

第二回 沼口敦さん記念シンポジウム (2006/3/29)

@東大駒場リサーチキャンパス

湿潤域の短時間降雨予測に おける地表面加熱の重要性

田中賢治

京都大学防災研究所

水資源環境研究センター

tanaka@wracs.dpri.kyoto-u.ac.jp

陸面過程と数値予報

- 陸面過程(特に土壌水分)が中期～長期数値気象予測に与える影響に関する研究→たくさんある
 - * 領域モデル(Kanae et al.,2001)
 - * 全球モデル(Koster et al.,2004)研究の多くは乾燥、半乾燥地帯の土壌水分に注目
- 陸面過程が(特に湿潤気候において)短期数値気象予測に与える影響に関する研究→ほとんどない
 - * 地形が水蒸気輸送に与える影響(Kimura et al.1995)
 - * 環八雲の発生に対する東京都都市部の影響(神田ら, 2000)
 - * 梅雨前線帯の深い対流に対する水田からの蒸発の重要性(Shinoda et al.,2002)

地表面条件(土地利用や土壌水分)が短期数値気象予測に与える影響についてはほとんど理解が進んでいない

降水短期予報における陸面過程の現状

集中豪雨等による被害が深刻化



雲の表現等が詳細に考慮された
非静力数値気象モデルの
現業短期予報への導入

地表面状態の違いは湿潤な地域の
短時間強雨には大きく影響しないという認識



大気モデルが改良される一方で
地表面状態の表現はあまり改良されない

現業の降水短期予報

バルク式で顕熱・潜熱フラックスを表現

$$H = \rho_m c_p C_h |U_m| (T_g - T_m)$$

$$\lambda E = \lambda \rho_m C_h |U_m| \beta [q_{vs}^*(T_g) - q_{vm}]$$

蒸発効率 β で地表面状態の違いを表現

- ・ β は土地利用ごとに
寒候期、暖候期の違いのみを考慮

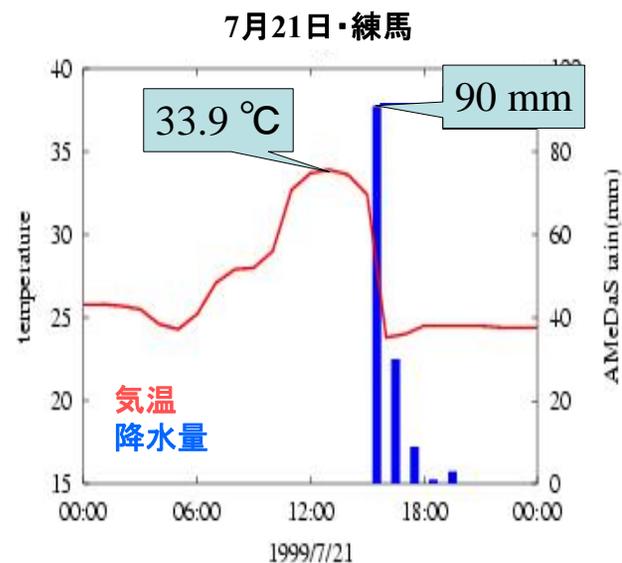
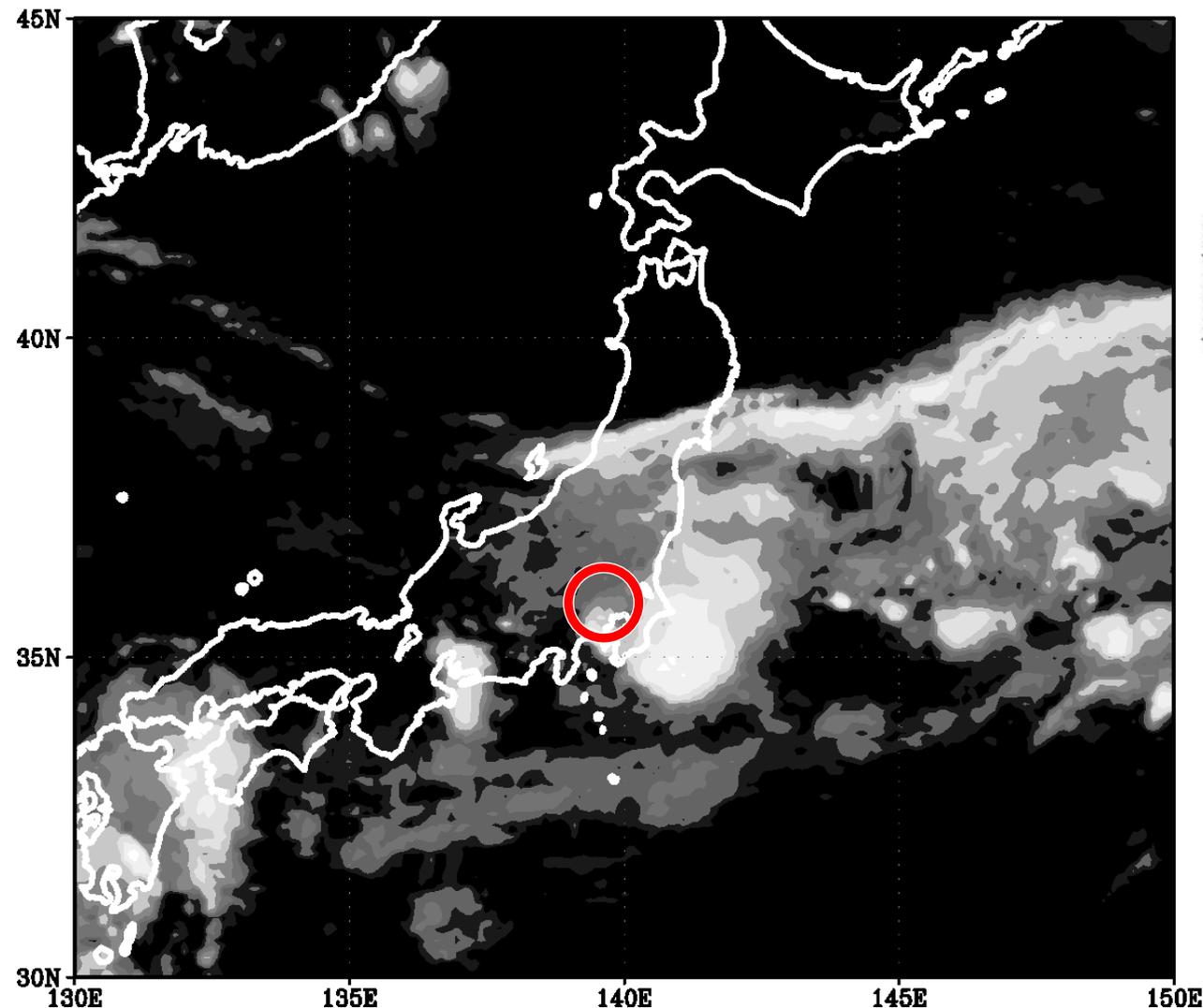
土壌水分量変動等は考慮していない

いくつかの数値実験を設定

- 都市型集中豪雨(練馬豪雨)の例
 - ☆都市の存在の影響(都市 \leftrightarrow 水田)
 - ☆人工排熱の影響(排熱あり \leftrightarrow なし)
- 山地域の対流性降水(熱雷)の例
 - ☆植生の影響(森林 \leftrightarrow 水田)
 - ☆土壌水分の影響(乾燥 \leftrightarrow 湿潤)

対象とする事例：練馬豪雨(1999.7.21)

18 JST 21 JUL 1999 GMS-IR1



被害概要(東京都)

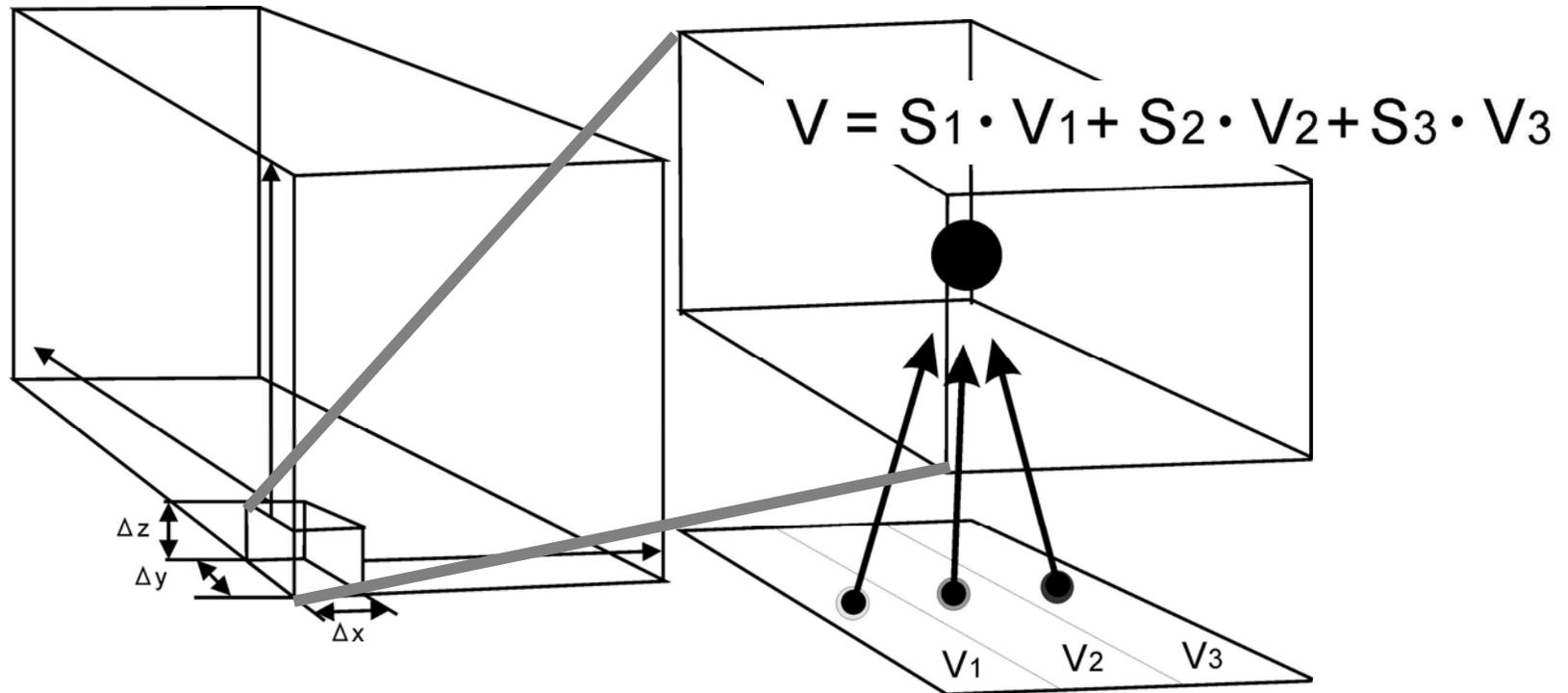
死者2名

床上浸水493棟

床下浸水315棟

練馬豪雨の例で使用するモデル

CReSiBUC



CReSS

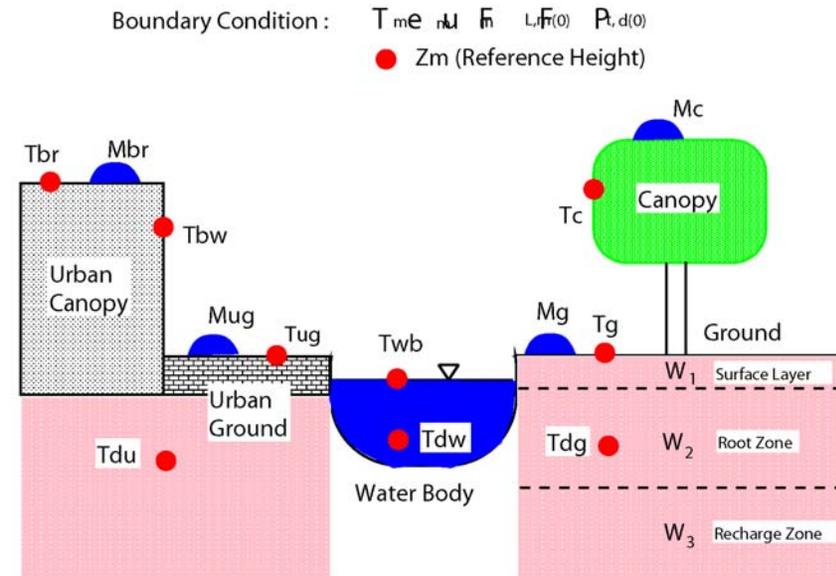
Cloud Resolving
Storm Simulator

SiBUC

Simple Biosphere including
Urban Canopy

SiBUCの基本構成

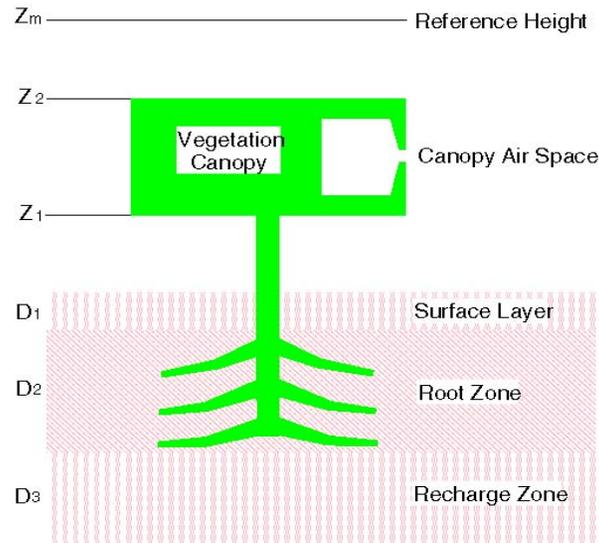
- 緑地のモデル
(green area model)
SiBを基本とする(植生を1層にするなど少し簡略化)。
- 都市域のモデル
(urban canopy model)
都市域の粗度要素としての建物群を同じ幅だけど高さは違う直方体の集合体として表現
放射過程では天空率を
- 水体のモデル
(water body model)
水温だけの強制復元モデル



