohta et al., 2001, Kelliker, et al., 1995, 1997, Dolman et al., 2004)

"潜在的"応答特性の概念に基づく2LMによる蒸発散量の空間分布 (JJA / 1986-2003) (Park et al., in preparation)

47

### 潜在的応答特性の概念/大陸河川への適用 現況の再現性 / 内部流域を含む再現性

レナ川河口における実測ハイドログラフと計算ハイドログラフ (1982-2003) (Hatta et al.)

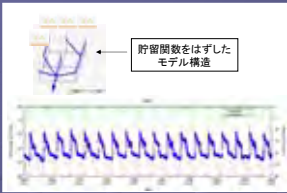
- ハイドログラフ
  - 結水を含んでいないため
    - 融雪期: 2週間程度計算が早い
    - 秋期: 結水による急激な流量の低下が再現できていない。
    - 簡易な凍結モデルで、上記は解決できることを確認 → 精緻なモデルを開発中。
- 年間流出量
  - レナ川, アルダン川: 再現
  - レナ川上流: 過大, アルダン川: 過小
  - 降水量の推定の問題??

3内部流域を含む年間流出量の再現性

48



潜在的応答特性の概念/大陸河川への適用  
**現況の再現性 / 2つの流出成分**



貯留関数をはずしたモデル構造

- **表層土壌**: 2LMの土壌による変換系のみ
  - 全流出の70%
- **深層土壌**: 2LMの土壌 + 分布型モデルの貯留関数の変換系
  - 全流出の30%
  - Shepelev et al., (1984)が指摘した, inter-permafrost groundwater, under-permafrost groundwaterの流出成分の比率に一致する。
  - 非常に遅い流出成分の重要性。

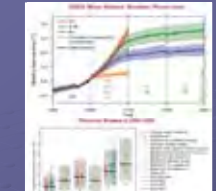
貯留関数を持たない流出解析結果 (Hatta et al.)

貯留関数をはずすことにより

- 非常に遅い成分の再現ができない。
- 夏季の再現精度に、変化はない。

CREST/第4回領域シンポジウム  
 ココヨホール・東京 2007/10/23 49

潜在的応答特性の概念/環境変動と水循環  
**環境変動による水循環変動**

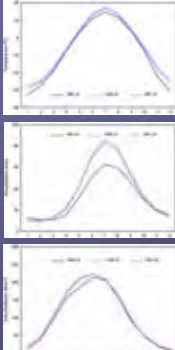


シナリオによる気温変動予測(上)と同一シナリオ間でのモデルによる出力差

- **環境変動シナリオ (左上)**
  - IPCC(2007)のA1Bシナリオ
    - 経済発展重視で地域格差が縮小する。すべてのエネルギー源のバランスを重視され、温室効果ガスの人為的な排出量が中水準で移行する。
    - CO2排出量は、2050年前後にピーク。
- **Forcing dataの作成(左下)**
  - 11GCMsのアサンブル平均
- **モデルパラメータ**
  - 現況と何も変化させない
  - “潜在的”応答特性の範囲内で、植生応答は変動。
- **計算期間**
  - 現況: 1986 - 2003
  - 2050: 2047 - 2065
  - 2100: 2082 - 2100

環境変動下のforcing dataに利用したGCM model 50

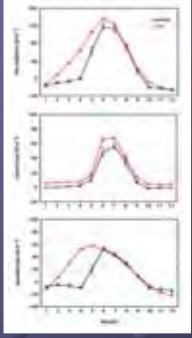
潜在的応答特性の概念/環境変動と水循環  
**レナ川流域の気象環境の変動**



- **気温**
  - 冬期の上昇が顕著
- **降水量**
  - 夏季の増加が顕著
  - 冬期は現況とほぼ同じ
  - 高緯度帯一般の傾向と異なる。
- **放射**
  - 融雪期(4,5月)の増加が顕著

レナ川流域平均の気象環境の変化 (Park et al.) 51

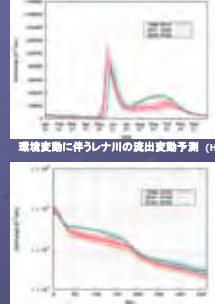
潜在的応答特性の概念/環境変動と水循環  
**レナ川流域の熱収支構成要素の季節変動**



- **純放射量**
  - 春期の増加が顕著
  - 短波放射の増加
  - 積雪域の変動?
- **潜熱フラックス**
  - 年間を通じて増加
- **顕熱フラックス**
  - 春期-初夏に増加

レナ川流域平均の熱収支環境の変化 (Park et al.) 52

潜在的応答特性の概念/環境変動と水循環  
**レナ川流域の流出特性**



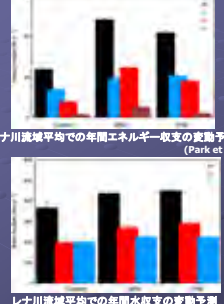
環境変動に伴うレナ川の流出変動予測 (Hatta et al.)

