

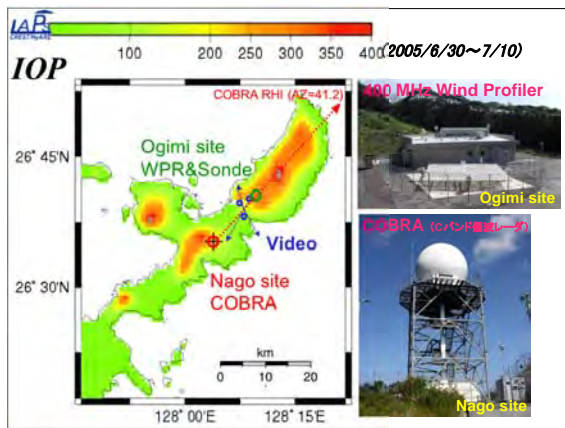
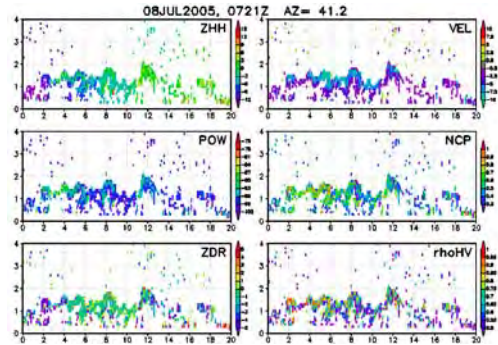
湿潤・乾燥大気境界層が降水システムに与える影響の解明と降水予測精度の向上  
Lower Atmosphere and Precipitation Study (LAPS)

中村健治  
名古屋大学 地球水循環研究センター

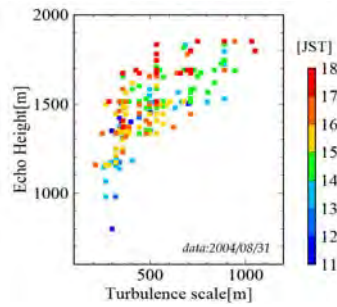
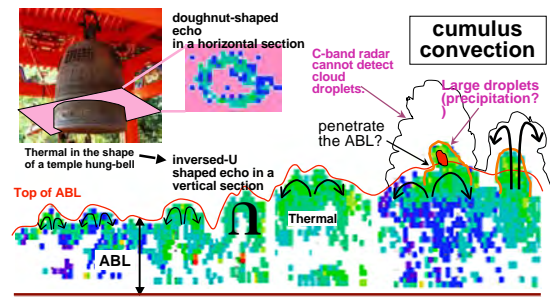
「水の循環系モデリングと利用システム」シンポジウム  
コクヨホール、平成18年10月31日



Small CAEs 0721Z, 08July05



Thermals and dome type echo



2004年8月31日のCOBRAによって観測されたCAE高度と乱渦の水平サイズ(乱流サイズ)との関係。色は観測された地方時。

Clouds by video camera



**大気境界層 (CBL: daytime ABL)**

> Land surface provide sensible heat flux (SHF) and latent heat flux (LHF) to atmospheric boundary layer (ABL).

**表面のエネルギー収支:**

$$R_n = H + IE + G + F$$

正味放射 顕熱フラックス (SHF) 潜熱フラックス (LHF) Ground heat flux Heat storage

> ABL in continental areas is marked by diurnal change caused by the surface forcings. After sunrise, convective boundary layer (CBL) develops.

Stull (1988)

昼間 日没 真夜中 日の出 昼間

Stevens et al. 2001 JAS, Simulations of trade wind cumuli under a strong inversion.

