

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
Overview of Intensive Field Campaign for Lake-Biwa Project 2002,
“Catch a Plume by SATs: CAPS”.

玉川一郎¹ (岐阜大学流域圏科学研究センター)
Ichiro TAMAGAWA *River Basin Research Center,
Gifu University*

田中賢治 (京都大学防災研究所水資源センター)
Kenji TANAKA *Water Resources Research Center,
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univer-
sity*

石田祐宣 (弘前大学理工学部地球環境学科)
Sachinobu ISHIDA *Department of Earth and Environ-
mental Sciences, Hirosaki University*

樋口篤志 (名古屋大学地球水循環研究センター)
Atsushi HIGUCHI *Hydrospheric Atmospheric Research
Center, Nagoya University*

松島 大 (東北大学大学院理学研究科)
Dai MATSUSHIMA *Graduate School of Science, To-
hoku University*

浅沼 順 (筑波大学陸域環境研究センター)
Jun ASANUMA *Terrestrial Environment Research
Center, University of Tsukuba*

小野圭介 (農業環境技術研究所)
Keisuke Ono *National Institute for Agro-
Environmental Sciences*

多田 毅 (防衛大学校土木工学研究室)
Tsuayoshi TADA *Department of Civil Engineering, Na-
tional Defense Academy*

林 泰一 (京都大学防災研究所災害観測実験セン
ター)
Taichi HAYASHI *Research Center for Disaster Envi-
ronment, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto
University*

石川裕彦 (京都大学防災研究所)
Hirohiko ISHIKAWA *Disaster Prevention Research In-
stitute, Kyoto University*

田中広樹 (名古屋大学地球水循環研究センター)
Hiroki TANAKA *Hydrospheric Atmospheric Research
Center, Nagoya University*

檜山哲哉 (名古屋大学地球水循環研究センター)
Tetsuya HIYAMA *Hydrospheric Atmospheric Research
Center, Nagoya University*

岩田 徹 (岡山大学環境理工学部環境デザイン工
学科)
Toru IWATA *Department of Environmental & Civil
Engineering, Faculty of Environmental Science &
Technology, Okayama University*

田中健路 (熊本大学工学部環境システム工学
科)
Kenji TANAKA *Department of Architecture & Civil
Engineering, Kumamoto University*

中北英一 (京都大学工学研究科環境地球工学専
攻)
Eiichi NAKAKITA *Department of Global Environment
Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto
University*

CAPS 観測グループ² CAPS observation group

The intensive observation, including many turbulence observations distributed in the area, was performed over paddy field in northern Shiga prefecture, Japan in a few weeks in November 2002. Sixteen points of turbulence observation, a radio sonde observation, two SODARs observation, four scintillometers observation and thermal images taken from airplane were done in this campaign. The outline is presented here.

Keywords: turbulence, flux, Biwako project, Flux enthusiast party

⁰連絡先: フラックス野郎&お嬢の会 . E-mail: flux@tama.cive.gifu-u.ac.jp (フラックス野郎&お嬢の会メーリングリスト)

¹岐阜大学流域圏科学研究センター 〒 501-1193 岐阜市柳戸 1-1
River Basin Research Center, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1193, Japan.

²松浦陽介・朝岡良浩・渡辺浩明(東北大学), 家本薫(筑波大学), 鈴木善晴・原耕一郎・清水保・鎌田雅憲(宇都宮大学), 大石哲(山梨大学), 民田晴也・山本宗尚・松原卓美・八田由紀子・近藤善美・佐藤暁子(名古屋大学), 山根悠介・甲山治・石岡賢治・相馬一義・宮田昇平・田中武志・花房大輔・福田大輔(京都大学), 西村吉弘・伊藤龍也(福井工業大学), 松井一浩・吉田直矢(崇城大学)

滋賀県北部の水田地帯で、面的に観測点を配置した乱流観測を含む集中観測が2002年11月に行われた。この観測は、16点の乱流観測・ゾンデ・2点のソーダ・4台のシンティロメータ・航空機からの熱画像計測からなる大規模かつ集中的なものである。ここではその概要を述べる。

キーワード: 乱流, フラックス, 琵琶湖プロジェクト, フラックス野郎&お嬢の会

I. はじめに

乱流の面的集中観測が2002年11月に滋賀県北部の水田地帯で行われた。この観測は、戸田ら(2000)で報告された自発的持ち寄り型プロジェクトである通称「フラックス野郎&お嬢の会」と、現地で継続的に行われて来た「琵琶湖プロジェクト」の合流によって実現した大規模な観測であり、この報告はその第一報である。この研究の最大の特徴は、多数の研究者が自発的に装置や労力などを出し合って観測を行っている点にあり、著者の多さもその特徴に起因する。

