

湿潤・乾燥大気境界層の降水システムに 与える影響の解明と降水予測精度の向上

研究代表者
中村 健治

湿潤・乾燥大気境界層の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

名古屋大学地球水循環研究センター 中村健治

1. はじめに

本研究は「湿潤・乾燥大気境界層の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」という題のもとで2001年11月から行った。大気境界層とは地上から1-2kmの高度まで広がる大気下層の部分であり、地表面の影響を強く受ける層のことである。大気境界層は海洋・陸面や乾燥域・湿潤域で異なり、さらに陸面でも地形、土壌水分また植生により変化している。本研究では、アジアの湿潤域と乾燥域の境となる領域において大気境界層が降水システムに与える影響とそれが中緯度アジアの水循環へ与える影響を研究する。さらに、この結果を踏まえ、降水予測精度の向上や人為的地表面改変が将来の降水分布・水資源に与える影響等の予測のための分析等を行うことを目的としている。本研究は名古屋大学地球水循環研究センター、そして岐阜大、岡山大、独立法人情報通信研究機構沖縄亜熱帯計測研究センターとの間で、境界層観測班、降水観測班、広域解析班、モデル班を作って進めた。

2. 研究方向

降水システムの研究の一つは、気象学の分野で総観規模擾乱と呼ばれる高気圧、低気圧に伴う大気変動など東西の長さ数千kmのスケールをもつ現象についてである。これについては天気予報の精度向上に見られるように既にかんがりのことが分かっていると見える。現在の降水システム研究は、より小さいスケールの現象に進んでいる。これはメソスケール降水現象といわれ、長さ数百km以下の現象である。集中豪雨などもこれに含まれる。これらは従来はモデルでも十分には表現することが困難であったが、計算機性能の向上と非静力学モデルの発達とともにかなり再現性が得られるようになってきた。高解像度のモデルとはいえ、含まれるすべての現象を表現することは不可能で、それぞれの現象の総体としての効果を取り入れることがなされる。これはパラメタリゼーションと呼ばれており、メソスケールの降水モデルでは大気境界層の効果、放射の効果、また雲降水粒子の形成などがパラメタリゼーションの対象となっている。放射と雲降水粒子の形成の効果（微物理過程と呼ばれる）ももちろん重要であるが、当センターの陣容を考えた時、大気境界層における過程の研究に焦点を絞ることとした。降水システムのもと水蒸気であり、水蒸気は、飽和水蒸気圧が気温の低下とともに急激に小さくなるため下層大気に多く含まれる。下層大気が降水システムの水蒸気源であるが、そこには大気境界層が広がっており、地面・海面と自由大気との間の熱、運動量、水蒸気の交換に関わっている。

大気境界層はだいたいが乱流であり、モデルでは大気下層の風速、大気安定度、また地面の起伏、植生などから熱、運動量、水蒸気などの交換係数を決める乱流パラメタリゼーションがなされるが、これは大気境界層の乱流を「個性の無い」乱流とみているとも言える。実際の大気境界層の構造は複雑であり、簡単に総体としてみることでできるものではない。これは例えば、従来の大気境界層の観測はややこしい起伏などの無い広い平坦で行われてきたが、最近では起伏のあるところでの観測も行われるようになってきたことにも現われている。実際、起伏のあるところでの大気境界層は大気境界層全層にまたがるような大きなスケールの乱れがあり、しかもそれが構造を持っていることが確かめられつつある。しかし、大気境界層の観測は、地面付近は観測タワーなどによる直接測定からなされるが、地上高度数十m以上では観測方法に限られるため観測数は激減する。また観測も、かなり降水を伴わない過程の研究にとどまっている。海上では、特に熱帯海上では、trade wind inversion と呼ばれる貿易風帯に形成される気温逆転層の押さえられた浅い雲が広がっており、放射過程に大きな影響を与える。このため、この浅い雲についてはいろいろの研究がなされてきている。しかし、陸上ではまだ観測も少ない。

世界的には大気境界層の研究のもう一つの方向として安定大気境界層がある。これは夜間など地面が冷

えると大気境界層は安定化し対流が抑えられるがそれでもシアによる乱流などが存在しそれによる熱や運動量輸送があり、その実態解明と定量化が求められている。しかし、降水システムの開始（オンセット）との関係でいえば地面から熱で暖められることによる乱流の寄与が重要と考えられるので、我々は熱的な対流大気境界層を目標とした。

大気境界層は大気側からは大気下層の風、大気安定度などで、地表からは熱放射、蒸発散、地面起伏、植生、土壌水分量などによりコントロールされる。地面付近はかなりの観測があるが、これらの境界層中上層を抜け自由大気への輸送の実態は観測例が少ない。

そこでターゲットを大気境界層全層の観測による熱や水蒸気の輸送の実態解明においた。特に降水システムのトリガーとなる熱と水蒸気の鉛直輸送に焦点を絞った。

3. 研究方法

目標が定まったところで、次にそのやり方が問題となる。というよりも実際は、現時点の測器を考えた時に可能な観測方法と目標との兼合いで、詳細な目標と測器、研究方法が決まる。