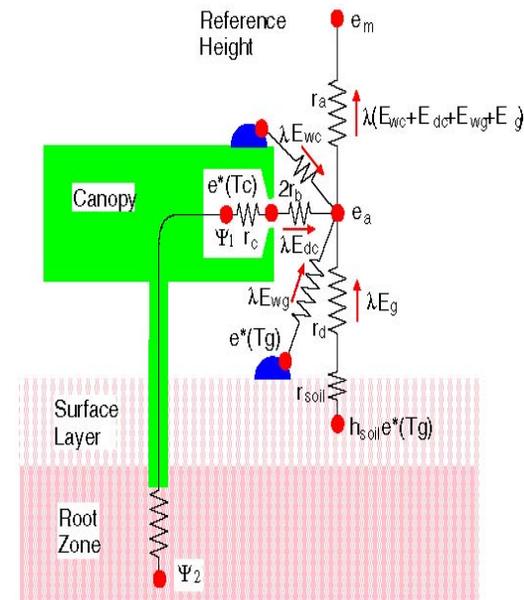
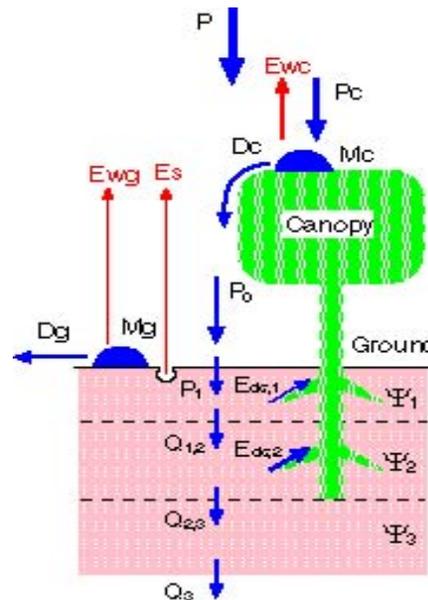
1つのグリッド内にこれら
構成要素が混在すること
を許すモザイクモデル

緑地のモデル(SiB)

- 予報変数
 - 温度(キャノピー、地表面、地中)
 - 遮断水(キャノピー、地面)
 - 土壌水分(表層、根層、再補給層)
- 時間変化しないパラメータ
 - 形態学的パラメータ
 - 光学的パラメータ
 - 生理学的パラメータ
 - 土壌物性
- 時間変化するパラメータ(LAI等)
 - 衛星データから推定
- 物理過程
 - 放射、降水遮断、流出発生、
 - 地中水文、植物生理(SPAC)、
 - 乱流輸送、積雪・融雪、...



植生1層
土壌3層



水田スキーム

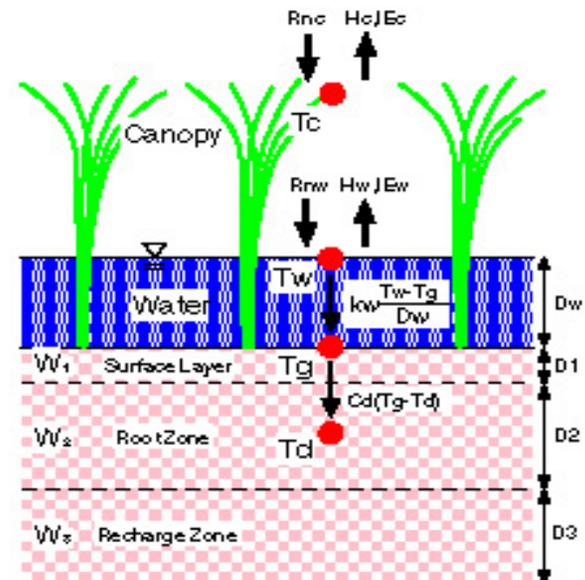
- 水深、水温を予報変数に追加

$$C_c \frac{\partial T_c}{\partial t} = Rn_c - H_c - lE_c$$

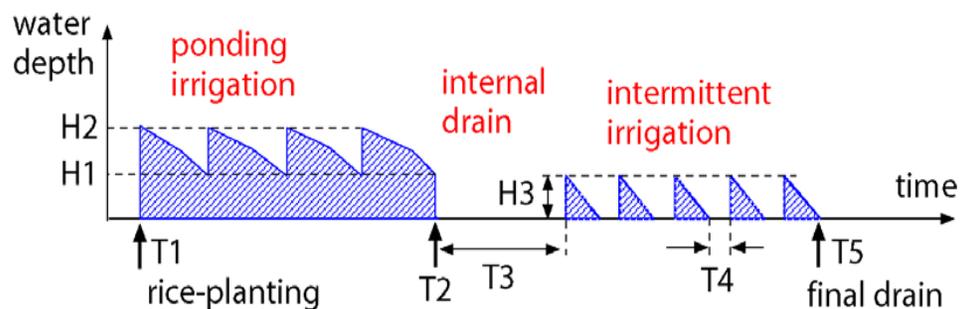
$$C_w D_w \frac{\partial T_w}{\partial t} = Rn_w - H_w - lE_w - k_w \frac{T_w - T_g}{D_w}$$

$$C_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = k_w \frac{T_w - T_g}{D_w} - \omega C_d (T_g - T_d)$$

$$C_d \frac{\partial T_d}{\partial t} = \omega C_d (T_g - T_d)$$

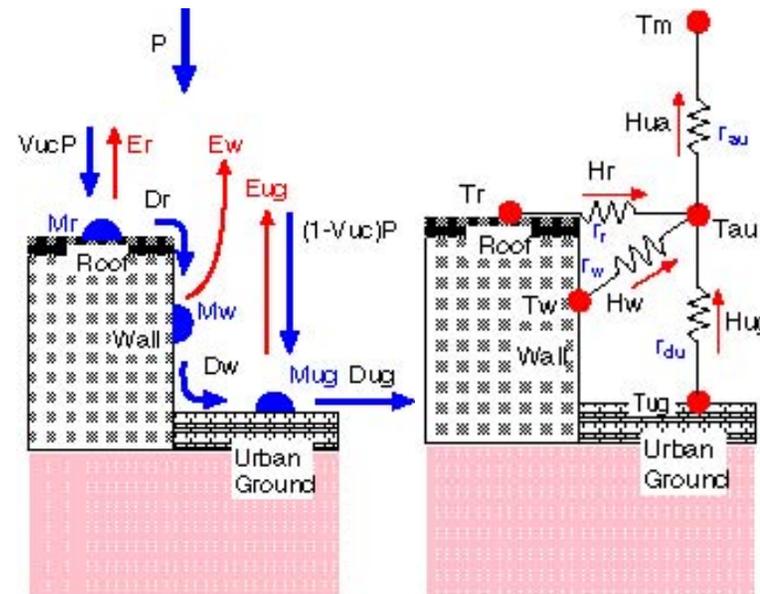
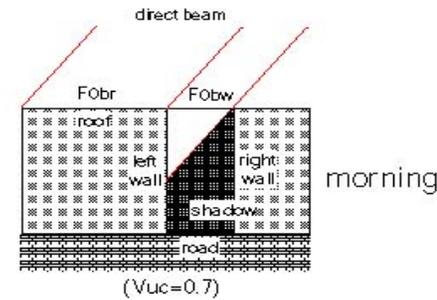
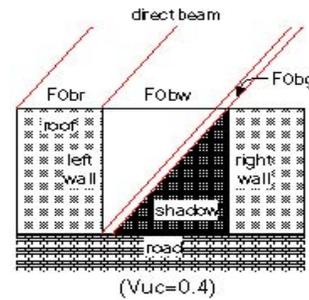
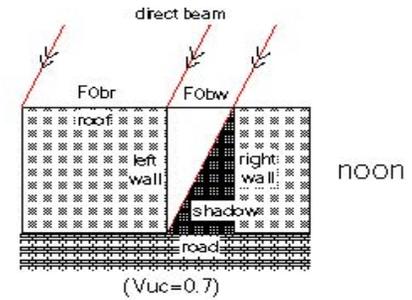
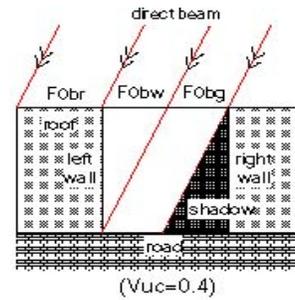
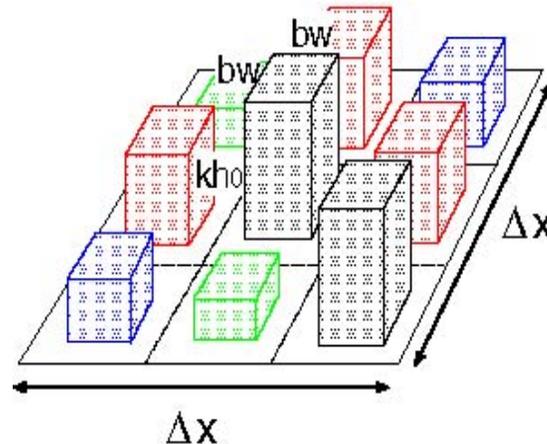
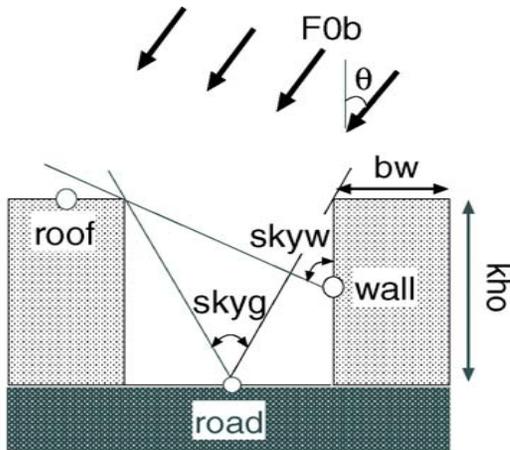