さて、今回行われたような小さな領域に多数の計測機を展開するという集中観測は、地上での乱流輸送量(しばしばフラックスと略称される)観測を行っている研究者の間では憧れを持って期待されていた。例えばこの種の地上観測をひろく展開したGAMEのコミュニティでも、集中観測終了後には「expedition型の研究の時代は終わった」、「観測しただけで研究になる時代ではない。多数の計測を組み合わせる必要がある」という認識のもと、衛星観測等と組み合わせる広域モニター型の観測戦略と並んで、人や機材、資金を集中的に小さな領域に投下して、いままでにないデータを取得し、直接観測に基づく飛躍的な研究の進歩を狙ってはどうかという議論がなされていた。

そのような機運の中で、通称「フラックス野郎&お嬢の会」(戸田ら2000)は筑波大学陸域環境研究センターにおける乱流計測機の比較観測から活動を始めた。この活動は、メーリングリスト⁰や、WWWページ(<http://tama.cive.gifu-u.ac.jp/~tama/flux/>など)を多用し、各地に散らばる研究者間で写真や解析途中の結果をも含むデータの共有・公開を通じて、活発な議論を行いながら、まさにバザール方式(Linuxなどのソフト開発で行われる手法)で活動を続けている。

一般に多種かつ多数の計測機を使った観測を行うには、運用上・技術上のさまざまな問題が起こるが、年1回ペースで観測を行っていく中でノウハウを蓄えつつ段階的にそれら乗り越えて来た。2001年までに計測器相互の比較観測を第一課題とする研究フェーズを終了した。その結果(石田ら2004)によると現状で稼働しているさまざまな超音波風速計で測定された顕熱フラックスの機差は10%以内であり、赤外線オープンパス型湿度変動計で測定された潜熱フラックスも新しい世代の計測機を使い、更に検定を行えば機差は小さく、異機種が混在する状況でも多点観測を展開することが可能であることが示された。それを踏まえ、2002年には大気科学・水文学的研究により焦点を合わせるべく、観測場所を変え、琵琶湖プロジェクトの行われている滋賀県北部の高月町で行われることになった。

一方の琵琶湖プロジェクトは「琵琶湖流域の水・熱循環過程解明に向けた総合研究と衛星同期共同観測」を骨子としたオープンプロジェクトであり、1989年以来様々な関係機関のサポートを受けながら継続されてきたものである。全国の各分野からの水文研究者が一同に会して議論し、衛星リモートセンシングやGISなどを使った共同観測・解析を行うことにより、水文学の新たな方向や飛躍をもたらすことを基本的な目的としている(中北・砂田1998, 中北2000)。当初は短期集中型のスポット的な検証観測が主体であったが、1998年度より水田・森林の2地点で、1999年度からは都市、湖面の2地点でも常設熱収支観測システムの運用が始まり、現在も観測を継続している(宮崎ら, 2001)。今回の観測は、この常設熱収支観測の水田サイト周辺の水田地帯を利用して行われた。

小領域で多数の乱流計測機を展開して行う観測は、多くはないが、古くから行われており、有名な例としては、Kaimal and Businger (1970), Kaimal (1974), Wilczak and Tillman (1980)などによる細線温度計

を用いた対流プリユームの観測などがあり、プリユームの特徴などについて現在の対流境界層の教科書に載っているような結果が得られている。近年では、CASES と呼ばれる大規模な観測がアメリカのカンザス州で行われており、この報告と同様に多数の著者による紹介記事 (LeMone ら 2000) によると、ここで紹介するものより、はるかに大規模で広域から階層的にカバーするような領域を設定したプロジェクトである。その 1999 年の集中観測では 5km 四方程度の領域にタワーを含むさまざまな観測点を 20 点程度分布させ、主に夜間の安定層を狙った観測が行われている。

ここでは、CASES 程ではないにせよ前述の経緯で実現に至った非常に多種・多数の計測機を利用した大規模な観測の概要を報告する。焦点を絞った通常の研究論文では、観測の全体像を掲載することは困難であるので、概要の紹介という形で観測の全体像の記述をここに残しておくことは今後の研究にとって有益であり、また、面的集中観測が実現可能であることを示すことは今後のこの種の研究にとって重要な意味があると考えられる。

II. 観測概要

観測の基本コンセプトは、一様に見える地表面上で多数の乱流計測機を設置しその時間空間的分布を把握することである。それは、

- 我々の計っている地表からのフラックスは本当に代表性があるのだろうか？
- フラックスの空間分布は、どうなっているのだろうか？

という素朴な問いや、

- 神田ら (2002) あるいは 渡辺・神田 (2002) で示された大規模な境界層内の対流構造が、はたして本当に地表面付近での観測に影響を及ぼすのか？ 大規模な対流構造は本当にそんなに動かないのか？
- フットプリントやソースエリアと呼ばれるある点でのフラックスの計測値に影響を与える地表面領域 (Schuepp ら 1990, Horst and Weil 1992) で観測対象領域全体を覆えば代表値が得られるのだろうか？
- よく知られている乱流の性質を持つのは、どこまでの空間的あるいは時間的スケールなのか？