**湿潤・乾燥大気境界層が降水システムに与える影響の解明と降水予測精度の向上**

大気モデリングにおいて下部境界となる地表面の影響を適切に取り入れることが不可欠である。

下部境界層はその厚さ、安定状態、そして熱等の輸送は大きく変化する。この変化を地表面状態や大気の状態から決める必要がある。

中緯度湿潤期の大気境界層全層の観測は少ない。

海上(沖縄)、また平坦でかつ乾燥期、湿潤期のある中国わい河域で観測を行った。また観測結果の理解のためにシミュレーションを行った。

中国観測

沖縄観測

大気境界層の中上部を含む観測を沖縄では無人小型気象観測飛行機、中国ではウィンドプロファイラレーダを主力として行った。

中国では長期観測により、乾燥期、湿潤期、遷移期それぞれの大気境界層の構造とフラックスの実態が観測された。

麦畑 裸地 水田

水田では潜熱フラックスが熱輸送の主となっている。

観測結果をLES(Large Eddy Simulation)モデルにより再現し、乾燥期・湿潤期の陸面から大気への熱輸送の構造が大きく異なることが具体的に示された。

降水システムに与える大気境界層の影響は今後の課題である。観測結果は十分ではないが一部あり、モデルによる再現実験も始まっている。

20040531 13 Area Average Fluxes 中国乾燥期

20040622 13 Area Average Fluxes 中国湿潤期

観測をもとにモデル再現実験により明らかにされた地表面から大気への浮力フラックスの鉛直プロファイル (図はモデル結果)

顕熱フラックス 浮力フラックス 水蒸気フラックス

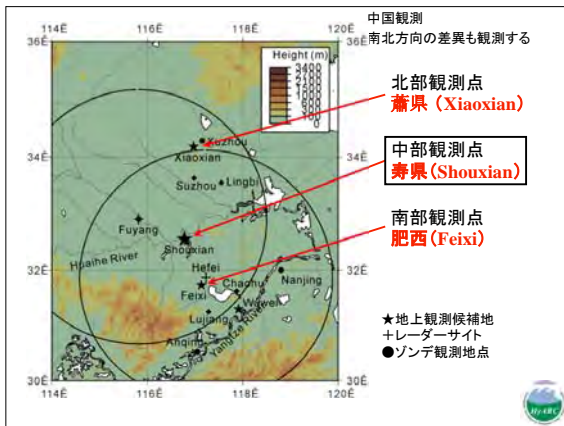
教科書的構造 顕熱フラックスが浮力フラックスの大部分を占める。

湿潤期また海上は水蒸気の浮力効果が大きい。

沖縄海上

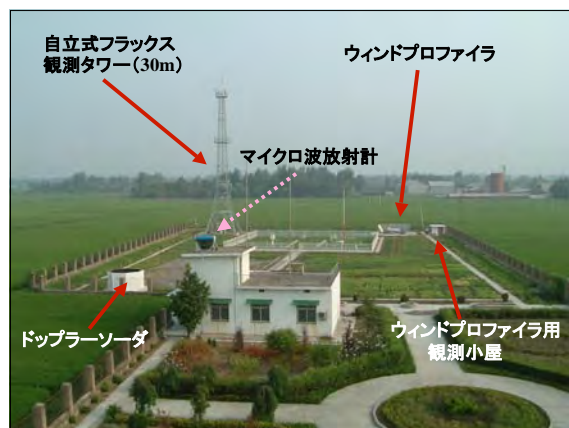
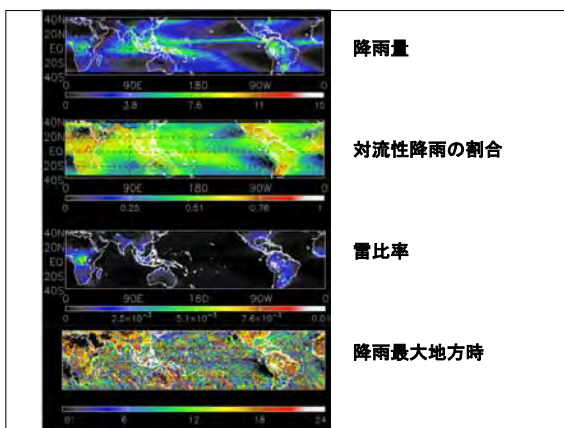
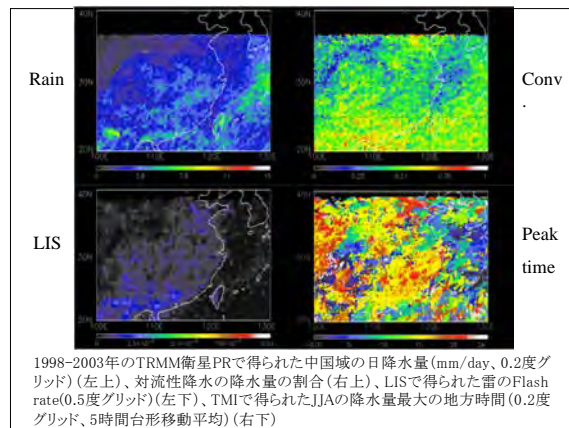
乾燥陸上では従来から言われているように顕熱により大気境界層が作られているが、湿潤陸上また海上では主に水蒸気の浮力効果によって大気境界層が作られていることが分かった。