- 水深の人為的な操作(灌漑)
 稲の生育段階に応じて最適水深、
 維持最低水深等を設定
 例えば日本の水田では
 湛水灌漑、中干し、間断灌漑



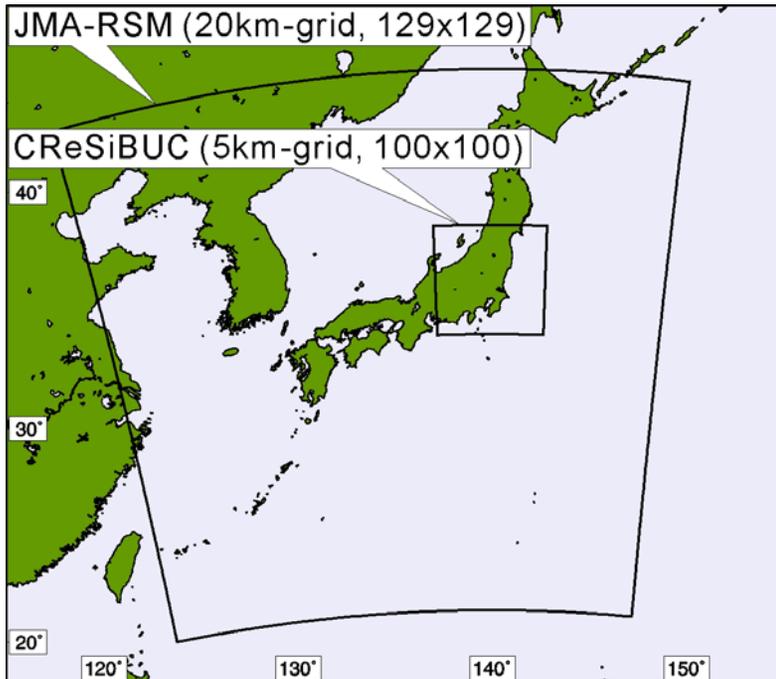
都市キャノピーモデル

- 都市キャニオンの概念 (Oke, 1987)
道路とそれに面したビルの壁面で構成される
- 天空率 道路: skyg 壁面: skyw
- 予報変数
温度(屋根、壁面、路面、地中)
遮断水(屋根、壁面、路面)
- 同じ幅だけど高さは違う建物要素の集合体
- 屋根面高度や人工排熱量の空間分布を与えることが可能



数値実験の設定

- 水平格子間隔5 km、格子数100 × 100 × 45
- RSMのGPVデータ → 初期値、境界値
(風向、風速、気温、気圧、湿度)
- 1999年7月21日09 JSTから12時間積分



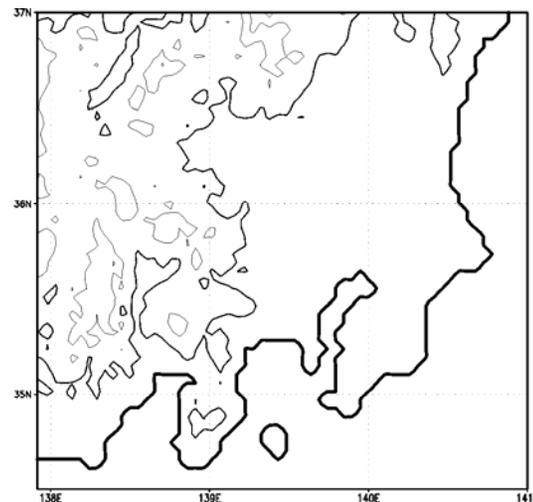
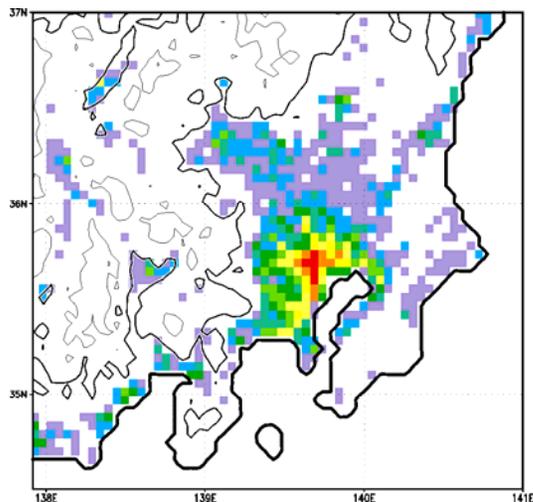
	土地利用分布	人工排熱
CTL	現実	なし
PDY	都市→水田	なし
AHD	現実	400 Wm ⁻²

数値実験で用いた土地利用面積率

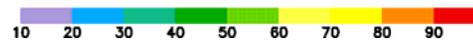
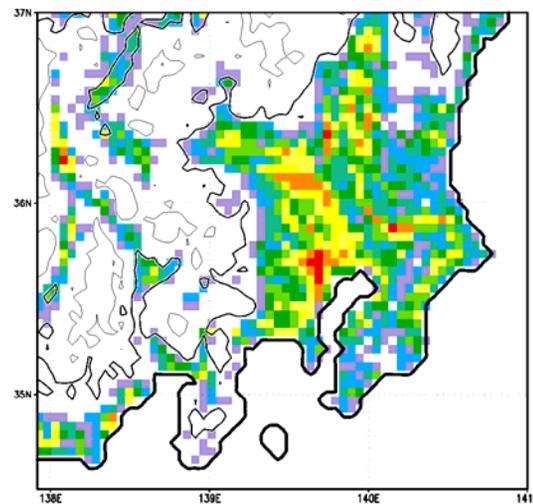
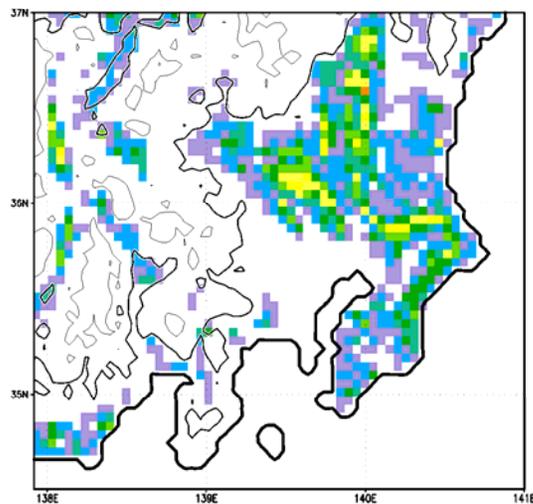
CTL

PDY

都市域

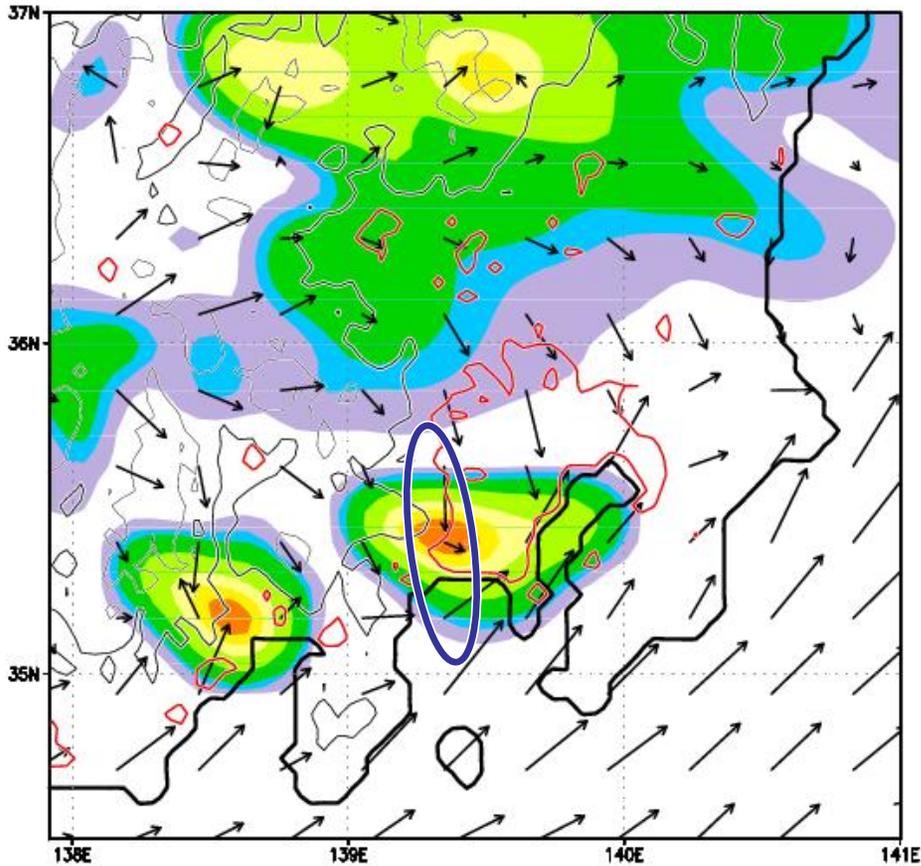


水田

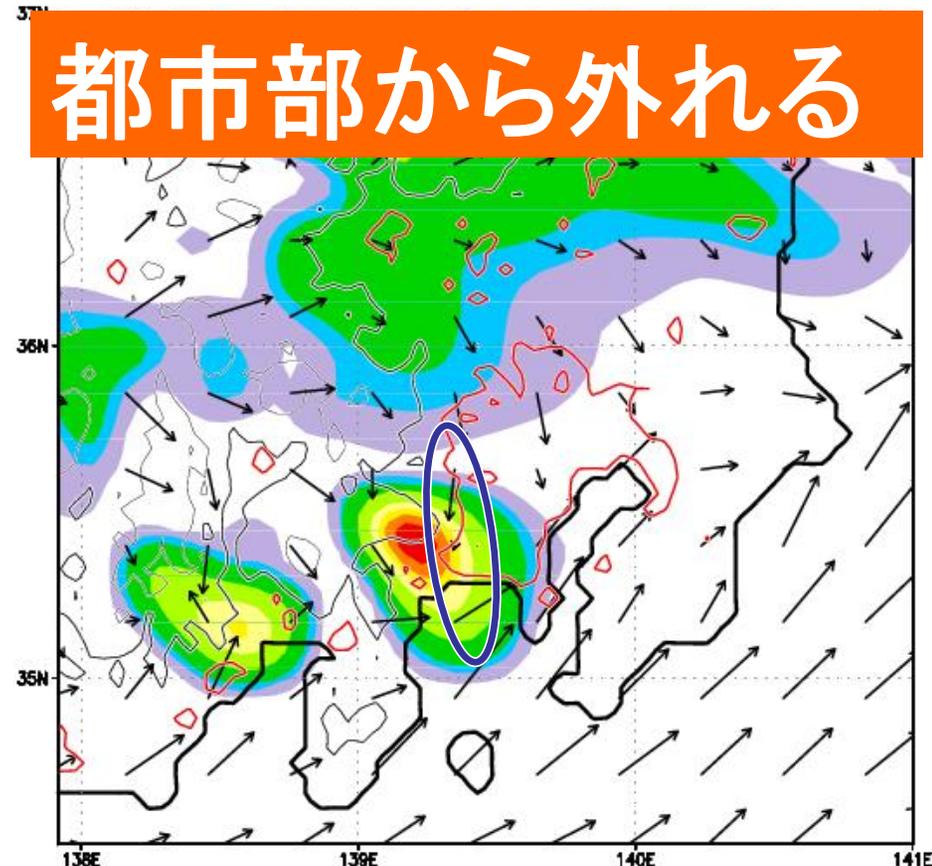


土地利用分布に対する感度実験(PDY)