環境変動に伴うレナ川の流況変動予測 (Hatta et al.)

- **ハイドログラフ**
  - 結氷を考慮していない
  - 温暖化するにも関わらず、融雪期のピークは遅れ、小さくなる。
  - 昇華蒸発による積雪量の減少?
  - 夏季の流出量は増加。
- **流況曲線**
  - 年間最大流出量は低下。
  - 全体的に流出量は増加。
  - Day=30-170の増加は、夏季流量に対応。

CREST/第4回領域シンポジウム  
 ココヨホール・東京 2007/10/23 53

潜在的応答特性の概念/環境変動と水循環  
**レナ川流域の水・熱収支構成要素の変動**



レナ川流域平均での年間エネルギー収支の変動予測 (Park et al.)

レナ川流域平均での年間水収支の変動予測 (Park et al.)

- **エネルギー収支**
  - 各構成成分とも増加
  - エネルギー循環の活発化
- **水収支**
  - 蒸発散量: 約90mmの増加
    - IPCCの予測範囲内
  - 流出量: 約25mmの増加

早川ポスターで、流出解析、予測の詳しい結果を報告。 54

## “潜在的”応答特性の概念の応用

- **他大陸の森林群集への“潜在的”応答特性の概念の応用**
  - Ameri FLUX: 再現可
  - Euro FLUX: 計算値過大
    - 植生?、土壌水分量の表現?
- **大陸河川流域への応用/現況の把握**
  - “潜在的”応答特性の概念で18年の水収支、河川流量を再現可
  - 浅い土壌流出と遅い流出成分
    - 遅い成分の重要性
- **大陸河川流域への応用/環境変動**
  - エネルギー収支項はいずれも増加
    - 正味放射: 顕熱が冬から春にかけて増加、潜熱は一年を通して増加
    - 蒸発散量の増加...IPCC予測の範囲と一致
  - 冬期の潜熱増加は雪の昇華に対応、雪の減少が放射収支や顕熱にも影響
  - 流出にも融雪期の出水の減少として影響、夏期の流出は降水量の増加に伴い増加

CREST 第4回領域シンポジウム  
コクヨホール・東京 2007/10/23 55

## CRESTでの活動概要

- **研究会など**
  - IBPC/RUS, PINMATRA/NL, CREST/JPNを中心とした国際WS
    - ヤクーツク: 2004/10, アムステルダム: 2006/01  
名古屋: 2007/01
  - CREST/WECNoF 研究報告会およびリーダーミーティング
    - 名古屋, 札幌, 仙台: 計11回
  - 電話会議
    - 各自の電話: 計34回
  - その他の会議の共催
    - 国際: 1, 国内: 3
- **成果の公表**
  - 原著論文: 国内誌8, 国際誌53
  - 学会発表: 口頭 ---- 国内: 48, 国際: 50  
ポスター --- 国内: 18, 国際: 24
  - Special Issue "Biosphere-atmosphere exchange in Northern Eurasian" / Agricultural and Forest Meteorology
    - 収録締め切り: 2007/10/31
- **若手研究者の育成**
  - PD(CREST) 研究教育機関: 3名
  - 修士課程修了者: 5名
  - 博士学位取得予定者: 3名

CREST 第4回領域シンポジウム  
コクヨホール・東京 2007/10/23 56

## CRESTを終えて

- **研究活動を通して**
  - 水文学・気象学(地学)と生態生理学(生物)のcollaboration
    - Leaf - Stand - Watershedと同じ方向で並列に議論ができた
  - 森林“群落”はかなりconservative?
    - 何か変化しても、違う構成要素が補完する一類似した出力
- **研究期間**
  - 5年間: “緊張感”と“ゆとり”のちょうどよい期間
  - 中間評価: チーム自身を自ら検討するよい機会
- **研究資金**
  - H18年度までは、JST直轄と機関受託の2本立ては、ある意味使い勝手をよくしていた
- **海外での現地研究**
  - 現地研究者との“真の意味での”対等な研究協力とは?
- **チーム研究**
  - “チームとしての成果”と“個人の興味”の折り合い

CREST 第4回領域シンポジウム  
コクヨホール・東京 2007/10/23 57



## 有り難うございました。

CREST/WECNoF研究チーム 一同



CREST 第4回領域シンポジウム  
コクヨホール・東京 2007/10/23 58