観測サイトの位置(中国:北緯32.6度、東経116.8度)、宮古島、沖縄本島



**中国淮河流域**

▶ 湿潤な陸域における観測はほとんど行われていない。今回、観測が行われた中国淮河流域は、初夏に乾燥期から湿潤期へ移り変わる。





### 大気境界層観測機器

ターゲット

3次元風速：100～4,000m (ウインドフロファイラレーダ)

3次元風速：20～420m (ドップラーソナー)

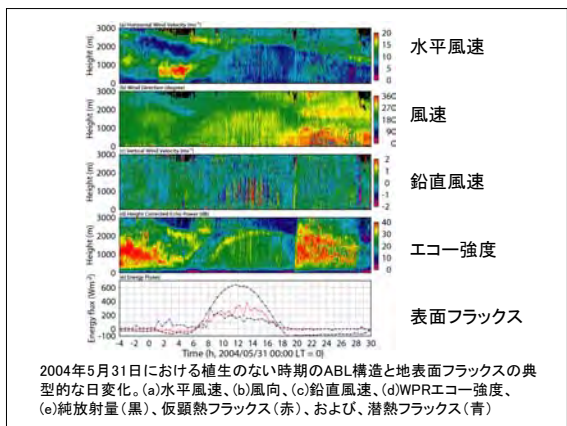
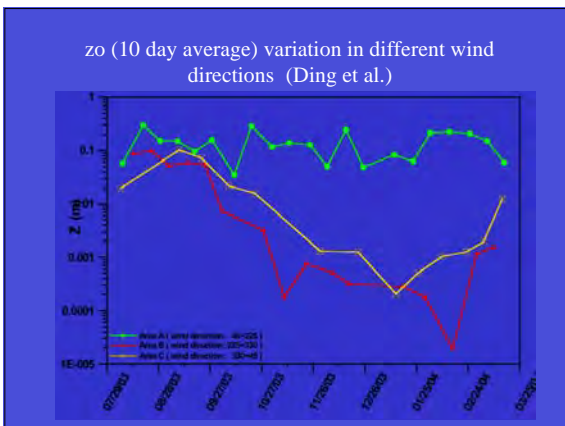
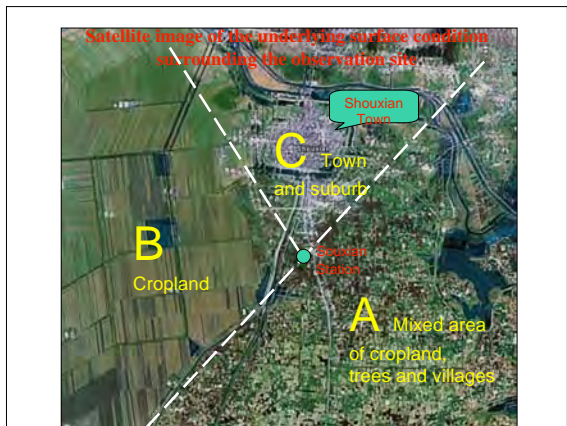
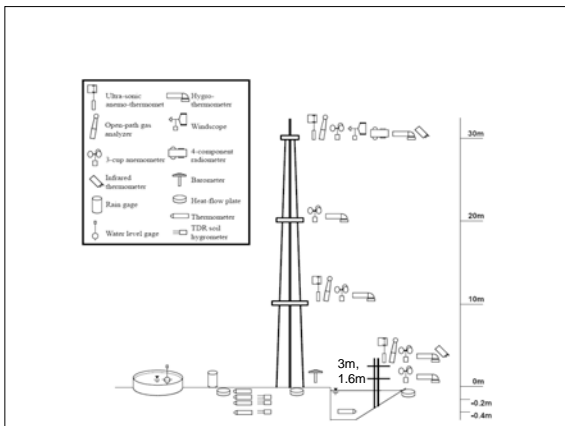
気温・湿度：0～10,000m (マイクロ波放射計)