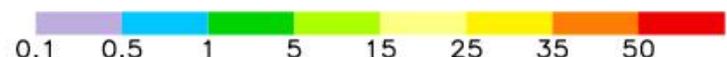
Accumulated Rainfall (mm)
CTL 15~18 JST



Accumulated Rainfall (mm)
PDY 15~18 JST



都市部から外れる

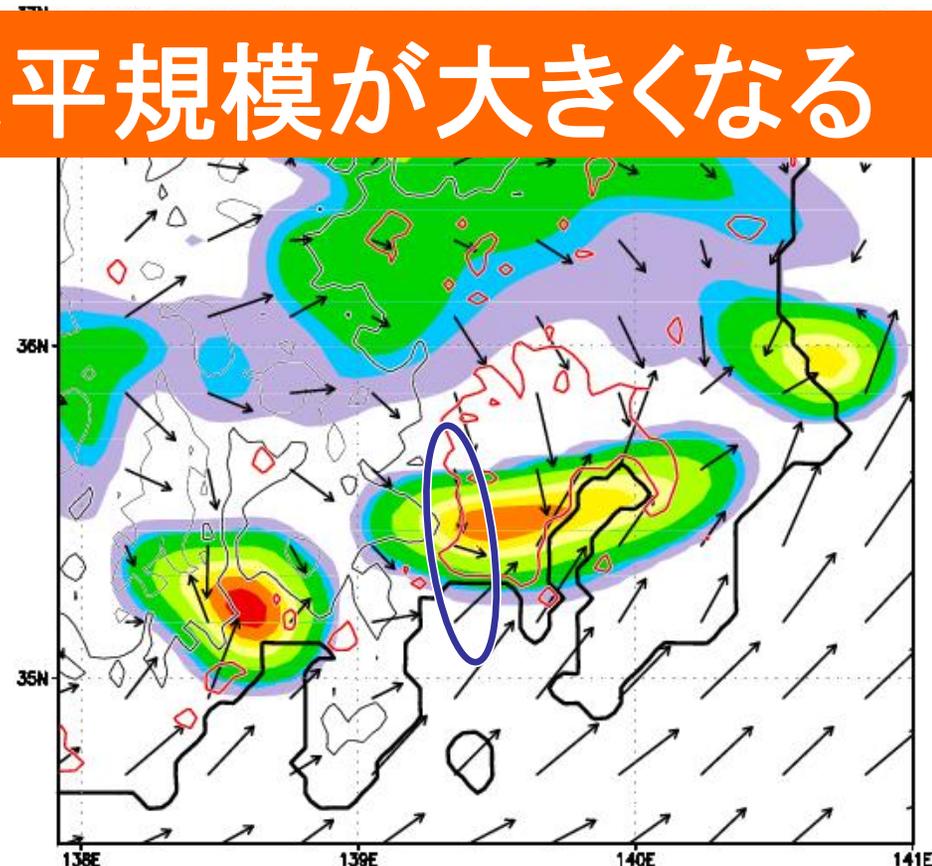
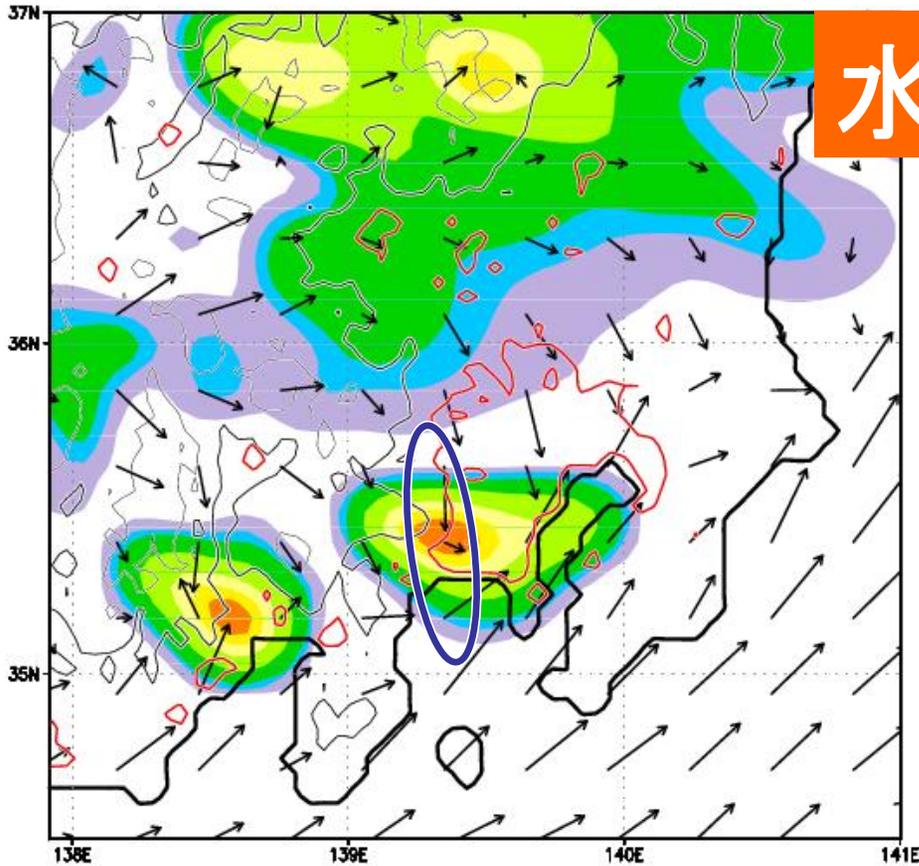


人工排熱量に対する感度実験(AHD)

Accumulated Rainfall (mm)
CTL 15~18 JST

Accumulated Rainfall (mm)
AHD 15~18 JST

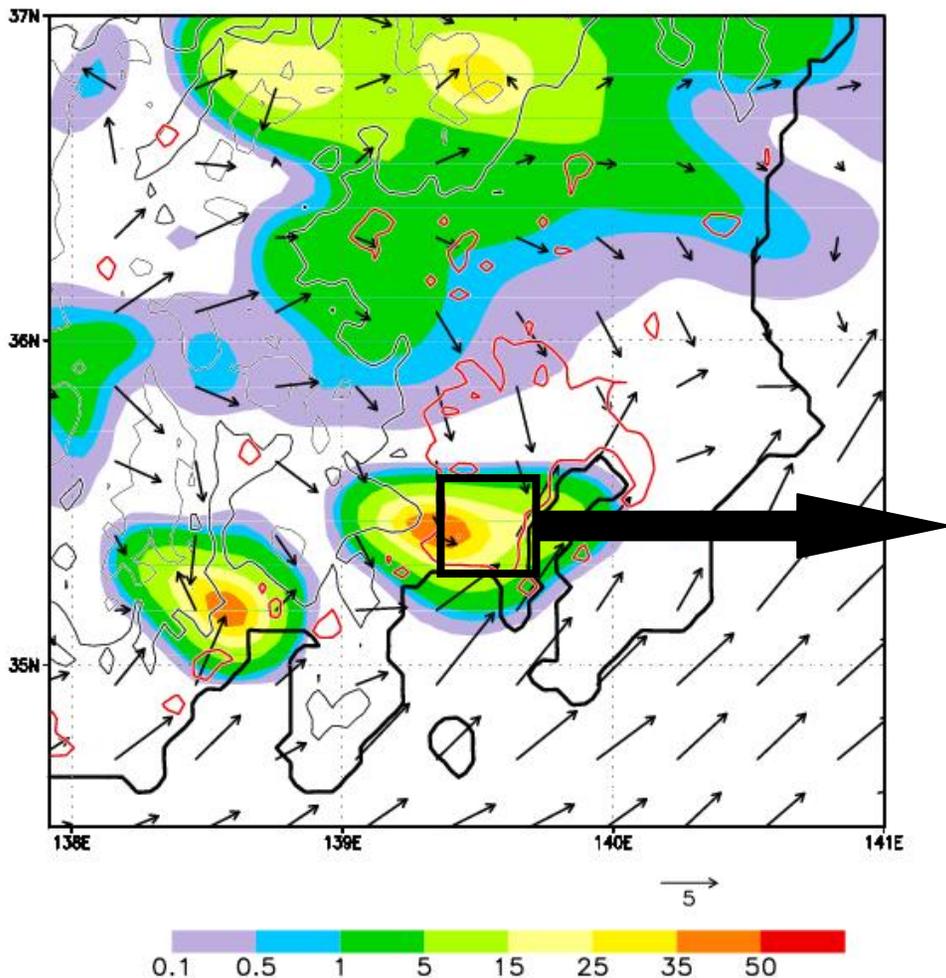
水平規模が大きくなる



各実験における領域平均雨量

15 - 18 (JST), RAINFALL (mm)

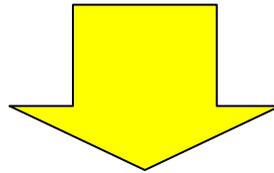
CReSiBUC(control)



CTL	24.2 mm
PDY	3.7 mm
AHD	33.0 mm

まとめ

都市の存在 → 降水域の形成位置に影響
都市域における人工排熱
→ 降水域の水平規模に影響



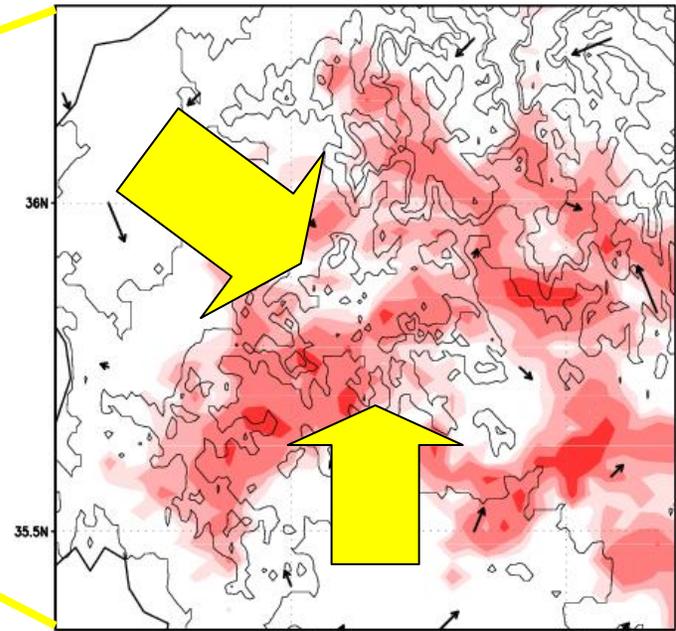
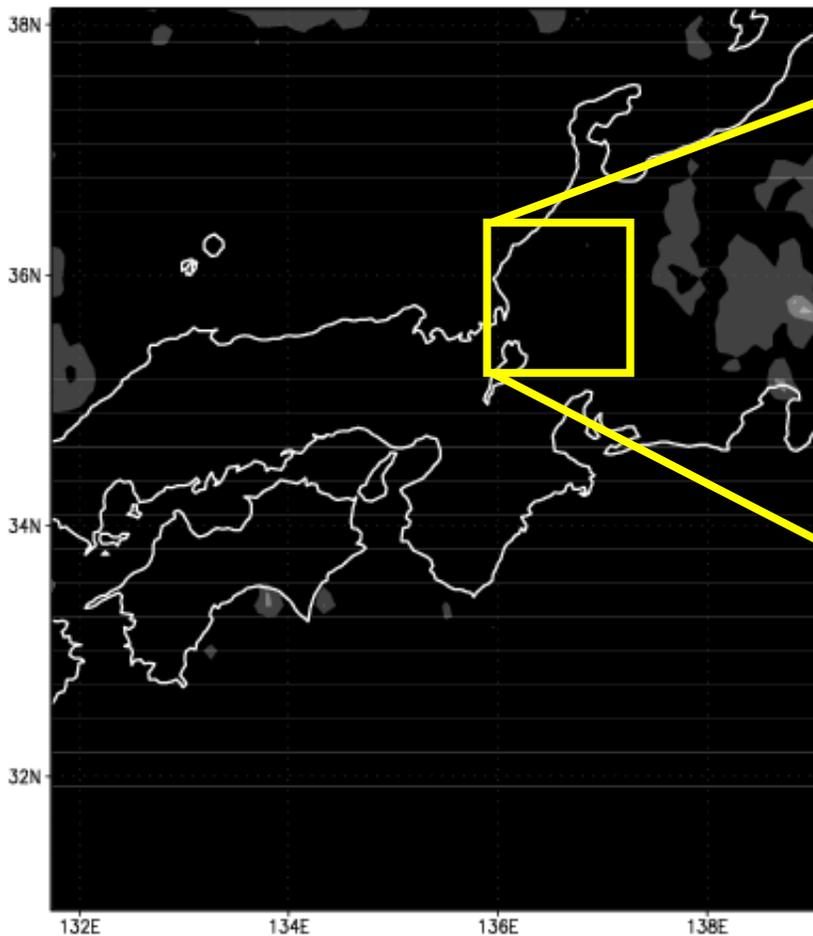
ヒートアイランドに伴う熱的影響が、降水域の形成位置や降水量に影響を及ぼす。

対象とする事例：熱雷

2001年琵琶湖プロジェクト集中観測時(2001/08/15)

積算降水量(12JST-18JST)
+地上風速(13JST)