などの問いに直接答えるには、単純な地表面状態の場所で面的な観測をすることから始めるべきだとの考えに基づくものである。

観測に選ばれた場所は、標高約 100m の滋賀県伊香郡高月町井口の水田地帯である。ここは、琵琶湖岸の小山と伊吹山地にはさまれた北々西から南々東へ延びる幅約 4km の平地であり、木之本と高月の 2 つの市街地の間に位置する観測地周辺には大規模な市街地はない。観測地の位置を計測機配置とともに図 1 に示す。

本観測地は、琵琶湖プロジェクト常設の水田観測システムが以前から設置されて集中観測も何度か行われており、観測に対する地域の理解が得られ易いこと、地表面状態は水田でかなり均一であること、更に、本州中央部にあり幹線鉄道や高速道路からも近く参加者の往復に便利であることから観測地として適していると考えられた。

現地で稲刈りが終了しており、十分な顕熱フラックスが期待される時期として観測期間を設定した。期間は設置撤収を含めて 2002 年 11 月 9 日から 22 日であり、短期集中型の観測とした。実際問題として、今回のような観測を長期間続けることは人的資源、資金の両面で困難であった。参加者は宿泊リストで数えても

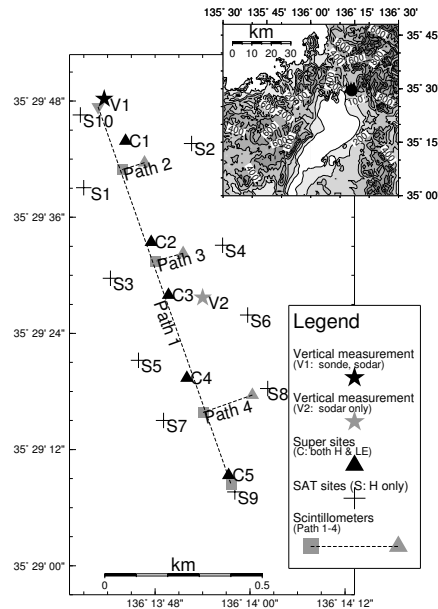


図 1: 周辺地図と計測点配置図

Fig.1 Location of the observation points

47 名に達し、大半の者が勤務や学業の都合で断続的に現地に入った。設置撤収時には多くの人手を要したが、観測継続中は約 10 名で運用を行った。

使用機材は、超音波風速温度計 16 台、赤外線湿度変動計 4 台、シンティロメータ 4 台、ドップラーソーダ 2 台、ラジオゾンデ 1 台であり、収穫後の水田に総延長 3km に及ぶ仮設の電源工事を行い機器の電源を確保し、多くの観測点では水田内に設置した物置に計測機本体や記録計を収容した。さらに集中観測日には航空機による熱赤外画像の観測も行われた。計測機の配置は図 1 のようになっている。配置は、ほぼ等間隔の格子になるように、乱流観測点を配置し、その中心線上に、計測項目の多い観測点を置くものである。また、ゾンデおよびソーダもこの中心線上に配置し、シンティロメータの内、長距離の観測パス用のものを中心線上に設置した。他のシンティロメータは、中心線と直交する方向に配置し、なるべく観測領域全面を覆うようにした。

行われた計測は、

1. ゾンデおよび 2 台のドップラーソーダによる上空の観測
2. 4 台のシンティロメータによる線上の空間平均値の計測
3. 航空機からの熱画像による地表面状態量の面計測
4. 水蒸気変動計を含む地上での乱流観測といくつかの気象観測
- 4'. 超音波風速温度計のみでの乱流観測

の 5 通りに分類できる。以下、それぞれについて簡単な説明と資料を掲載する。なお、資料中の機器の所属の略称は、最後の表 6 にある。

1. 上空の観測 (ゾンデとドップラーソーダ)

GPS ゾンデによる観測は、図 1 の V1 地点にある滋賀県立伊香高校の千田農場を借りて、期間中 3 時間毎に行われた。放球は観測時刻の 30 分前で、気圧・気温・湿度・風向風速が 2 秒毎に記録され、境界層内および上空の詳細な鉛直構造が観測された。これが今回の観測における唯一の上空の気温・湿度を含む観測データであり、数値実験を含む解析に重要な役割を果たすと期待される。