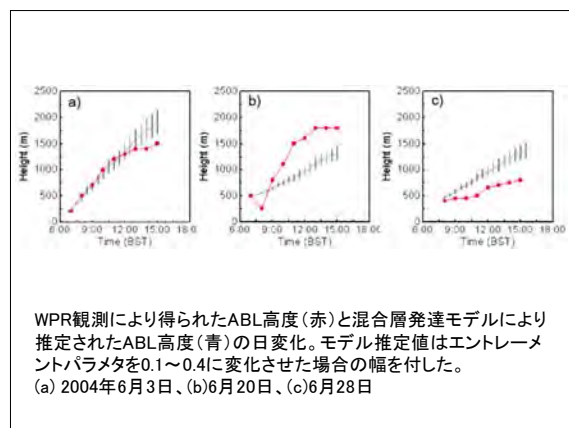
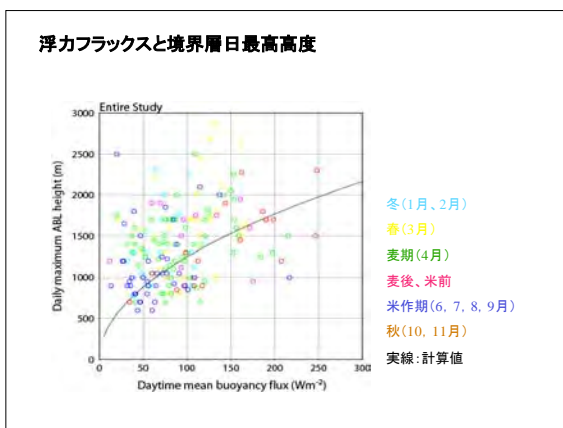
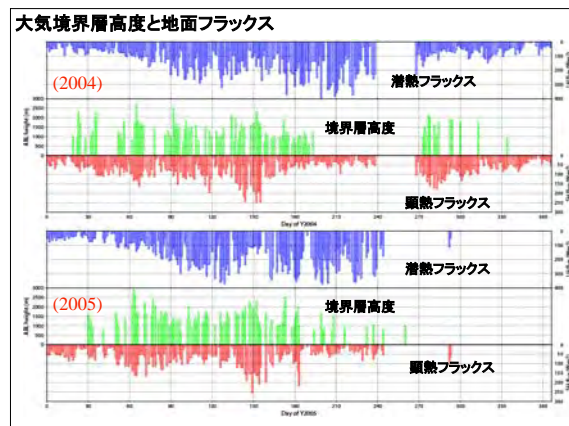
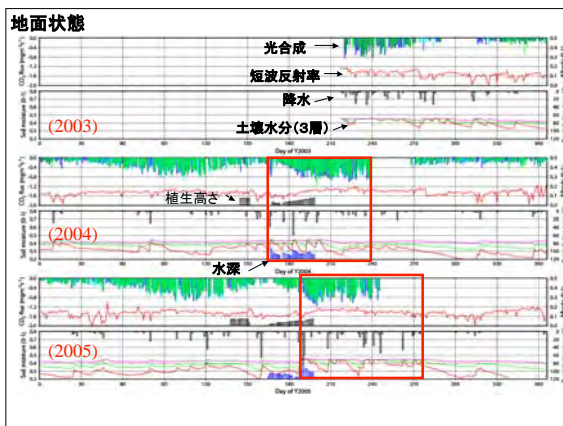
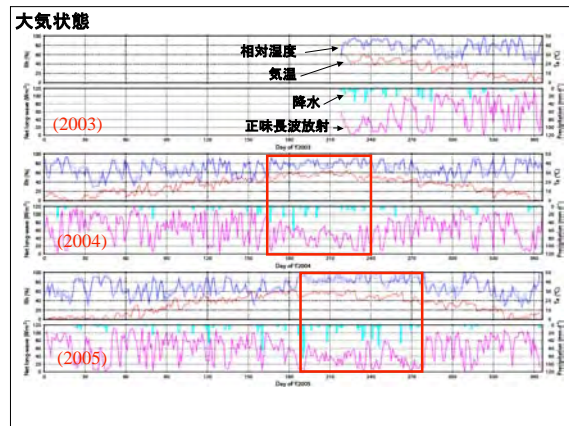
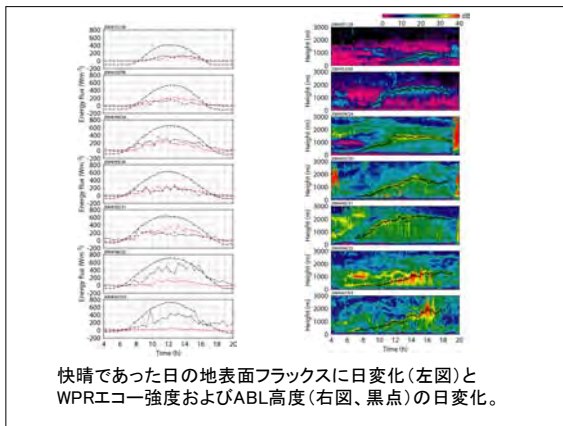
ウインドフロファイラレーダ