GMS Ir1 雲画像

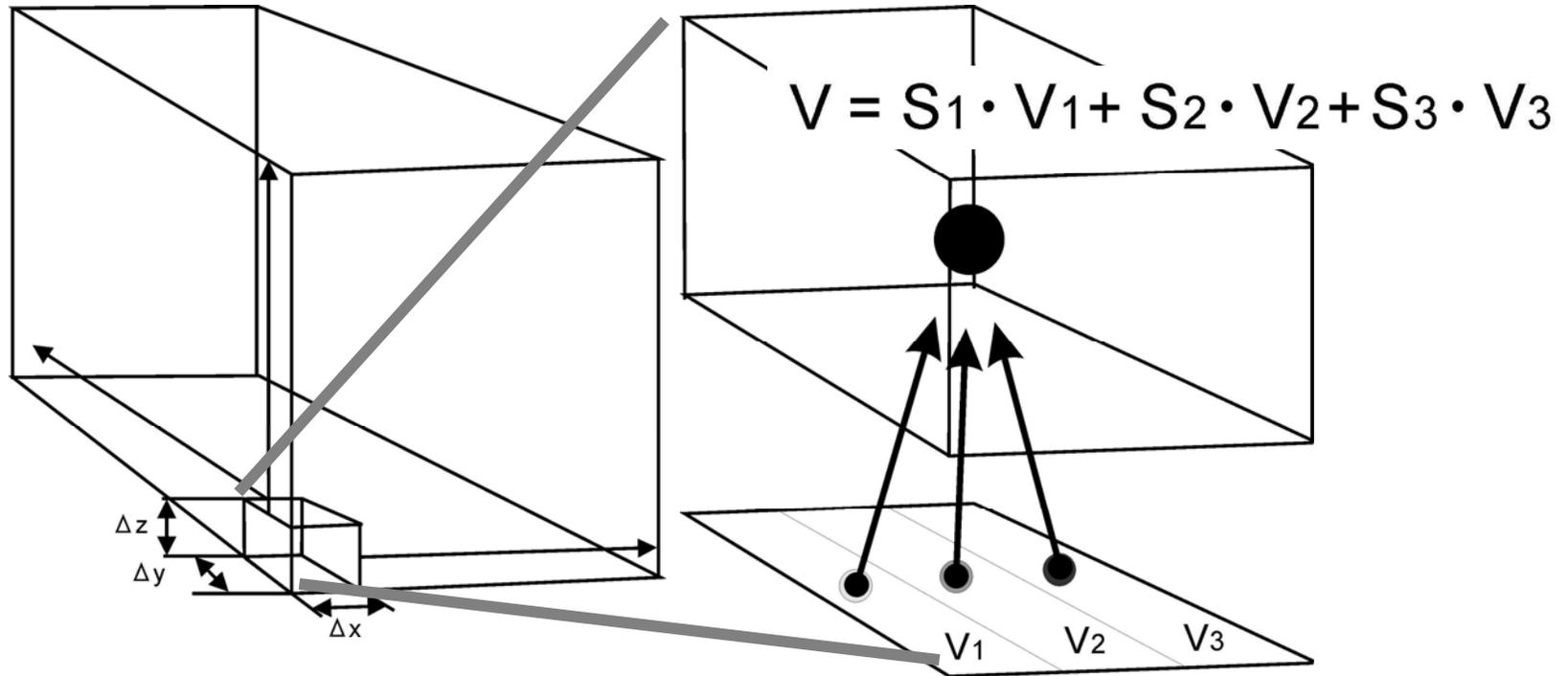


海陸風、山谷風等の
局地循環が発達
→地表面状態の影響大



熱雷の例で使用するモデル

ARPS-SiBUC



ARPS

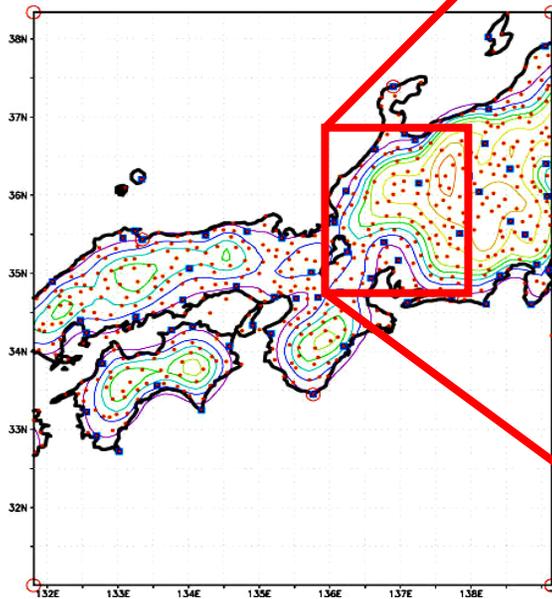
Advanced Regional
Prediction System

SiBUC

Simple Biosphere
including Urban Canopy

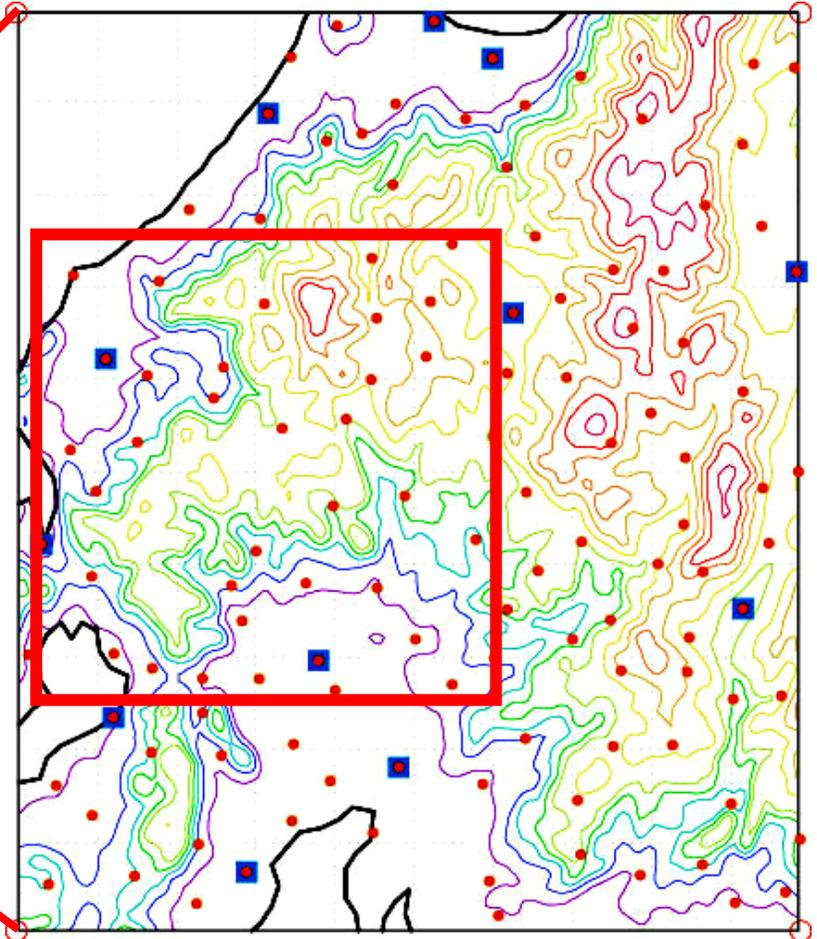
計算領域・計算時間

RSM上層+地上
 $\Delta x = 40\text{km}$



52×52

8月14日21JST~15日18JST
(21hours)



148×148 $\Delta x = 1.5\text{km}$

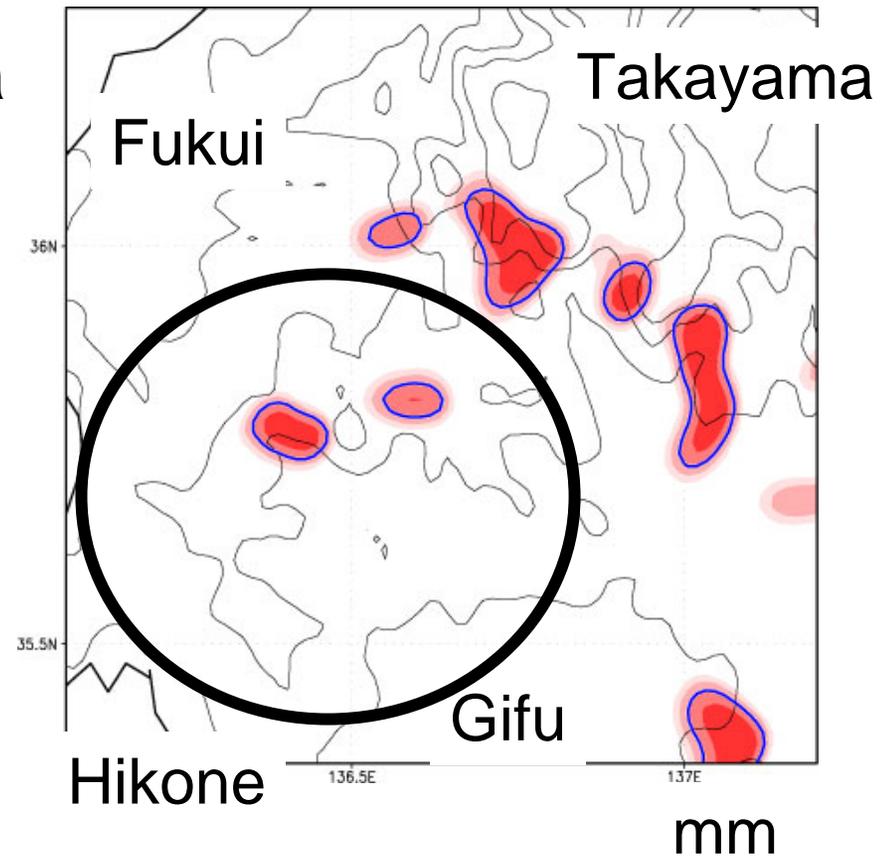
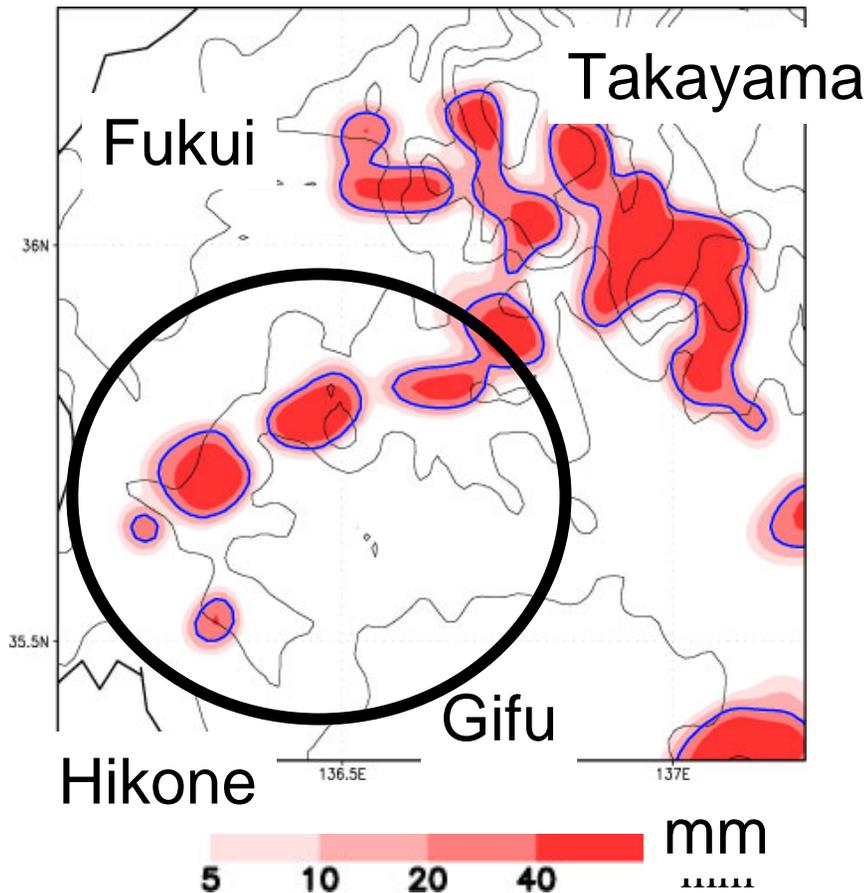
15日09JST~18JST
(9hours)