3.1 観測

まずは自然の実態を捉えることが第一である。大気境界層全層の観測にはリモートセンシング手法を用いざるを得ず、その第1の武器としてウィンドプロファイラを設定した。ウィンドプロファイラは高感度ドップラレーダの一種であり、1辺100mに近い大型のものから数mの小型可搬のものまであり、また我が国でも気象庁が数年前から現業で使用を開始している。我々の目標は大気境界層であり、またあまりに高額な測器は購入困難であるので、周波数1.3GHzの低層ウィンドプロファイラと呼ばれる種類のものを選んだ。ウィンドプロファイラはレーダに距離的に近い境界層下層の観測は困難であるので、ドップラソナーも合わせた。さらに地表からの熱、運動量、水蒸気などのフラックス測定のため観測タワーや水蒸気ラジオメータも

設定した。観測場所が大きな問題であったが、大気境界層全層の観測を主体としており、未知な部分が多いことから地表はなるべく単純な場所を選ぶこととした。これは起伏等で地表面の変化しているところの境界層の研究を進めるた

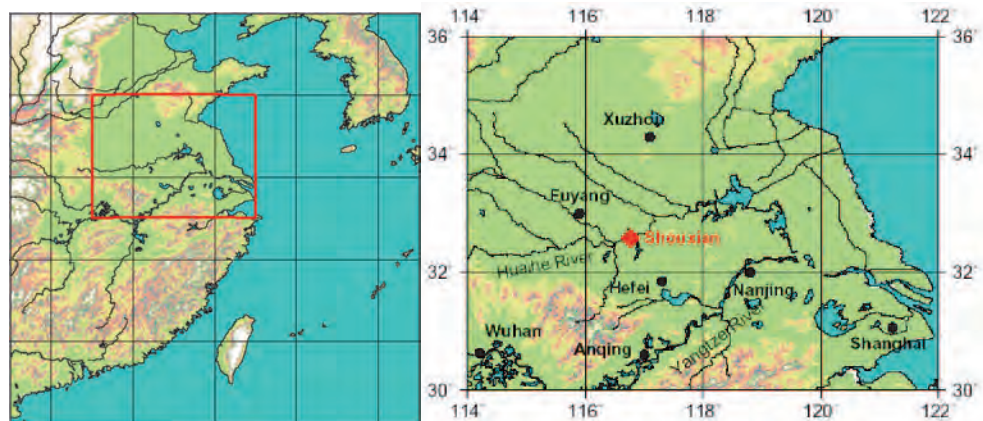


図1 中国淮河の観測地点（Shouxian）とその周辺

めには不適當であるが、非一様な場での境界層の研究は次の課題とした。平坦な地表でかつ季節変化の大きな場所として中国淮河流域を選んだ（図1）。ここには寿県（Shouxian）という市があり、そこには中国国家気象局安徽省気象局寿県気象台がある。また過去にアジアモンスーン水エネルギー循環観測研究計画（GEWEX Asian Monsoon Experiment : GAME）の地域観測研究として我が国からレーダが持ち込まれて降水システムの観測がなされたところでもある。なおこの観測は名古屋大学の故武田喬男教授がリードされ、名古屋大学と中国国家気象局国家気候センターとの間の共同研究に実績があった。寿県は、冬は寒く乾燥し、日本の梅雨にあたる5、6月のメイユの雨期を越えて湿潤となる。またこれに対応して作物も変化する（図2）。



図2 中国観測点における地面状態の季節変化（小麦畑～裸地～水田）と観測施設。
30m フラックス観測タワー、ウィンドプロファイラ等を設置した。

このために乾燥期、湿潤期、そして移行期の観測ができる。寿島の南北にもそれぞれ観測点（气象台）を選び、ドップラソダを置くこととした。南北としたのは、メイユ前線の乾燥側と湿潤側を観測することを目的とした

ためである。大気境界層を含めた前線の断面構造を観測するという案もあったが、これは不可能であった。中国の観測は中国国家気象局国家気候センターとの協力により実行することとし、基本的に通年観測を、そしてメイユ期に集中観測を行うこととした。