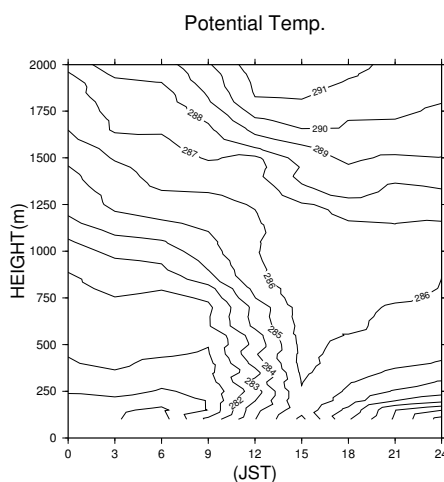


図 2: 2002 年 11 月 17 日のゾンデ観測による温位変化

Fig.2 Potential temperature at November 17, 2002 by radio sonde observation.

観測データの例として 2002 年 11 月 17 日の温位の時間鉛直断面を、図 2 に示す。当日は晴れた日で南からの風が吹く時間が長く、後述の航空機観測も行われたので、今回の観測の中で最も多くのデータが得られた日の一つである。この日は、夜間の冷却で形成されていた下層の冷気が、日の出以降急速に地表の加熱を受け等温位の混合層が形成されていき、800m 程度まで発達した後、また下層から冷えて安定成層が形成される晴天日の大気境界層の典型的な日変化が観測された。

表 1: ゾンデとドップラーソーダ観測

Table 1 Radio sonde and doppler SODAR observation

地点	種類	型名	所属
V1 (35°29.804'N, 136°13.693'E)	GPS ゾンデ	Vaisala MW15	名大 HyARC
	Dopplar Sodar	Scintec XFAS	名大 HyARC/LAPS
	車載 Dopplar Sodar	DPRI&Kaijo	京大 DPRI
V2 (35°29.462'N, 136°13.900'E)	車載 Dopplar Sodar	DPRI&Kaijo	京大 DPRI

ドップラーソーダは、地上設置型のソーダをゾンデと同じ V1 点に設置し、20 分毎に上空の風速や変動の統計値を記録した。ここでは周囲の人家への騒音問題から夜間の観測は中止された。また車載型のは V2 地点の神社に設置し、1 分毎にデータを記録した。こちらでは、朝の 9 時ごろに通行する車が原因と思われるノイズによってデータの取得率が低下していた。これらから境界層内の風向風速の鉛直分布が得られ、

記録間隔の短い後者からはプリュームなどの対流構造に関する情報も得られるのではないかと期待される。計測地点毎にまとめた表を表 1 に示す。

2. 水平方向の線での観測 (シンティロメータ)

表 2: シンティロメータによる観測
Table 2 Scintillometer observation

地点	位置・パス長種類	型名	所属
	種類	型名	所属
Path1	35°29.79'N, 136°13.68'E, 751 cm (送信機)		
	35°29.14'N, 136°13.96'E, 670 cm (受信機)		
	Path Length: 1232 m		
	scintillometer	Sintec BLS900	筑波大 TERC/RAISE
Path2	~ 11/17		
	35°29.710'N, 136°13.821'E (送信機) 35°29.681'N, 136°13.734'E (受信機)		
	Path Length: 148 m (実測)		
	11/17 ~ 11/18		
	送信機, 受信機詳細位置不明		
	Path Length 112m (実測)		
	11/18~		
	35°29.694'N, 136°13.778'E, 275 cm (送信機) 35°29.682'N, 136°13.731'E, 253 cm (受信機)		
	Path length 70m (実測)		
	平均高 264 cm		
	scintillometer	Sintec SLS20	防衛大
Path3	35°29.539'N, 136°13.859'E, 183 cm 送信機		
	35°29.525'N, 136°13.802'E, 234 cm 受信機		
	平均高 209 cm		
	Path Length: 89 m (~11/17) 100 m (11/17~)(共に実測)		
	scintillometer	Sintec SLS20	防衛大
Path4	35°29.294'N, 136°14.005'E, 216cm (送信機)		
	35°29.267'N, 136°13.901'E, 268 cm (受信機)		
	平均高 242 cm		
	Path Length: 160 m (実測)		
	scintillometer	Sintec SLS40	農環研

シンティロメータ (Scintillometer) は、光の屈折を利用して計測パス中での気温の変動に関わる屈折率の乱流統計量 (C_n^2) を計測する装置である。この量と地表からの顕熱フラックスを結びつけるには Monin-Obukhov の相似則の関係を使う必要があり、相似則の仮定である水平一様定常を利用しているため、仮定が完全に破れている場合には理論的にフラックスと結びつけるのに困難があり、完全に水平一様であれば 1 点での計測と同じものになってしまうわざわざ観測する意味がなくなってしまう。この両極端の間の状態では、パス平均のフラックスに関する値を測定する貴重な計測器であると考えられる。また、直接観測されるパス平均の C_n^2 そのものは貴重な空間平均された乱流統計量であり乱流統計量の分布に関する研究には意義深いと考えられる。今回の観測では、強力な光源を持つ長距離観測用の Sintec BLS900 を領域の長手方向に、他の物を横方向に設置し、(横棒の一本多い) “キ” の字状に領域での値を計測するように配置し

た. 表 2 にそれぞれ位置や状況を示す. Path2 の Sintec SLS20 が何度も位置を変更しているようにどれだけのパス長で安定に観測できるかなど現地での調整作業に手間取るものもあった.