土地利用を変えた実験

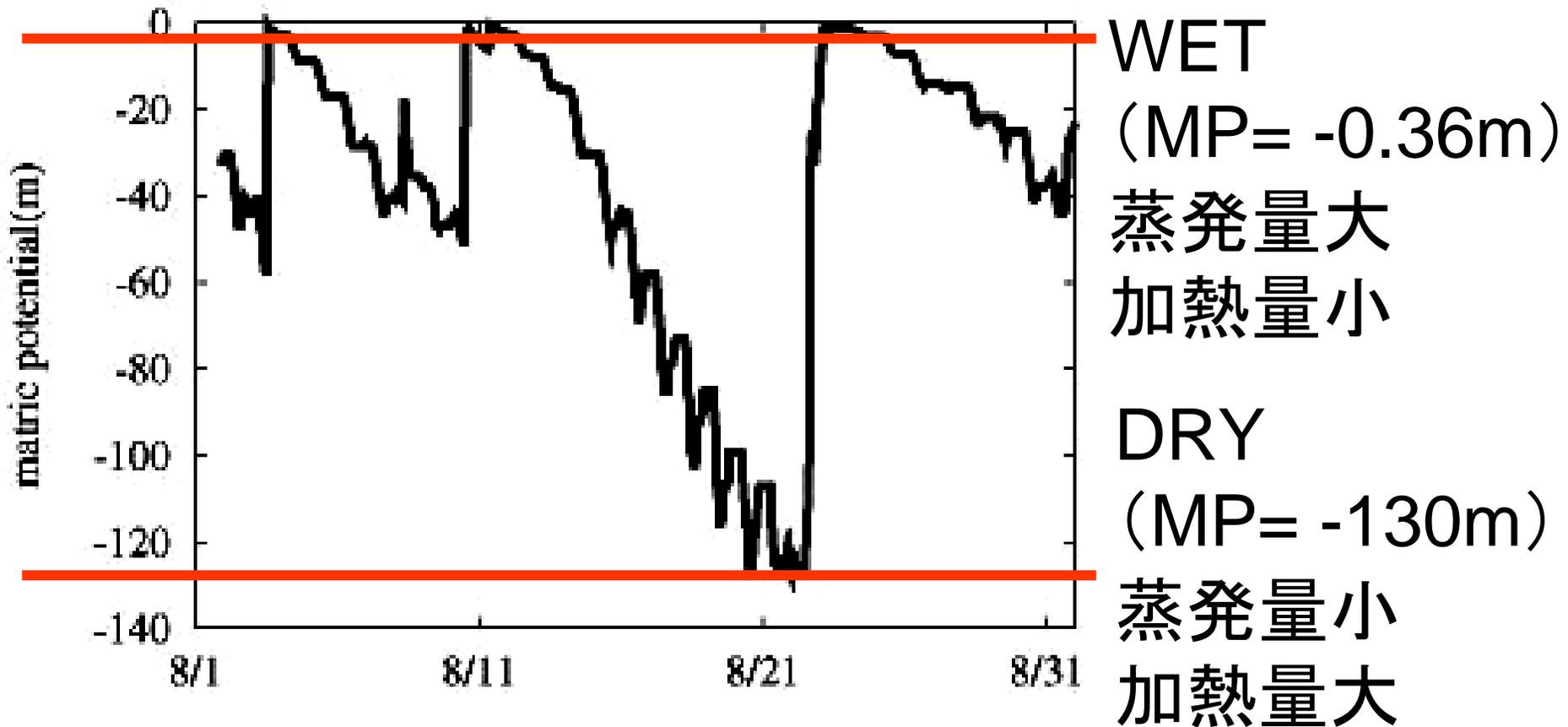
- 時間がないので省略

CTL

PDY



土壤水分量を変えた実験

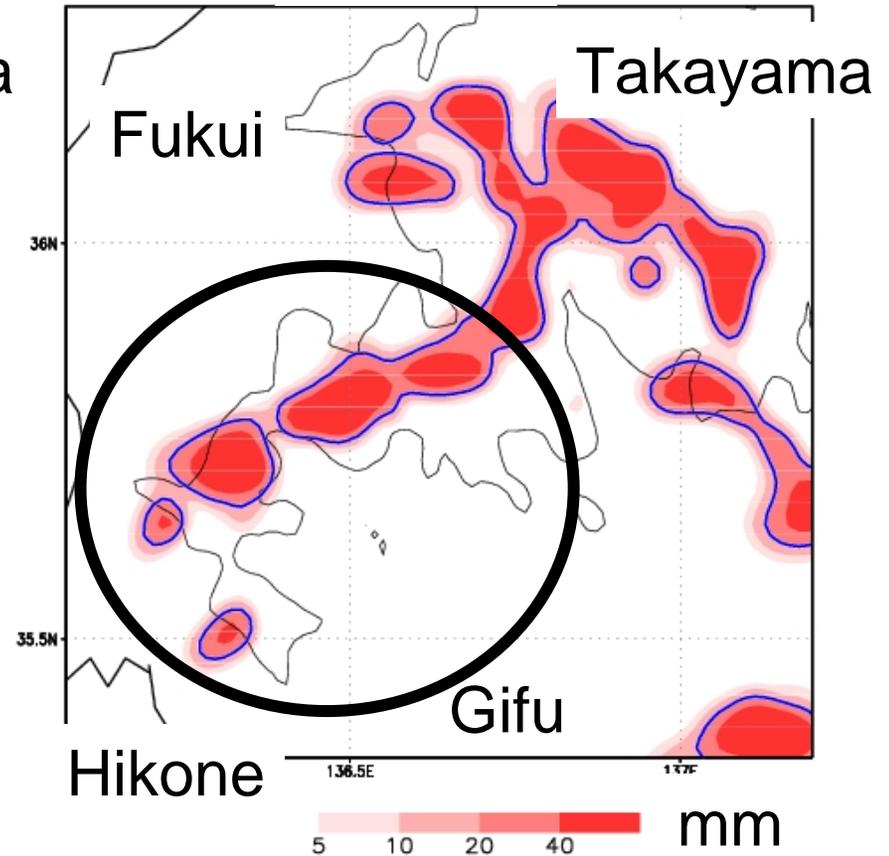
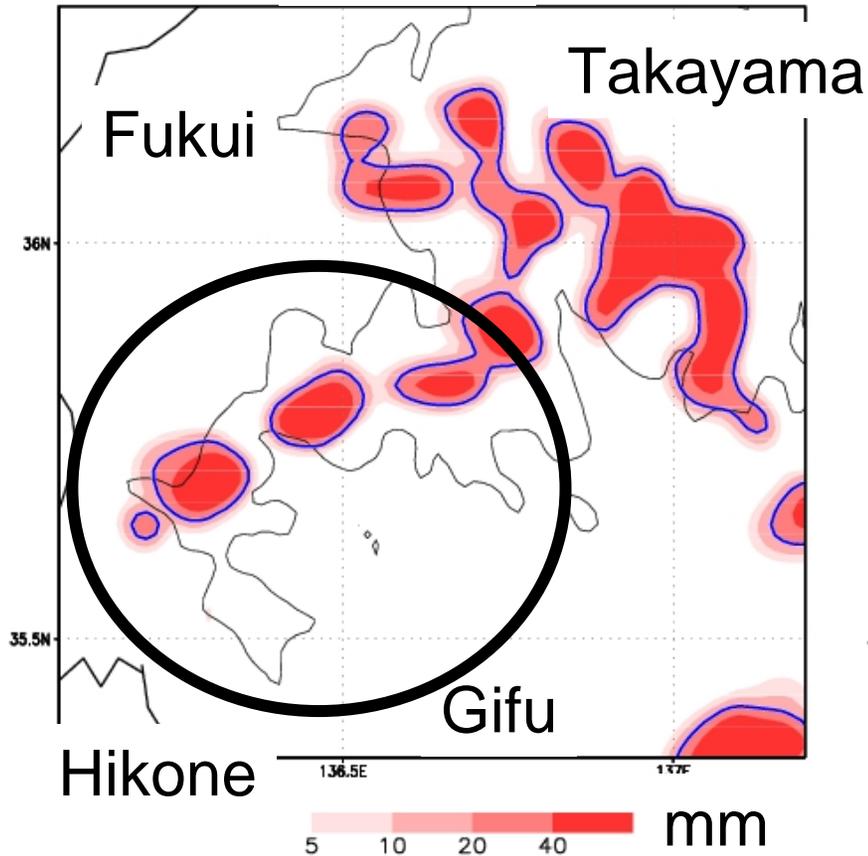


2001年8月の土壤水分量観測値(地中20~30cm)
(琵琶湖プロジェクト常設観測(森林))

6時間積算降水量(12-18JST)

WET

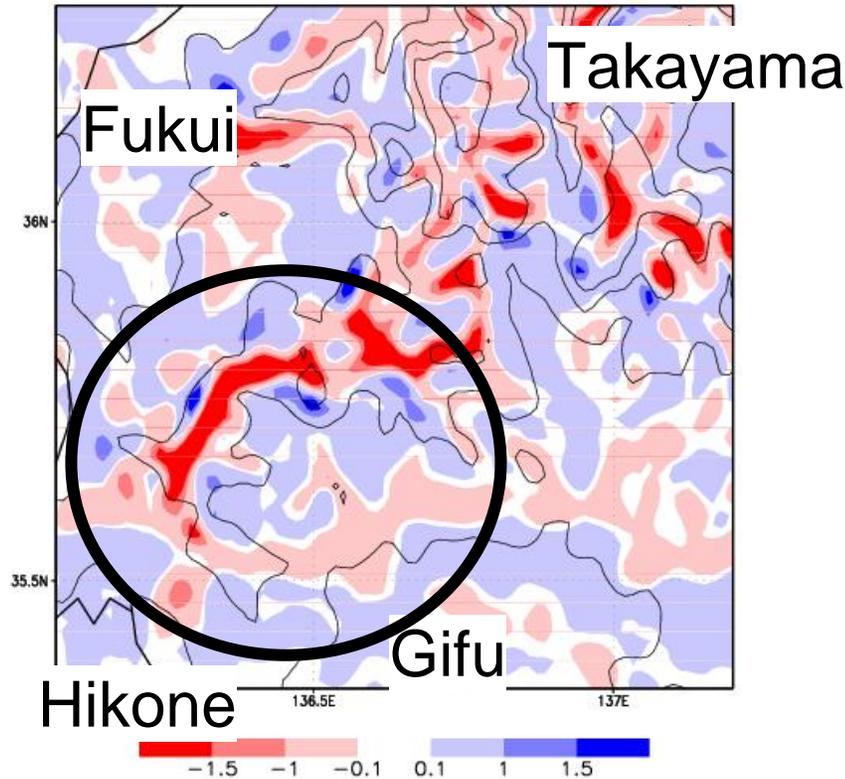
DRY



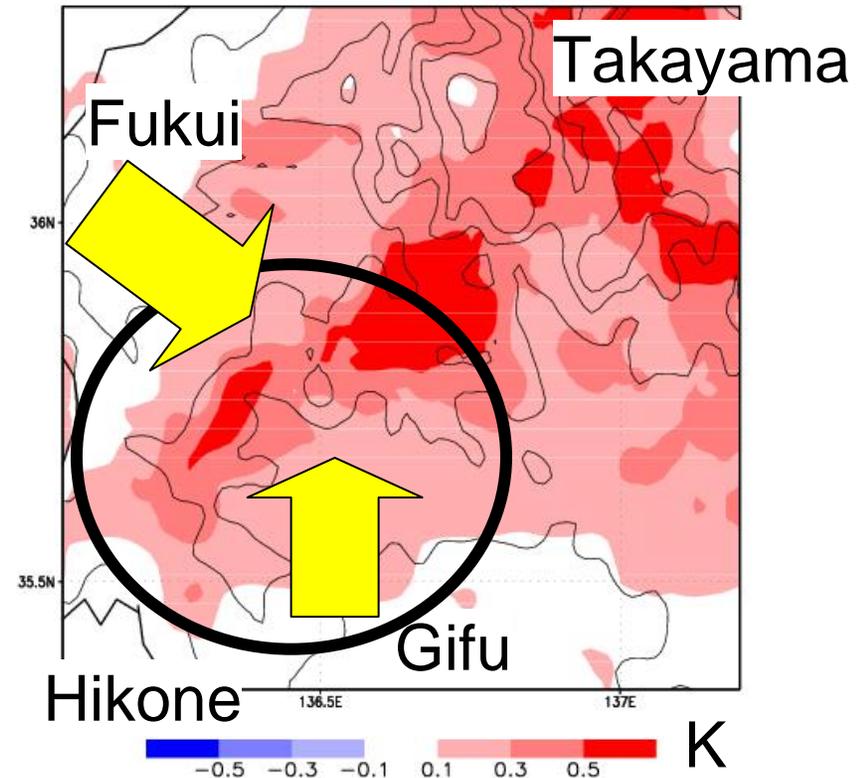
琵琶湖北東の山地域でDRYの方で
20mm以上の降水域が拡大

局地循環による収束(12JST)

収束の差(DRY-WET)