観測目標は、大気境界層全層の実態観測と降

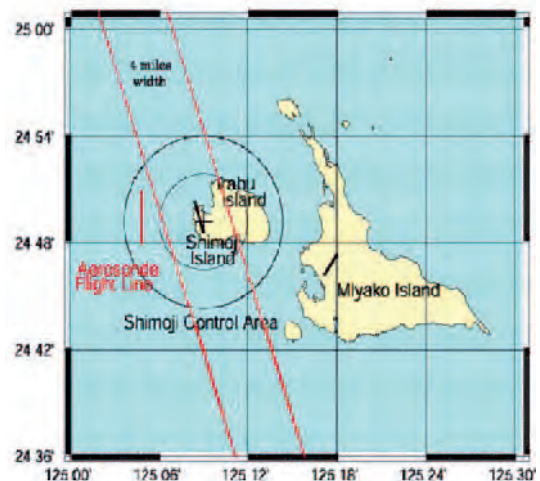


図3 南西諸島における大気境界層観測。Aerosonde、ドップラソダ、ゾンデ飛揚、マストによるフラックス観測、雲のビデオ撮影、等を行った。

水システムとの関係、特にそのオンセットとの関係である。イベント的観測では当たりはずれがあろうが、長期観測を行えば良いデータセットが得られることを期待した。

寿県以外の観測としては、南西諸島における観測を設定した。夏の南西諸島は大気擾乱が少なくかつ海上は表面状態がほぼ一様であるので、ここでの境界層観測は中国での観測に対する良いリファレンスとなることを期待した。後に述べるが実際に良い対照データが得られた。海上での大気境界層観測は困難であるが、オーストラリアのグループが開発した気象測器を積んだ Aerosonde と呼ばれる無人小型飛行機が利用可能であったためこれを利用することとした。また陸では海岸でフラックス観測を行うこととした(図3)。

その他の観測としては、南西諸島における降水システム本体の観測も組み入れた。降水システム本体の観測は当センターにおいて大きな実績を積んでおり、観測そのものには特に支障はない。それよりも大気境界層との関係という新たな視点でデータを見ることを中心とした。さらに沖縄本島には(独)情報通信研究機構沖縄亜熱帯計測技術センターが高性能偏波ドップラ降雨レーダ、2機のウィンドプロファイラなど大気観測用電波センサを研究用に整備しており、この施設による観測も行うこととした。この施設は恒常的な施設であり、観測設定が容易であることは大きな利点であった。

3.2 解析とモデル

降水システムは外的状況に大きく左右される。そもそも大気が潜在的にせよ不安定でなければ降水システムは立ち上がらない。またそのためには十分な水蒸気補給が必要である。

湿潤対流は本質的に有限振幅現象である。この意味は、有る程度以上の強いトリガーがなければシステムは立ち上がらないということである。乾燥大気ならば気温の鉛直プロファイルが不安定となればすぐに対流が生じその不安定を解消する。その一方湿潤対流では、水蒸気の凝結が起こらなければ潜在不安定は顕在化しないため、山による強制上昇流や、大気境界層内部からの強い対流、より大きなスケールでは前線による上昇流などがなければ降水システムは立ち上がらない。逆にこのために、潜在的なエネルギーが蓄えられ、一旦それが開放されると強い対流を引き起こし、システムの頂上は場合に依っては高度約10kmの対流圏界面にまで届くようになる。このように降水システムはまずは大気安定度、大気の潜在安定度、また水蒸気輸送などに大きく左右される。中国においては降水システムは基本的には総観規模擾乱の影響下にある。

大気境界層も外的条件に大きく左右される。地面の影響を大きく受けるとはいえ、大気側の条件特に放射と風の影響を強く受ける。大気境界層と降水システムとの関係は総観規模擾乱など広域スケールのコントロールにあることを踏まえなければその実態には迫ることができない。このため広域の状況把握も研究として組み入れた。そのためのデータは現業気象官署が出している客観解析データセットと衛星データセット、それに中国の雨量計データなどとした。作業は基本的にはデスクワークである。

モデル研究はもう一つの柱ではあったが当初は必ずしも大きな期待はかけていなかった。この理由として、観測遂行に努力を注いでいたことと、論文調査は当然行っていたが、我々の境界層の3次元モデルの性能が確認されていなかったことがある。本研究の目的のために、モデルは境界層の内部構造を表現するモデルとし、いわゆる Large Eddy Simulation (LES) を目指した。LESは大気境界層内の熱や水蒸気輸送の大部分を担うとされる大きな渦は顕わに表現するが、ある程度以下の小さい渦は通常の乱流パラメタリゼーションに組み込むやり方である。実際の乱流は大きな渦から小さい渦へエネルギーが移り(カスケード)最後は、分子粘性の効くスケールで消散する。しかし大気境界層スケールから分子粘性の効く渦までを表現することは現時点では不可能である。本プロジェクトでは観測データが一応出揃った後で、モデル研究に力を注いだが、これは観測結果を解釈する上で非常に良い結果となった。観測ではすべてのことを知ることはできず、どうしても推測の部分があるが、モデルにより観測結果を再現できると、モデル内部の構造も実際の構造であろうと考えることができる。これにより本研究では観測とモデルとの良い相補性が実現された。

4. 結果

4.1 大気境界層の変動

中国観測は長期観測により大気境界層の季節変化の実態をみることも大きな目標であった。また大気境界層は大きな日周変化を示すため、その日周変化の季節変化も目標であった。乾燥期、湿潤期の事例もこの長期観測の中の典型例である。