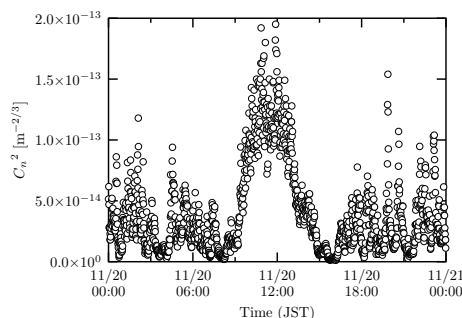


図 3: Path1 に設置された BLS900 での計測結果. 2002 年 11 月 20 日
Fig.3 Observed data by BLS900 on path1 at November 20, 2002.

観測データの例として, Path1 の Sintec BLS900 のデータを図 3 に示す. 昼頃に C_n^2 が大きくなり計測パス内での気温変動の大きいこと, すなわち活発に顕熱の輸送が行われていることをとらえている. 蛇足であるが C_n^2 からでは熱輸送の方向は区別できないので夜間でも正の値を示している.

3. 上空からの地表面状態の観測 (航空機による熱画像観測)

表 3: 航空機による熱画像観測

Table 3. Thermal image observation from an airplane.

観測日時	11/17 午前, 午後 11/19 午後 11/20 午前		
観測項目	熱画像, 気温湿度気圧, 地表ビデオ撮影		
熱画像	Inframetrics MODEL740	東北大	
温湿度計	Vaisala HMP133L	東北大	
気圧計	Vaisala PTB101	東北大	
ビデオカメラ	Panasonic NV-GS5K	東北大	
記録計	Grant SQ1254	京都大 DPRI	
セスナ機		大阪航空	
種類	型名	所属	

観測領域内の地表面の状態を把握するために, セスナ機からの熱赤外画像撮影が行われた. 観測に使用した機材や日時は表 3 の通りである. 航空機は大阪府にある八尾空港を基地として現地に飛来し観測を行った.

観測により図 4 に示すような地表面放射温度の分布図が得られた. この画像は, 観測された輝度温度に対して幾何補正や大気補正などを行った 2002 年 11 月 17 日の 11 時 35 分から 58 分の複数の画像をモザイク状に組み合わせたものである. (2000,1100) 付近の楕円形のパターンが V2 付近にある神社の森にあたる.

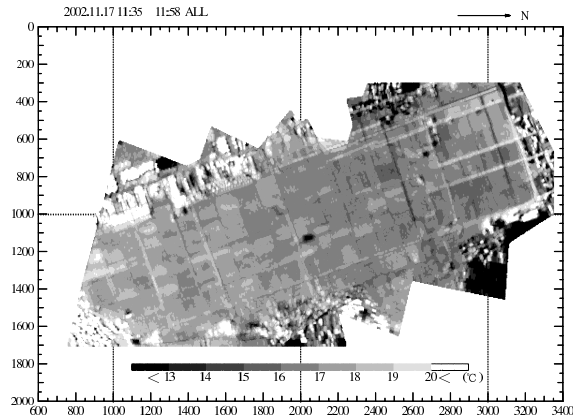


図 4: 航空機からの熱赤外画像 2002 年 11 月 17 日 11 時 58 分
Fig.4 Thermal image at 11:58 JST on November 17, 2002.

ここで観測された地表面温度は、南側から観測した領域の南部がやや温度が高くなっているように見えるなど地表面を観測する方向等の影響を受けているため詳細な解析は今後の課題であるが、画像周縁部に見られる宅地部とは違い水田部は比較的一様な分布を示していることが分かる。それでも温度差は 3K 程度存在しており、水田の区画のパターンが見えることが分かる。水分状態が区画毎に異なっていたのかも知れないが、今回土壌水分量の観測は特に行っていないので現時点では詳細は不明である。