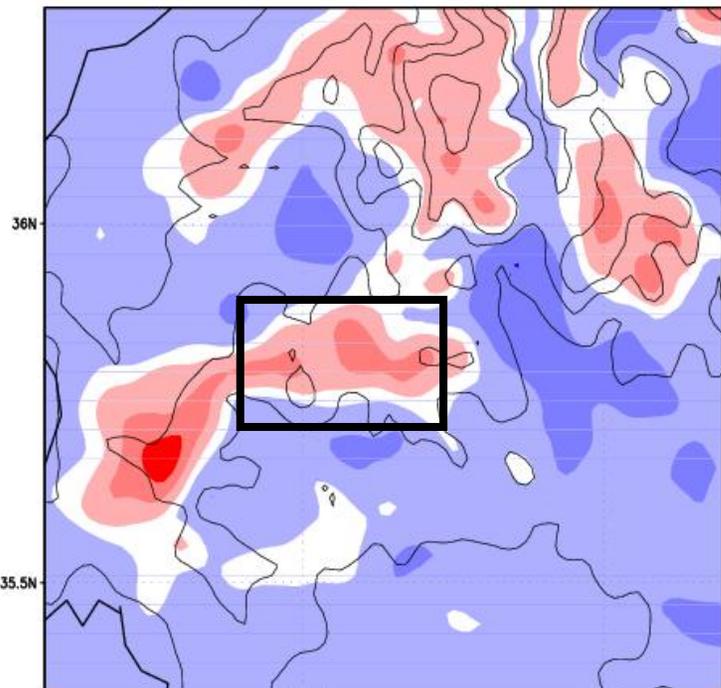
温位の差(DRY-WET)



積算水蒸気収束量がDRYで大
→山地域で地表付近の温位が高くなり
局地循環が強化されたため

可降水量についての検討

9:00JSTから12:00JSTまでの可降水量の
変化とその内訳(グリッド平均) 単位:Kg/m²



Kg/m²

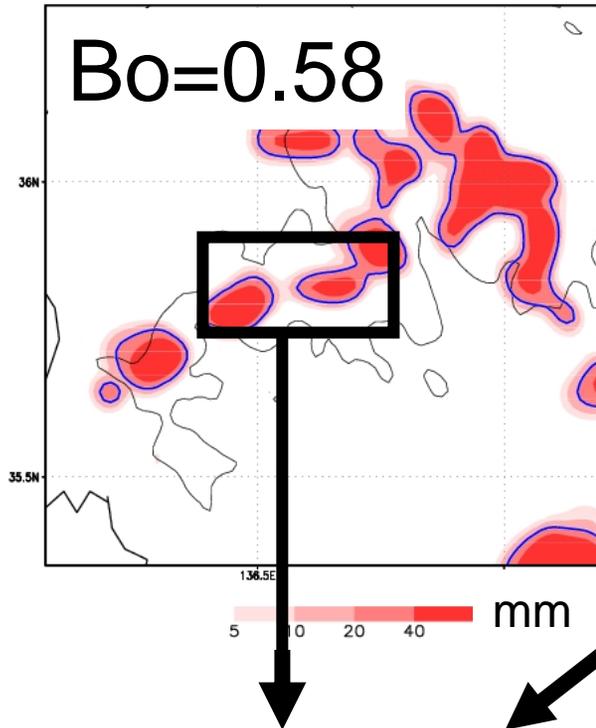
	WET	DRY	差
可降水量の変化	1.76	1.83	+0.07
積算蒸発量	1.34	1.14	-0.20
積算水蒸気収束量	0.42	0.69	+0.27

DRYでは蒸発量の減少分に
匹敵する水蒸気が
山地域へ輸送されている

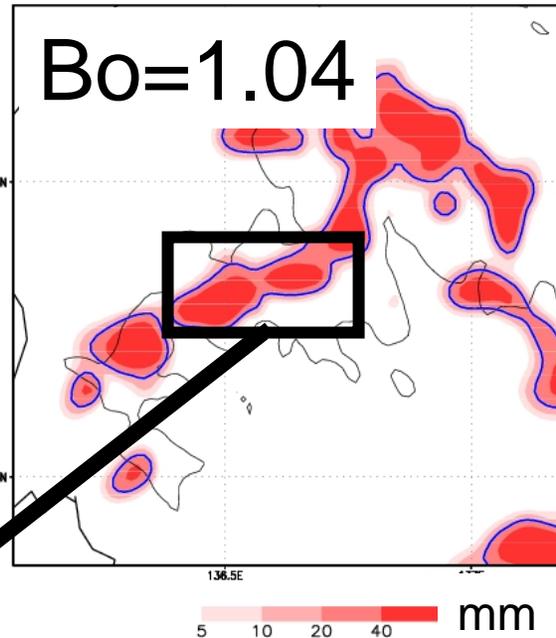
土壤水分量を変えた数値実験

2001年8月15日 6時間積算降水量(12-18JST)

WET



DRY



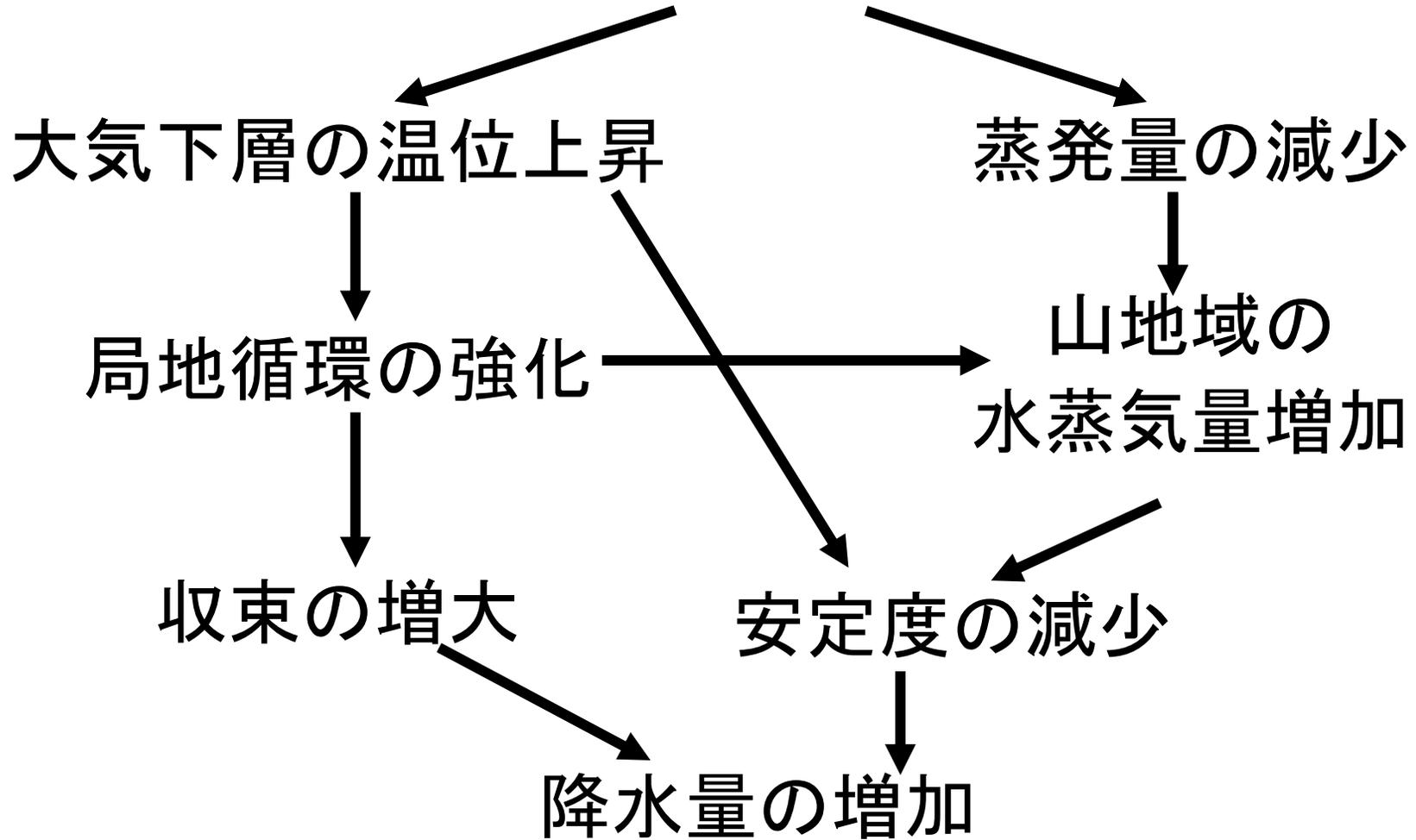
2001年8月での
最高土壤水分量
→WET
最低土壤水分量
→DRY

WET	DRY
17.2mm	23.8mm

現実には起こりうる土壤水分量
の変化が短時間で局所的な
降水に十分影響する

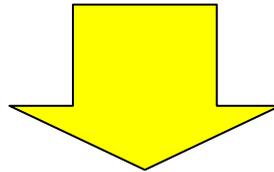
数値実験のまとめ

土壌水分量の減少(植生変化)



地表面条件を変えた数値実験のまとめ

- 地表面状態の変化(森林と水田の差)や土壌水分量の変化(月内変動程度の差)が日本の山地域における短時間で局地的な対流性降水にも影響を与える
- 夏季の日本のように水蒸気が豊富にある場合
地表面からの加熱が大きいと降水量が多い



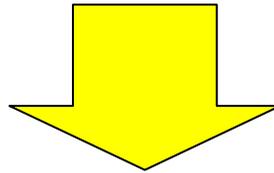
日本のような湿潤域における短期予報では特に、地表面からの加熱に与える影響が大きいもの(都市の存在、土壌水分量等)を考慮する必要がある