まずどのような観測データが得られているのか示そう。図4は観測の主力機器であるウィンドプロファイラ（WPR）による水平風速、風向、鉛直流、エコー強度、そして観測タワーで測定された純放射量、（仮）

顕熱、潜熱フラックスのある一日（2004年5月31日）の変化である。この時は未だ田植えの前であり、地面には植生は無かった。純放射量は日の出とともに増加し、日没で負（地面から大気への放射）となっている。顕熱フラックスと潜熱フラックスは同程度の大きさとなっている。WPRについては特にエコーについてみてみよう。

日の出とともに上昇し、2 km を越える高度に達するエコーがある。これは下から暖められた空気が次々に上昇しかき混ぜられた層（大気混合層と呼ばれる）が作られその厚さが増していることを示している。実際、図では明瞭ではないが鉛直流には上昇流と下降流が30-60分程度の周期で交互に現われており大きな渦（thermal）の存在していることが分る。このようなエコーは乾燥期の晴天日には良く見られる。日没とともに強いエコーが急に現われるがこの原因は不明である。ウィンドプロファイラでは小さい虫がエコーとして現われることは良く知られており、このエコーもその可能性はあるが同定されていない。

図4のようなデータが毎日得られる。これから大気境界層（今の場合は大気混合層）の季節変化が得られる。大気境界層の発達

の指標として大気混合層の最大高度をとることとする。図5は日最高大気境界層高度、日中平均の顕熱、潜熱フラックスを2年間にわたり示している。横軸は正月からの通算日である。顕熱フラックスの大きい時つまり地面からの熱の供給が大きい時に大気境界層が良く発達していることが分る。冬季はこの顕熱フラックスが小さいため大気混合層の発達が弱い。また6月になると田に水が入り潜熱フラックス（水蒸気フラックスに比例する）が増加し、顕熱フラックスは減少している。それにつれて大気境界層もまたあまり発達しなくなっている。潜熱フラックスの変化は地面状態に直結している。本観測地周辺は農業地であり、1月下旬～5月下旬の小麦畑、6月中旬～9月下旬の水田の2毛作が行われている。2004年には、高度30mの相対湿度を主な指標として同定された夏季湿潤期開始日と、灌漑による灌水および田植えの開始日が一致し（2004年6月14日）、下層大気における水蒸気の供給源として、総観規模の水蒸気輸送と地表面からの水蒸気供給（蒸発散）の2つが考えられた。一方、2005年には、湿潤期開始日（2005年7月5日）が稲作開始日（2005年6月14日）よりも20日程度遅れた。大気もこの頃に湿潤となっているが、灌水したために湿潤となったのか、大気が湿潤となったので灌水したのかは分からない。

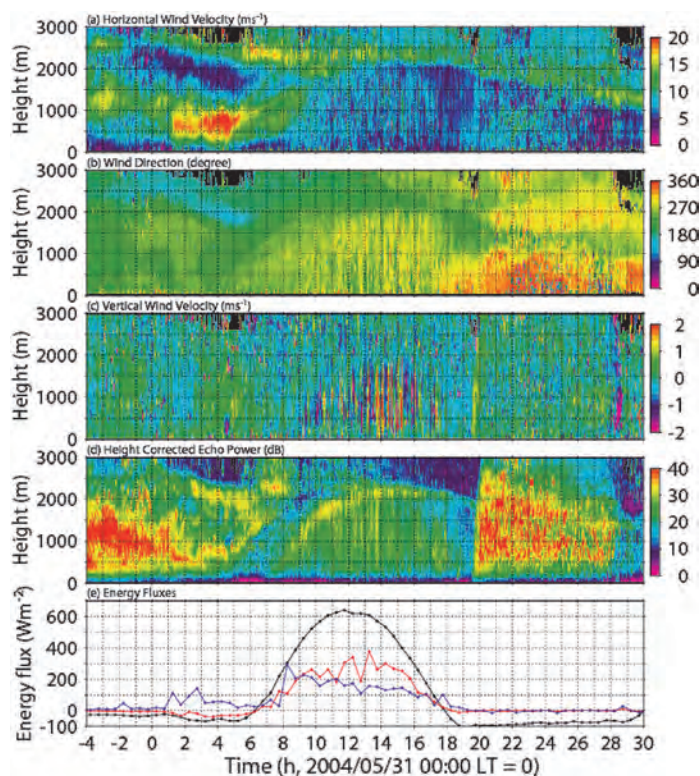


図4 2004年5月31日における植生のない時期のABL構造と地表面フラックスの典型的な日変化。(a)水平風速、(b)風向、(c)直風速、(d)WPRエコー強度、(e)純放射量（黒）、仮顕熱フラックス（赤）、および、潜熱フラックス（青）