この地表面温度分布が、各地点での乱流観測の結果、特に顕熱フラックスの分布の理解に役立つと期待される。

4. 乱流観測と地上気象観測

中心的な観測として、刈り入れ後の水田に 3m 弱のポールを立てて、乱流計測機を設置した。各計測機および記録計は各参加者の持ち寄りであり、事前の調整の上、現地で組み合わせて使用した。計測機の機種毎に出力形式が違う上に、記録計も既存のものを利用したため記録されたデータ形式がさまざまであり、データファイルの共通形式化の後処理ができたのは 2003 年に入ってからになった。乱流データは 50Hz サンプルングの 1 地点を除き、10Hz でサンプルングされ、記録計によって状況は異なるが、ほぼ連続でデータを取得した。記録計の時刻は電波時計を基準に手作業で毎日合わせたが、特に PC を利用した記録計は時刻の遅れなどの問題があり、最大で 20 秒程度遅れてしまったものもあった。しかし、多くのものは数秒程度のずれでデータが取得でき、観測点の間隔が 100m 程度、風速が数 m/s であることから、 $(\text{数 s}) \times (\text{数 m/s}) < (100\text{m 程度})$ となり、なんとかブリュームなどの移動も捉えられる品質を維持できた。また通常の気象観測や放射量の観測もいくつか行われた。

観測は、3 高度で水蒸気変動も含めて計測し、通常気象要素観測も行われた C4 サイトを中心に、それに準じる C1 ~ C5 のサイトと、超音波風速温度計のみの観測である S1~S9 の簡易乱流計測サイトで行われた。また、琵琶湖プロジェクト常設乱流観測サイトを S10 と呼んだ。それぞれの観測点および計測機の配置を表 4 および表 5 に示す。前述の石田ら 2004 によれば、水蒸気変動の観測で校正が問題となるので、赤外線水蒸気変動計にはそれぞれ容量式の湿度計を近傍に配置し、更にアスマン乾湿計による計測も時々行った。

これらから得られた膨大な乱流観測データを解析することにより、各点でのフラックスを含む乱流統計量

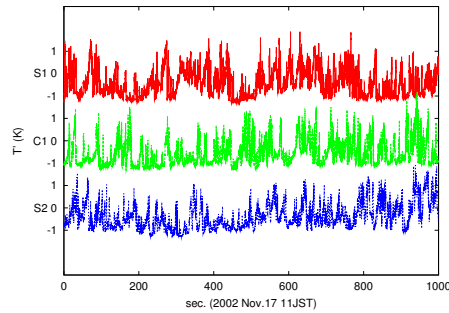


図 5: S1, C1, S2 で観測された気温変動 T' の時系列. 2002 年 11 月 17 日 11 時から 1000 秒間
 Fig.5 1000 second temperature fluctuations at S1, C1 and S2 from 11JST on November 17, 2002.

や, 空間構造などが解析される予定である (石田ら 2003). ここでは, 直接的なデータの例として, S1・C1・S2 の計測線での気温変動量を図 5 に示す. おおよそ 200m の間隔で, 南西から北東へ S1・C1・S2 と計測点が並んでいて, 当時の風向がほぼ南西で風速が地上で 1.3m/s 程度である. もし, プリユームが地上風速でそのまま移動するとすると約 150 秒遅れて, 図中の時系列の線を上から下へ進むことになる. 実際に, 図中にその角度へ補助線を引くと対応すると思われる気温変化パターンを, 例えば S1 の 80 秒付近の気温のピークと C1 の 200 秒付近, S2 の 380 秒付近などというように見ることができる. 今後, 数値実験や, 顕熱フラックス分布などと組み合わせて詳しい解析がされる予定である.

2002, Nov.17, 12h, Sensible Heat (Wm^{-2})

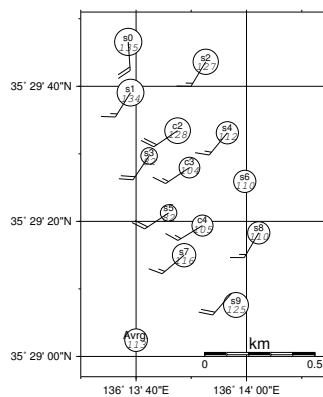


図 6: 顕熱フラックス分布の一例. 円の大きさや円内の数字は顕熱の大きさ (数字の単位は W/m^2) を表し, 円内の文字は観測サイト名を示す. 矢羽根は風向風速を, 長い矢羽根: 1m/s, 短い矢羽根: 0.5m/s 記号の根元が観測点の位置として表す.

Fig.6 Sensible heat flux distribution. The radii of circles and the numbers in them show the amount of heat flux by W/m^2 . The wind barbs show wind direction and speed at the sites indicated by their origins.