風速鉛直分布測定装置 (ソナー)

マイクロ波放射計



2004年5月31日における植生のない時期のABL構造と地表面フラックスの典型的な日変化。(a)水平風速、(b)風向、(c)鉛直風速、(d)WPRエコー強度、(e)純放射量(黒)、仮顕熱フラックス(赤)、および、潜熱フラックス(青)



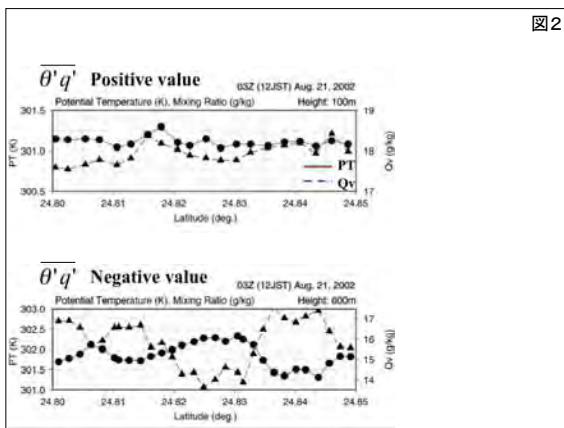
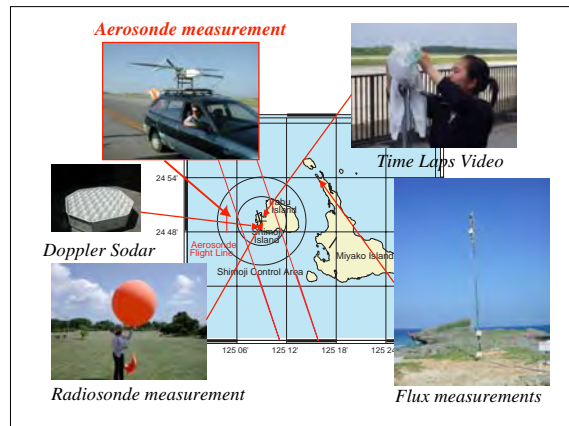
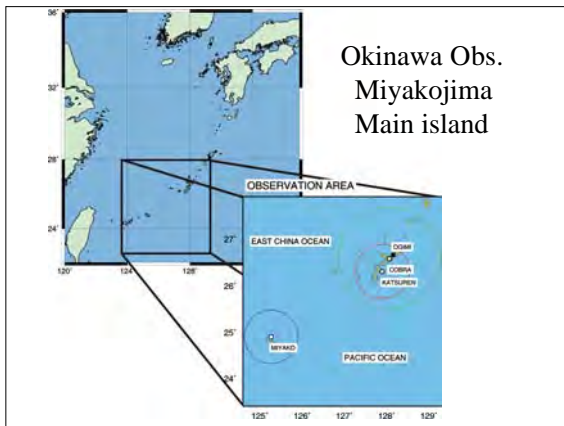