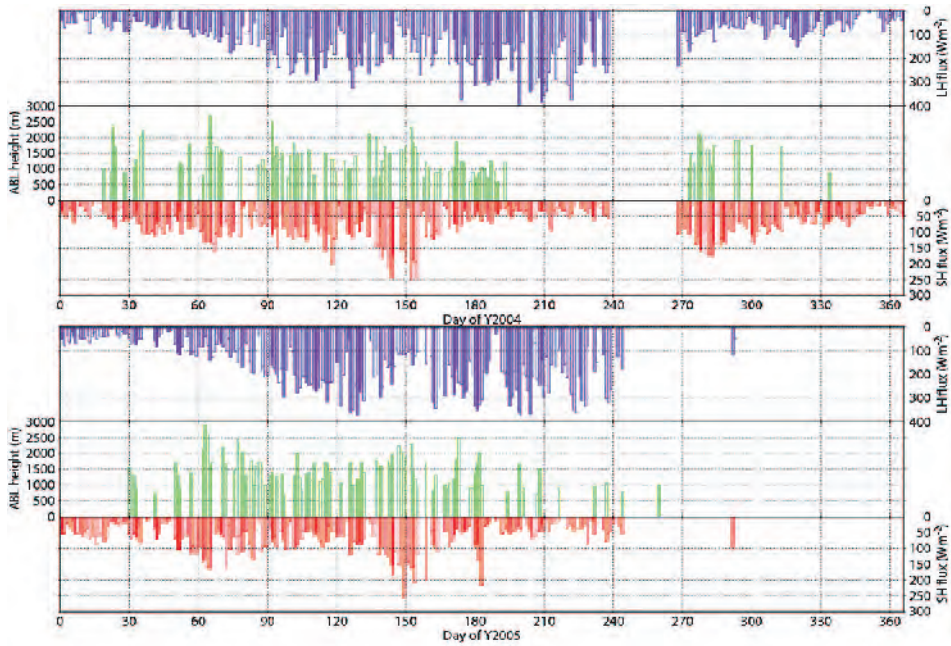


図5 日最高境界層高度(緑)、日中平均顕熱フラックス(赤)、日中平均潜熱フラックス(青)の季節変化

乾燥期と湿潤期の顕熱フラックスと大気混合層の最大高度との散布図を図6に示す。冬季は顕熱フラックスが小さく、境界層高度は低かった。地表が小麦畑あるいは裸地の場合には、顕熱フラックスが大きく、境界層高度は午前早い時間から上昇する。一方、水田時には、境界層の発達速度はやや遅れるものの、顕熱フラックスが非常に小さくなるにもかかわらず、小麦畑時と同様の高さにまで発達する場合が見られた。このような発達は地表面の熱フラックスのみでは説明されなかった。

日中の対流境界層の発達の主要な要因は地表面の熱フラックスであるが、上に示したように必ずしも顕熱フラックスのみが決定しているわけではない。他の要因としては大気安定度や広域場の上昇下降流がある。ここでは広域の上昇下降流の影響をしてみる。上昇流があれば弱い顕熱フラックスでも高くまで混合層は発達し下降流があれば逆になろうと予想される。図では客観解析データから広域の上昇下降流を求め、それにより区分している。6月中旬以降の湿潤期を除くと、日最高境界層高度と日中平均の地表面熱フラックスには、正相関の傾向が見られた。一方、大気境界層直上の大気における鉛直移動の効果により、上昇流時にはより高高度にまで発達し、下降流時には低高度に抑えられる傾向が観察された。特に湿潤期(図6f)には、その傾向が顕著であった。

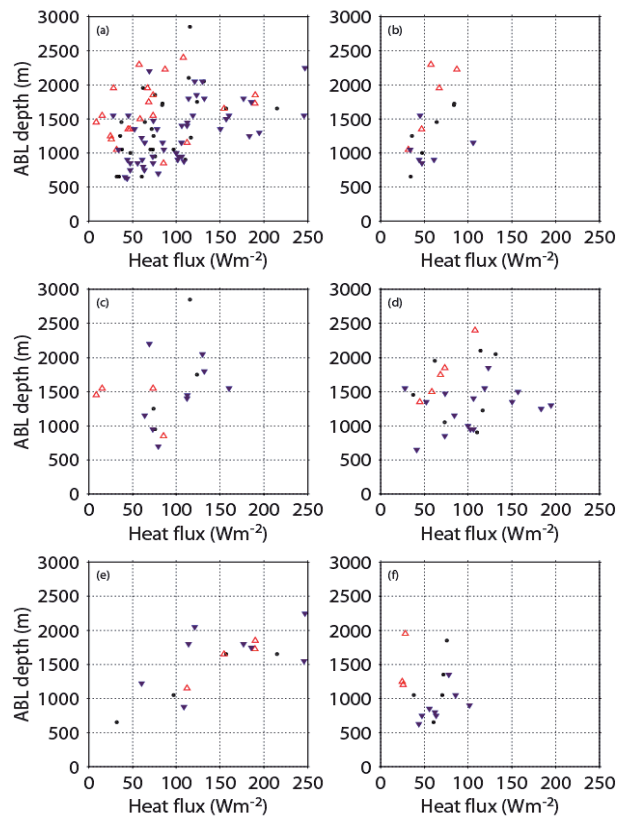


図6 日最大 ABL 高度と日中平均表面顕熱フラックスの関係。黒●は上空大気の鉛直移動が小さい場合 ($-0.02 < \omega < 0.02$)、赤△は上昇の場合 ($\omega < -0.02$)、青▼は下降の場合 ($\omega > 0.02$)。ただし、 ω は NCEP/NCAR 再解析による 32.5 N, 117.5 E の 00Z (08:00 LT) における 925hPa での鉛直気圧速度。