また, ある時間間隔で求めた渦相関法による顕熱フラックスは, 図 6 のように分布している. このような

分布が、地表面の違いによるものなのか、単なる統計的な散らばりなのか、対流の構造によるもののかなど、今後の詳しい解析によって明らかにされていく予定である。

III. まとめ

多くの関係者の努力もあって、少なくとも国内では今までに例を見ない集中的な観測を行うことができた。得られたデータは未だ整理中であるが、その総量は 8 G byte を越えている。この膨大なデータを解析することにより、フラックスの代表性やその分布、あるいは大規模構造対流の影響、それを踏まえた数値モデル内での地表面の表現法など、先に述べたようなさまざまな疑問の解決に役立つ結果が得られると思われる。観測は初期解析の結果を踏まえて今後も更に行っていく予定である (2003 年の観測は 10 月に実施された)。

ここで得られたデータは、研究者コミュニティの共有財産としてインターネット上で公開されている。さまざまな情報への窓口はフラックス野郎&お嬢の会の WWW ページ (<http://tama.cive.gifu-u.ac.jp/~tama/flux/>) から、またデータ配布のマスターサイトは ftp://hyarcftp.hyarc.nagoya-u.ac.jp/pub/other_projects/flux_enthu_party/ である。観測に関わったかどうかに関わらず興味を持つ方の解析にも期待したい。

また、この観測に対して資金等の援助を以下のところから受けた。ここに記して感謝を示す。

- 科学研究費補助金基盤研究 (A) 13305033 “琵琶湖プロジェクト” (代表, 中北英一)
- 京都大学防災研究所共同研究 14G-3 “均質な地表面上での不均質なフラックス分布の測定に関する研究” (代表, 樋口篤志)
- 戦略的創造研究水循環領域 “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 (LAPS)” (代表 中村健治 名古屋大学地球水循環研究センター) および “北東アジア植生変遷域の水循環と生物・大気圏の相互作用の解明 (RAISE)” (代表 杉田倫明 筑波大学地球科学系)
- 他に各研究者所属機関

本活動は、水文・水資源学会研究グループ “大気境界層における乱流フラックス観測研究会” の活動でもある。

最後に観測場所を提供して頂いた滋賀県伊香郡高月町井口地区の皆さんと滋賀県立伊香高校に感謝を示して概要の報告を終える。

参考文献

- Horst, T. and Weil, J. (1992): Footprint estimation for scalar flux measurements in the atmospheric surface layer. *Boundary-Layer Meteorol.*, **59**, pp.279–296.
- 石田祐宣・樋口篤志他 (2003): 複数の乱流計測機を用いた乱流熱輸送量空間分布観測の概要 —琵琶湖プロジェクト 2002 年集中観測 (CAPS)—, 日本気象学会 2003 年度春季大会講演予稿集 P.238,
- 石田祐宣・松島大・樋口篤志・檜山哲哉・戸田求・浅沼順・玉川一郎・宮崎真・田中賢治・杉田倫明・永井秀幸・田中久則・飯田真一・小林菜花子 (2004): 2001 年筑波大学陸域環境センター (TERC) における乱流計測機集中観測: 機器比較と校正による誤差の解析, *水文・水資源学会誌*, **17**, (印刷中).
- Kaimal, J.C. (1974): Translation speed of convective plumes in the atmospheric surface layer. *Quart. J. Royal Meteor. Soc.*, **100**, pp.46–52.

- Kaimal, J.C. and Businger, J.A. (1970): Case studies of a convective plumes in the atmosphere and a dust devil. *J. Appl. Meteor.*, **2**, pp.156–164.
- 神田 学・渡辺 カ・マルコス オリバー レッツェル・ジークフリート ラッシュ(2002): LES による熱収支インバランス問題に対する検討 (第 1 報) 大気境界層スケールの対流構造の影響, *水文・水資源学会誌*, **15-3**, pp.243–252.
- LeMone, M.A., Grossmann, R.R.L., Coulter, R.L., Wesley, M.L., Klazura, G.E., Poulos, G.S., Blumen, W., Lundquist, J.K., Cuenca, R.H., Kelly, S.F., Brandes, E.A., Oncley, S.P., McMillen, R.T. and Hicks, B.B. (2000) Land-Atmosphere interaction research, early results, and opportunities in the Walnut river watershed in southeast Kansas: CASES and ABL, *Bull. Amr. Meteorol. Soc.*, **81**, pp.757–779.
- 宮崎真・杉田倫明・安成哲三・鈴木力英・石川裕彦・田中賢治・山本晋 (2001): 各種プロジェクトにおけるフラックス測定, *気象研究ノート*, **199**, pp.201–234.
- 中北英一・砂田憲吾 (1998): 琵琶湖プロジェクトについて, *水文過程のリモートセンシングとその応用に関するワークショップ*, pp.1–12
- 中北英一 (2000): 琵琶湖プロジェクト-琵琶湖流域の水・熱循環過程解明の取り組み-, *水文・水資源学会誌*, **13-6**, pp.429–438.
- Schuepp, P., Leclerc, M., MacPherson, J. and Desjardins, R. (1990): Footprint prediction of scalar fluxes from analytical solutions of the diffusion equation. *Boundary-Layer Meteor.*, **50**, pp.355–373.
- 戸田求, 玉川一郎, 宮崎真, 松島大, 後藤順也, 宮本格 (2000): 乱流フラックス集中観測 - フラックス野郎の会 -, *水文・水資源学会誌*, **13-5**, pp.396–405.
- 渡辺カ・神田学 (2002): LES による熱収支インバランス問題に対する検討 (第 2 報) 水平一様な植生キャノピー層を含む中立接地境界層における検討, *水文・水資源学会誌*, **15-3**, pp.253–263.
- Wilczak, J.M. and Tillman, J.E. (1980): The three dimensional structure of convection in the atmospheric surface layer. *J. Atmos. Sci.*, **37**, pp.2424–2443.