図2

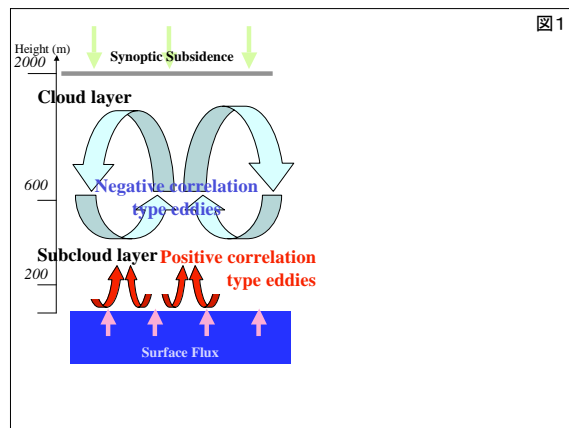
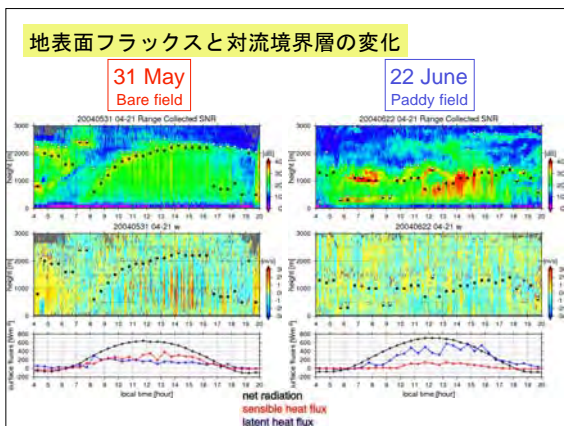


図1



LESモデルのパラメータ

Model	CReSS 2.1
Turbulence	1.5-order TKE
Cloud	Warm rain
Surface	Bulk method (Louis et al., 1981) Calculation of soil temperature : 0.1 m x 30
Radiation	Only surface energy balance
Num of grid point (Domain)	Horizontal : 200 x 200 (20 km x 20 km) Vertical : 120 (5888 m)
Grid size	Horizontal : 100 m Vertical : 30 m below 3000m
Time step	Non-acoustic wave : 1 s Acoustic wave : 0.1 s
Lateral boundary	Periodic boundary condition
Top boundary	Rigid boundary condition
Bottom boundary	Configured as the land surface
Forcings	Diurnal change of shortwave radiation
Initial conditions	Sounding at 00 UTC (08 LST) at Fuyang
Integrated time	10 h

**シミュレーション準備**

➢ To simulate the CBL over the Huaihe River Basin where is nearly flat and uniform,

➔ **水平一様を仮定**

- ・周期境界条件
- ・一様平地
- ・Fuyang 08 LST のゾンデデータを初期値

➢ To reproduce the surface flux from bare and paddy fields,

➔ **地表面のパラメータは実観測値から**

- ・Roughness length
- ・Albedo
- ・Moisture availability
- ・The deepest soil temperature
- ・Heat capacity of soil

**数値実験の設定**

31 May  
Bare field

初期値に用いた阜陽の00UTC(08LST)のゾンデ

20040531 00Z fuyang

温度  
相当温度  
飽和相当温度

混合比  
相対湿度

u; 東西成分  
v; 南北成分

**領域の中心点における時間高度断面**

31 May  
Bare field  
乾燥ケース

モデル

観測

Shouxian\_2004053100Z 08-18 PT

20040531 07-18 Range Collected SNR

Shouxian\_2004053100Z 08-18 w

20040531 07-18 w

Fluxes (W m<sup>-2</sup>)