4.2 モデルの結果

モデルの結果は、一言でいうと、大気境界層を駆動する浮力フラックスの鉛直構造の季節変化が観測とLESモデルを併用することにより分ってきた、ということにある。これはいくつかの典型観測結果とそれを再現するLESモデルによっている。またそれらが特異ケースではないことは長期観測データから示唆される。図7は中国での乾燥期、湿潤期、また夏季南西諸島海上における大気境界層内の浮力フラックス等の鉛直分布である。なお、フラックスの鉛直分布自体は観測からは出すことができず、モデルによっている。それぞれ観測時の一般場を初期条件、境界条件として走らせたモデルによる結果である。乾燥期の大気境界層は教科書的な構造を示している。それに対して海上は熱フラックスが小さいが水蒸気フラックスが大きい。そして水蒸気は乾燥大気よりも軽いので水蒸気フラックスによる浮力フラックスが生じている。湿潤期の陸上は海上と乾燥期の陸上との中間の特性を示している。教科書的な構造は古くから言われている構造であるが、海上では水蒸気フラックスにより大気境界層が作られていることはこれまで僅かな観測例しかない。また湿潤期の陸上でのフラックスのプロファイル特性は認識されていない。今回これらが確認された。

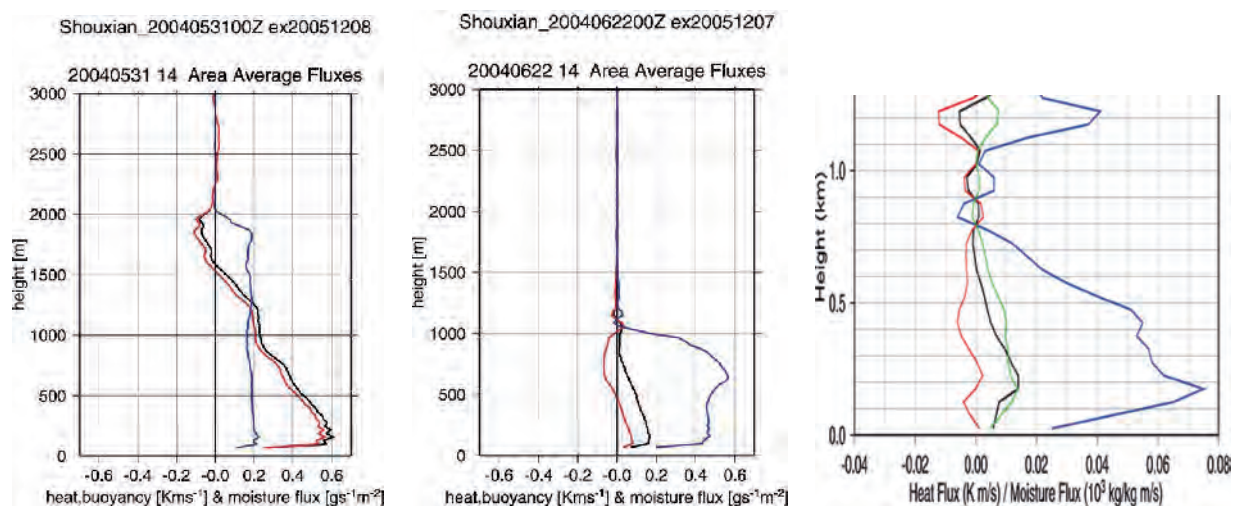


図7 LESモデルによる中国乾燥期（左）、湿潤期（中）、また沖縄海上での大気境界層のフラックスの鉛直構造（右）。顕熱フラックス（赤）、水蒸気の寄与を含めた浮力フラックス（黒）、そして水蒸気フラックス（青）を示す。