ところで、ここで示した差は大きい？

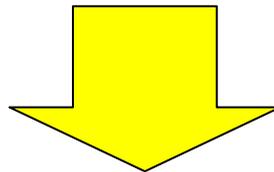
→ ダム集水域くらいのスケールで見ると十分大きな差

今後の方向

現実には起こりうる土壌水分量の変化が
短時間で局所的な降水に十分影響する



土壌水分量の直接観測は
非常に少ない

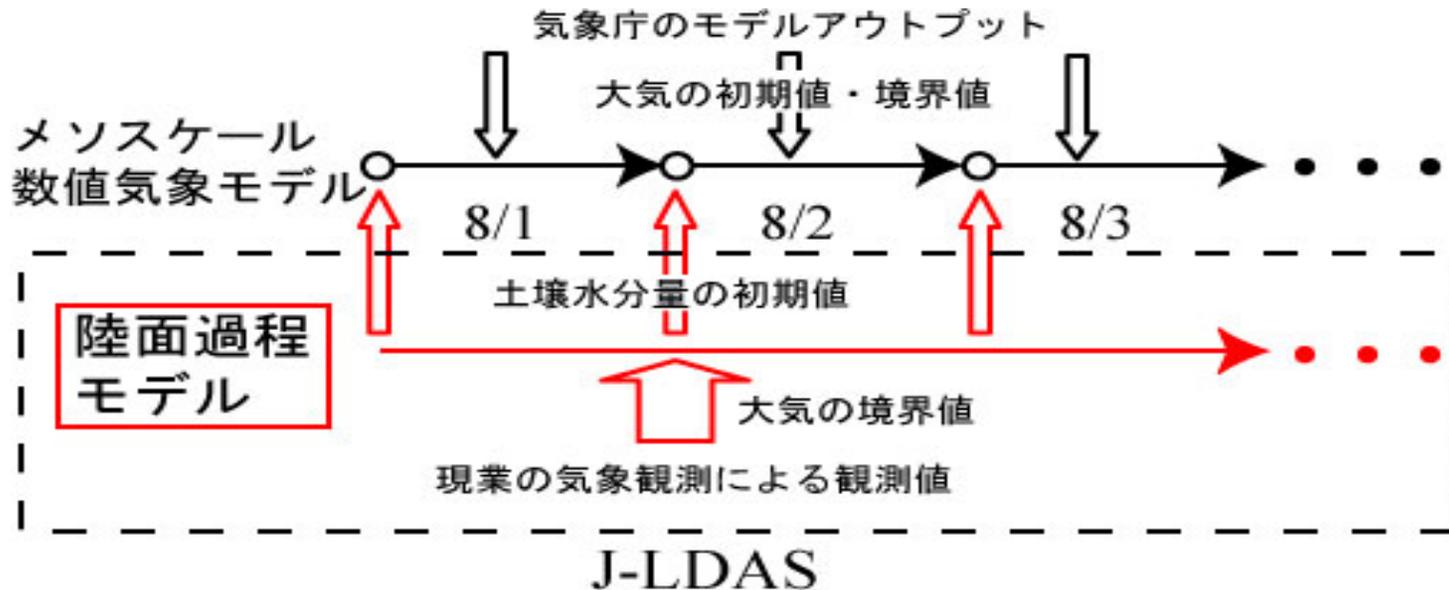


短期予報においてどのように
土壌水分量初期値を設定するか

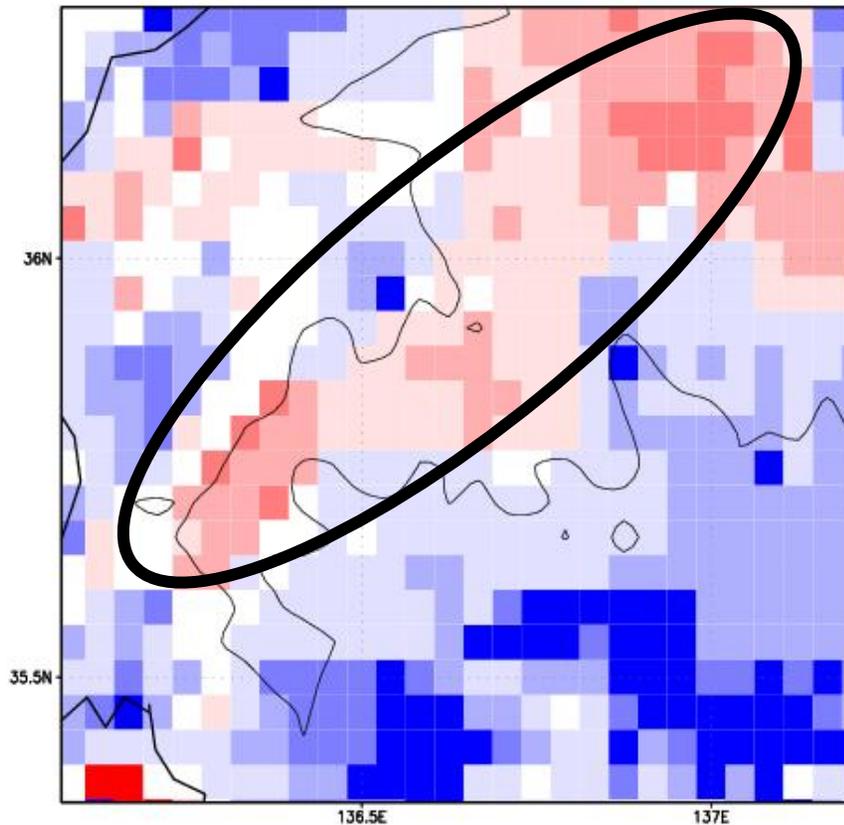
日本域陸面データ同化システム の構築と短期予報への適用

日本にはAMeDAS、降水レーダー等
密な気象観測データが存在

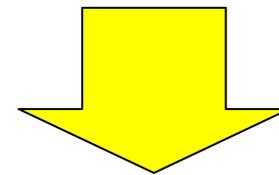
陸面過程モデルを用いた土壌水分量
推定システムを構築し、気象モデルへ適用



J-LDASで推定した2001/08/14/21JSTにおける 根層の土壌水分量(飽和度)



山岳域で乾燥している



熱的コントラスト

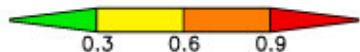
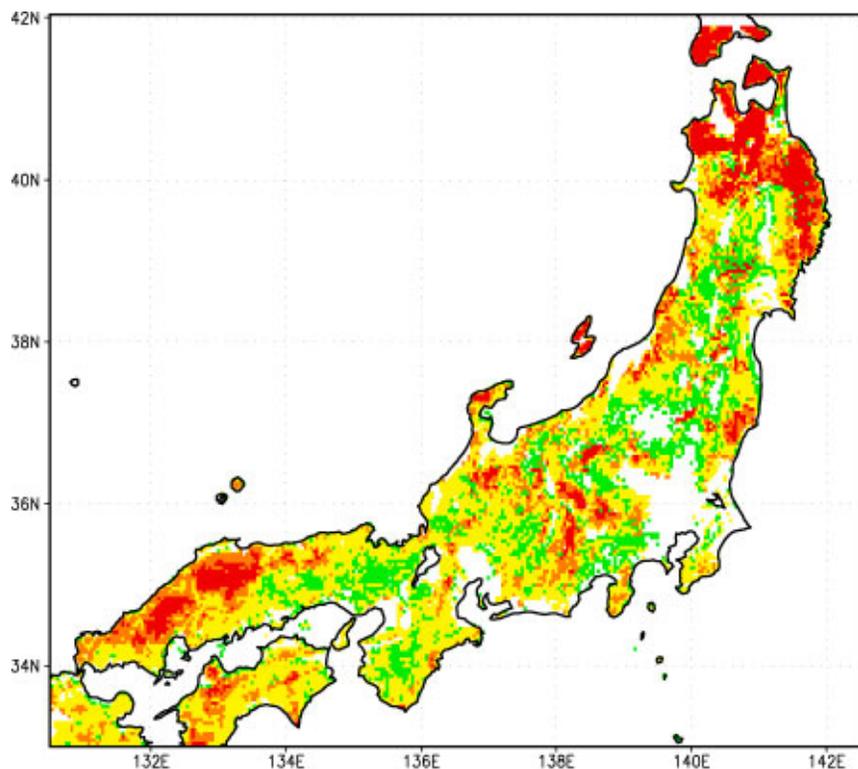
土壌水分が領域一様に分布している場合よりも山岳域の収束が強化されることが予想される

夏季の地表面熱収支特性の変動

日平均ボーエン比
最大値と最小値の差
夏季(2000年6月~8月)晴天日

多くのグリッドで0.3以上
変動の大きなグリッドでは
0.9以上変動する

熱収支特性が
同一土地利用,
季節内で十分
大きく変化する



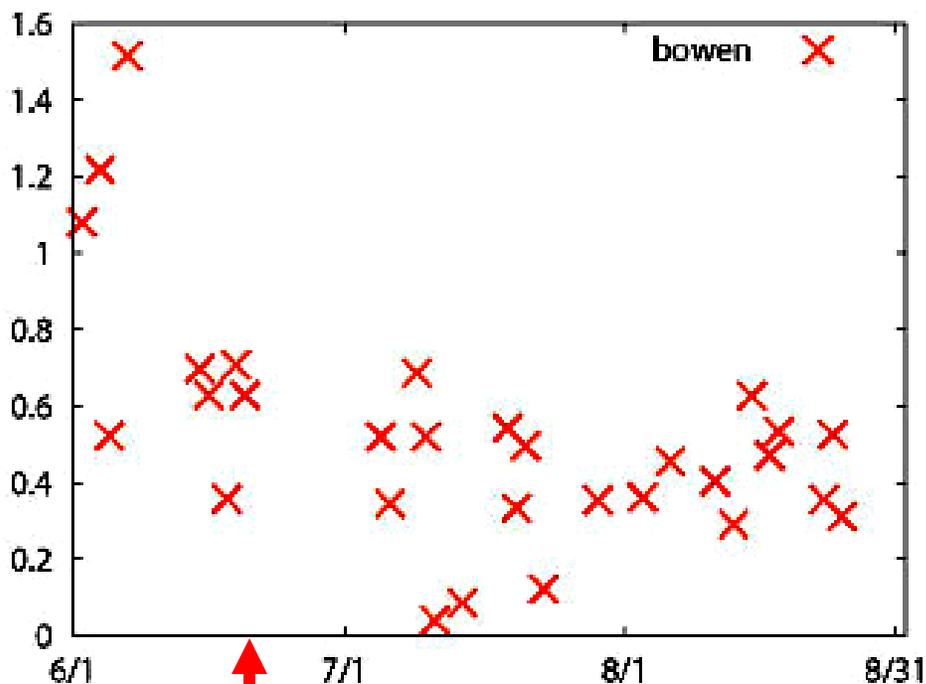
ボーエン比

$$\frac{H(\text{顕熱フラックス})}{\lambda E(\text{潜熱フラックス})}$$

地表面からの蒸発散と加熱の比

日平均ボーエン比

夏季(2000年6月~8月)晴天日

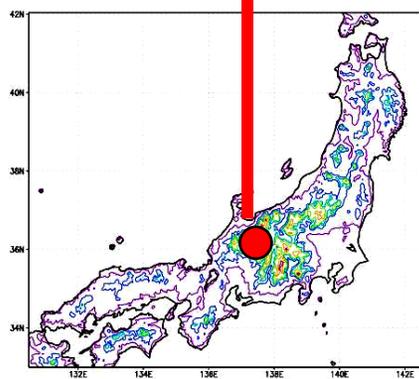


観測値においても
同様に季節内での
十分大きな熱収支
特性の変動が見られる

注意:ボーエン比の変動は土壌水分のみ
ならず植生の活性度にも依存している

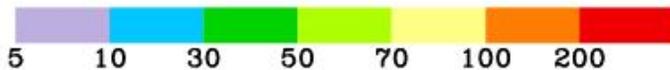
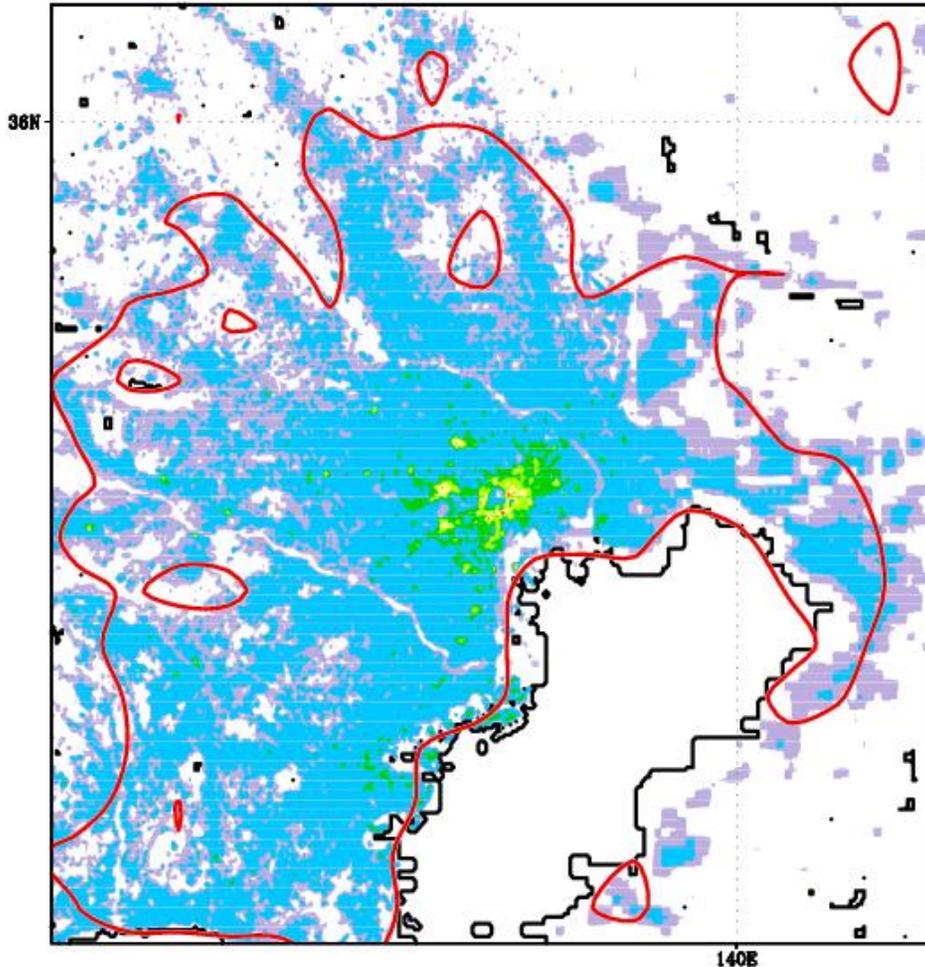
産業技術総合研究所
高山サイトの観測値

晴天日:下向き短波放射(日射量)
が 250W/m^2 以上とする



人工排熱分布(時刻別)

21 (JST), Artificial Heat Discharge (Wm^{-2})



月別、時刻別の人工排熱量
が既に推計されているので、
数値モデルにすぐに導入可能

最後に

- ☆ 地表面熱収支特性の違いにより、短時間降水予測の結果が変わる
- ☆ 都市や水田といった土地利用の違いだけでなく、
土壌水分の季節内変動程度の差でも、降水予測に影響を及ぼす
- ☆ 湿潤域においても地表面過程(特に加熱)は重要