**温度、鉛直流、水蒸気混合比の水平分布**

乾燥ケース  
Bare field

Shouxian 20040531

Vertical Cross Section 1300LST

u: v on 885 m 1300LST

鉛直流

混合比

**温度、鉛直流、水蒸気混合比の水平分布**

乾燥ケース  
Bare field

w: v on 885 m 1300LST

w: v on 885 m 1300LST

w: v on 885 m 1300LST

u: v on 885 m 1300LST

u: v on 885 m 1300LST

u: v on 885 m 1300LST

温度

鉛直流

混合比

**領域の中心点における時間高度断面**

22 June  
Paddy field  
海湿ケース

モデル

観測

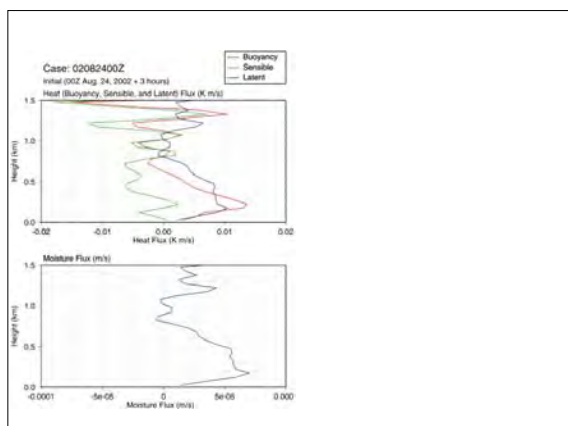
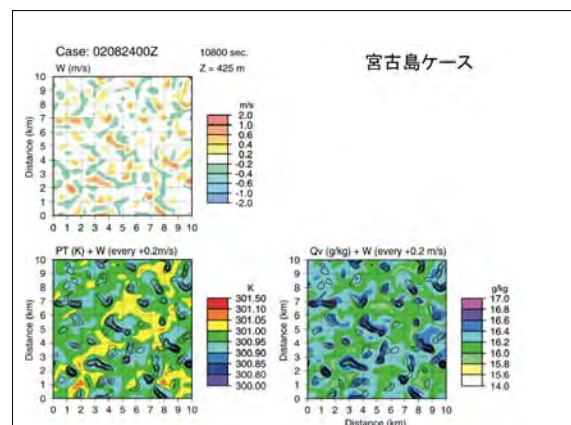
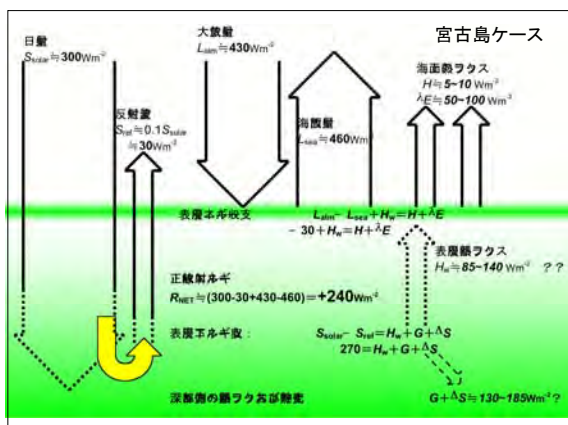
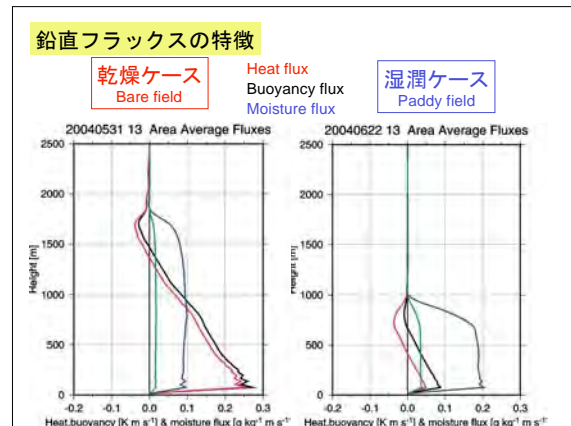
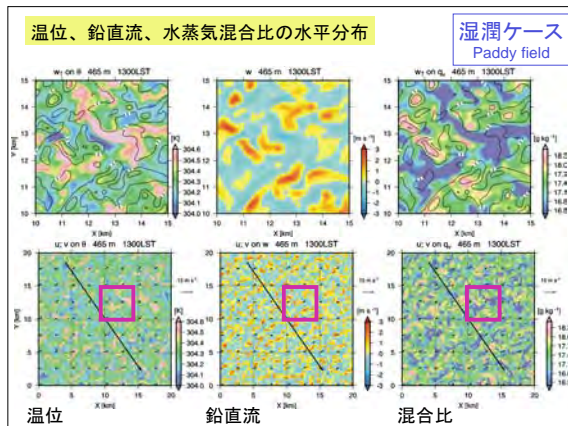
Shouxian\_2004062200Z 08-18 PT