図は縦軸が高度、横軸はフラックスの強さを示している。高度は3 km までとってある。大気境界層の高度は通常2 km 以下なのでこれで十分である。フラックスは熱、水蒸気と総浮力のフラックスである。浮力のフラックスとは軽い大気の上昇量を示している。軽い大気は浮力で上昇するので、これは同時に浮力による運動エネルギーの生成量を示している。浮力の大きな部分は熱のフラックスに依っている。暖かい大気は軽いので浮力フラックスに寄与する。中国乾燥期では浮力フラックスと熱フラックスとがほとんど一致している。これは浮力フラックスのほとんどが熱フラックスに依っていることを示している。このフラックスは下層で大きく上層で小さく、ほとんど3角形の形をしている。これは大気境界層全層を一樣に軽くしている（暖めている）ことを示している。水蒸気フラックスは大気境界層内でほとんど一定である。これは大気境界層内では水蒸気量は変化せず、地面から与えられた水蒸気は大気境界層の上にある自由大気を大気境界層に取り込み湿らせながら大気境界層の厚さが増えていることを示している。フラックスのこのような形は比較的乾燥して大気境界層が下からの熱フラックスにより対流が生じる場合の典型例であり、教科書的なものである。湿潤期は飛ばして次に海上の図を見てみよう。これは海上の場合であるが、乾燥期と比較してまず、熱フラックス量が小さいことが分る（横軸のスケールが乾燥期とは異なっていることに注意）。また浮力フラックスが主に水蒸気フラックスによりまかなわれていることがわ

かる。このシミュレーションの事例は沖縄の海上の事例であり、海面温度が高く大気境界層下層の気温との差が小さかったため顕熱フラックスが小さかったためである。顕熱が小さいことは境界層内で乱流の駆動力が小さいことを意味するが、それでも太陽放射が水を蒸発させることにより浮力フラックスを生じ、これが弱いながらも大気境界層の乱流を維持していることになる。湿潤期は中国で田に水が入った後の事例である。ちょうど中間の形をしており地面状態の変化と良く対応している。またここでは示さないが、午後の途中までは顕熱フラックスにより境界層乱流が維持されているが夕方からは水蒸気の浮力フラックスにより維持されており、駆動源が変化することも示されている。

5. 考察

中国の長期観測からは大気境界層の厚さの季節変化の実態を地表面状態との関連のもとに示すことができた。これまで中緯度湿潤陸上での長期にわたる大気境界層の厚さの観測はほとんど無かった。またモデルによりそれぞれの季節における大気境界層の駆動源の差異、亜熱帯海洋上の大気境界層との差異が確認できたことは成果である。本稿では記していないが、沖縄本島の事例に関するモデル計算では、熱フラックスとともに地表の起伏（山）による強制上昇が重要であることも示されている。

広域モデルでは降水システムの開始が早すぎるのが以前から指摘されている。広域場で見たとき大気が潜在不安定になると積雲パラメタリゼーションによりすぐに降水が始まってしまうのである。熱帯では降水に強い日周変化があり夕方にそのピークのあることが知られているが、モデルではこのピークが数時間早すぎる。この理由として湿潤対流は逆転層など対流を抑制する効果を克服しなければならないことが指摘されている。大気境界層の働きを適切にモデルのパラメタリゼーションに組み入れる必要があるとされている。我々の結果はまずは陸上における dry な大気境界層の実態を示したと言える。モデルの中では大気境界層内の大きな渦も表現されており、一部の湿潤な場合の結果では、大気境界層内部の渦をトリガーとして雲が立ち上がっている。沖縄における高感度ドップラレーダの観測からは大気境界層の上端の変動（うねりながら移動する）が観測されており、これはウィンドプロファイラにより観測された鉛直流の変動に対応していると思われる。これもモデルの結果と整合しており、モデルの信頼性を上げている。

6. 主要な成果報告等

(1) 論文

1. 玉川一郎, 田中賢治, 石田祐宣, 樋口篤志, 松島 大, 浅沼順, 小野圭介, 多田毅, 林泰一, 石川裕彦, 田中広樹, 檜山哲哉, 岩田徹, 田中健路, 中北英一, CAPS 観測グループ, 2004: 琵琶湖プロジェクト 2002 年フラックス面的集中観測 (Catch A Plume by SATs: CAPS: その概要). 水文・水資源学会誌 Vol. 17, No. 4, pp. 392-400
2. Fujinami, H. and T. Yasunari, 2004: Submonthly Variability of Convection and Circulation over and around the Tibetan Plateau during the Boreal Summer. *Journal of Meteorological Society of Japan*, 82, 1545-1564
3. 松原卓美, 樋口篤志, 中村健治, 秋元文江, 2005: 熱帯降雨観測衛星データを用いたイラワジ川、メコン川流域における降水量分布の特性. *水文・水資源学会誌*, 18, 2, 116-131
4. 中川 勝広, 北村 康司, 花土 弘, 高橋 暢宏, 井口 俊夫, 2005: 沖縄偏波降雨レーダ (COBRA) を用いた降雨の鉛直構造特性に関する研究. *土木学会水工学論文集*, vol. 49, pp. 277-282
5. Minda, H. and K. Nakamura, 2005: High temporal resolution path-average rain-gauge with 50 GHz band microwave. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 22(2), 165-179
6. Furuzawa, F. A. and K. Nakamura, 2005: Differences of Rainfall Estimates over Land by Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Precipitation Radar (PR) and TRMM Microwave Imager (TMI)- Dependence on Storm Height. *Journal of Applied Meteorology*, 44(3), 367-383
7. Fujinami, H., S. Nomura and T. Yasunari, 2005: Characteristics of Diurnal Variations in Convection and Precipitation over the Southern Tibetan Plateau during Summer. SOLA