20040622 07-18 Range Collected SNR

Shouxian\_2004062200Z 08-18 w

20040622 07-18 w

Fluxes (W m<sup>-2</sup>)



**研究初期の重要な「作業仮説」との対応**

- (1) 大気境界層は降水システムの開始に大きな役割を果たす。
- (2) 降水システムは大気境界層内に「根」を持つ。
- (3) 大気境界層の構造は降水システムのコントロールを通じて湿潤域の拡大に大きな影響を及ぼす。

大気境界層全層の長期観測により事例を多く積み上げることにより、自ずと明らかになることを期待した。

結果はどうであろうか。

一言でいうと上の3つの作業仮説はどれも実態に即していなかった。



(1)大気境界層は降水システムの開始に大きな役割を果たす。

降水システムの事例は数は少ないものの存在したが、その前後での大気境界層の大きな変化は特に見られない。降水時は大気境界層はつぶれるが降水後は回復する。境界層内の大きな渦は弱い対流雲を作ることは確認されたが、それが強い降水をもたらすことはなかった。

(2)降水システムは大気境界層内に「根」を持つ。

ウインドプロファイラによる観測結果、またそれを元にしたLESモデル結果を見ても、境界層内の大きな渦が境界層の上に雲を作り出していることは確認できたが、雲形成による凝結熱の放出から強い上昇流が作られ、それが大気境界層内の水蒸気を吸い上げる、という構造、言い換えれば大気境界層内の大きな渦がCINの「ふた」を突破して強い積雲対流を作り出す、という形は特には得られていない。

(3)大気境界層の構造は降水システムのコントロールを通じて湿潤域の拡大に大きな影響を及ぼす。

これはより複雑である。湿潤域の拡大は広域スケールの循環場(風系)の変化とそれによる水蒸気の移流そして総観規模の擾乱の襲来により起こっていることが広域解析から分った。それでは大気境界層は何もしないかというそうではない。大気境界層は大気を湿潤化する上で重要な役割を持つ。日射による混合層の形成は地表面から補給された水蒸気を大気境界層内に蓄え、さらに浅いながらも雲形成(cloud capped boundary layerの形成)を通じて大気境界層の上に水蒸気を運んでいる。大きなスケールの擾乱はそのように水蒸気を蓄えた大気境界層を簡単に壊し、「せっかく」集めた水蒸気を持ち去って他の適当な場所ですべて降水として地面に落とす。

(3)大気境界層の構造は降水システムのコントロールを通じて湿潤域の拡大に大きな影響を及ぼす。(続き)

陸上乾燥期、陸上湿潤期、そして海上の境界層の機能について一つの見方を与える。陸上乾燥期の大気境界層は地面からの強い顕熱フラックスにより高くまで発達し、水蒸気を高くまで運ぶ。陸上湿潤期の大気境界層は顕熱フラックスは弱いため発達は余り良くないが日周変化を通じて水蒸気を上部へ運ぶ。海上では日周変化はほとんどなくまた水蒸気フラックスによる浮力フラックスにより日数をかけて徐々に大気を湿らせている。また弱い湿潤対流や弱い降水システムも自由大気を湿らす上で重要であることが広域解析から明らかとなっている。我々のLESの計算は大気混合層に注目しているため今のところ半日程度しか走らせておらず、日数をかけて徐々に大気を湿らすことは示されていない。これは今後の一つの重要な目標と考えている。

チーム班(個々の結果はポスターをご覧ください)

境界層観測班

中国観測、宮古島観測

降水観測班

沖縄域の降水活動

広域解析班

Meiyu前線への水蒸気供給

モンスーン循環と湿潤域の拡大

衛星データによる湿潤域の特徴

モデル班

プロジェクト後半から活動

チーム

名古屋大学地球水循環研究センター

岡山大学教育学部、岐阜大学流域圏科学研究センター

千葉大学環境リモートセンシングセンター

情報通信研究機構沖縄亜熱帯計測技術センター

中国国家気象局国家気候センター、中国安徽省気象局

謝辞

チームメンバー

水事務所、JST本部

学生諸君