8. Shinoda T., H. Uyeda and K. Yoshimura, 2005: Structure of Moist Layer and Sources of Water over the Southern Region Far from the Maiyu/Baiu Front. Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol. 83, No. 2, pp. 137-152
9. Tanaka H., T. Hiyama, K. Yamamoto, H. Fujinami, T. Shinoda, A. Higuchi, S. Endo, S. Ikeda, W. Li and K. Nakamura, 2006: Surface flux and atmospheric boundary layer observations from the LAPS project over the middle stream of the Huaihe River basin in China, Hydrological Processes (accepted)

(2) 口頭発表

- ①国際会議等発表：44 件
- ②国内学会等発表：97 件

(3) 特許出願 (国内 1 件)

7. おわりに

本研究は決して終わっていない。それどころか、やっと面白い結果が出始めたところと言える。そもそも大気境界層と降水システムのオンセットという新しい研究を、それぞれの部分では実績を持っていたとはいえ、降水システムについてはその力学構造の観測・モデル研究に、大気境界層については観測タワーレベルの観測にとどまっていた。そこに、大気境界層全層の観測を長期にわたり続け、降水との関係を見る、という新しい試みを行い、ほぼ計画通り良いデータセットが得られた。プロジェクトを振り返れば、前半は観測そのものに費やされた。後半に入りやっと解析結果が出始め、それを土台としてモデルを走らせた、という経過であった。観測事例の概況の初期条件、境界条件のもとで観測結果に合うようなモデル結果が出力されたことで、高い蓋然性をもってモデルは実態を表現しているとして、モデル内部の構造を調べた。これにより、大気境界層の駆動源として顕熱だけでなく、水蒸気に起因する浮力の重要性を指摘することができた。また顕熱と水蒸気の寄与が季節、場所によって異なることも実証できた。

降水システムと大気境界層との関係については、広域解析などからは、乾燥域と湿潤域を分けるメイユ前線の前後で大気の湿り具合、具体的には水蒸気混合比の鉛直分布、また水蒸気移流の鉛直分布の差異が確認され、その原因として積雲降水システムの構造の差が示唆された。降水の分布、あるいは湿潤域の拡大そのものは総観規模擾乱が主役であり、それはさらに広域のモンスーンシステムに依っており、地表面の強いコントロールは確認できなかった。モデル研究では結果がやっと出始め、大気境界層内の渦をトリガーとして発生する浅い湿潤対流が大気境界層の上の自由大気下層を湿らせていることは確認できた。これは深い湿潤対流を生むための pre-conditioning のために重要と考えられる。

本プロジェクトは名古屋大学地球水循環研究センターの人員を中心として実行された。名古屋大学以外では岐阜大学、岡山大学、千葉大学、(独)情報通信研究機構の参加を得た。また中国国家気象局国家気候センターとの強い協力関係がある。このような研究者間の連携とともに、名古屋大学地球水循環研究センターとしても大きな意義があった。それは、本プロジェクトに、当センターの7研究室のうち半分以上の4研究室が参加したことがある。また院生も多く参加した。それは、博士論文は未だであるが、修士論文が岡山大も含めてたくさん出たことにも現われた。当センターは目的を持った研究専念組織であるが、大学内の組織であり、各自の自由な創発をその基礎とすることから、研究はどうしても発散傾向にあるため、求心力を保つことを常に考えなければならない。その求心力として本プロジェクトが良く機能したといえる。研究面においては、本プロジェクトは境界層グループと降水グループ、そして広域解析グループを連携させた分野を推進する大きな力となった。特に、大気境界層の構造と降水システムとの関係の実証的研究の緒を付けたことの意義が大きい。

中国との関係においては、故武田喬男先生の培われた研究の友好関係を少しは継承できたのではないかと考えている。その当時と比べると中国のレベルアップは著しいものがある。今後はより深い研究的協力を

関係を持ちたいと考えるが、中国国家気象局は現業官署であり、当方は大学であることからいささか難しい面も感じている。

私（中村）自身は主として熱帯亜熱帯域の降水システムの特徴を、衛星データを使って調べる、ということをやっているが、本プロジェクトにより大気境界層を念頭において降水システムのデータを眺めることができるようになった。若手が楽しそうに観測解析を進め、そして成果が挙げたことを非常に嬉しく感じている。

本プロジェクトは水のモデリングのグループの中の1研究プロジェクトであり、虫明総括を始め、水事務所の関係者、またJST本部の関係者には、予算を始め様々な面で支援を頂いた。個人名は省かせて頂くが、関係者に深く感謝したい。