表 4: 定点観測, 乱流観測に水蒸気変動を含む, あるいは他の気象要素の観測も行った地点.
 Table 4. Turbulence observation points with measurement of humidity and/or other items.

地点	位置, 高度, 風速計の向き	種類	型名	所属
C1	35°29.731'N, 136°13.738'E, 245cm, 西へ 5°(SAT) 165 cm (Humicap 吸入口) 120cm(アルベド計) 地中熱流板 (地表面直下)	超音波風速温度計	GILL 1210R3	名大 HyARC
		赤外線湿度 CO ₂ 計	Li-Cor LI-7500	名大 HyARC
		記録計	ハイドロテック Hdat16 + PC	名大 HyARC
		アルベド計	Kipp&Zonen CM-7B	名大 HyARC
		長波放射計	Eppleylab PIR	名大 HyARC
		温湿度計	Vaisala HMP45A	名大 HyARC
		放射温度計	Everest 4000-4ZL	名大 HyARC
		地中熱流板	REBS PHF-1	名大 HyARC
		記録計	Cambell CR10X	名大 HyARC
		C2	35°29.557'N, 136°13.792'E 281cm, 西へ 14° (SAT UV), 250cm(SAT W, AH-300)	超音波風速温度計
赤外線湿度計	Kaijo AH-300			東北大
温湿度計	Vaisala HMP-133L			東北大
記録計	Keyence NR-1000			東北大
記録計	Keyence NR-1000			東北大
C3	35°29.466'N, 136°13.828'E, 246cm , 西へ 14.5°(SAT) 35°29.471'N, 136°13.822'E, 143cm (放射)	超音波風速温度計	Metek USA-1	防衛大
		記録計	PC-base logger	防衛大
		4成分放射計	EKO MR-40	防衛大
		地中熱流計	EKO MF-81	防衛大
		記録計	EKO SOLAC-V	防衛大
C4	35°29.323'N, 136°13.867' E, 590cm 西へ 13° (上 SAT), 245cm 西へ 10°(SAT), 100cm 西へ 17.5° (SAT) 35°29.339'N, 136°13.878'E, 140 cm (放射)	超音波風速温度計 (590cm)	Kaijo DA-600(TR-62A)	農環研
		超音波風速温度計 (245cm)	Kaijo DA-600(TR-61A)	京大 DPRI
		超音波風速温度計 (100cm)	Kaijo DA-600(TR-62TZ)	岡山大
		赤外線湿度 CO ₂ 計 (245cm)	Li-Cor LI-7500	京大 DPRI
		記録計	Keyence NR-1000	弘前大
		日射計 (2台)	EKO MS-42	京大 DPRI
		赤外放射計 (2台)	EKO MS-200	京大 DPRI
		温湿度計 (2.5m)	Vaisala HMP35A	京大 DPRI
		温湿度計 (0.6m)	Vaisala HMP35A	京大 DPRI
		地中熱流計 (-5mm)	REBS PHF-1	京大 DPRI
		記録計	Grant SQ1254	京大 DPRI
C5	35°29.156'N, 136°13.955'E, 235cm 東へ 0.5°(SAT) 地中熱流板 -0.5cm (2台とも)	超音波風速温度計	Gill 1210R3	農環研
		赤外線湿度 CO ₂ 計	Li-Cor LI-7500	農環研
		記録計	TEAC DR-M3a	農環研
		放射収支計	EKO MR-40	農環研
		地中熱流板 2枚	EKO MF-81	農環研
		記録計	Cambell CR10X	農環研

表 5: 乱流観測のみのサイト, ほとんどの地点は水蒸気観測も無い.

Table 5. Turbulence observation sites, almost all points of which has no humidity obervation.

地点	位置, 高度, 風速計の向き	種類	型名	所属
S1	35°29.651'N, 136°13.650'E, 251cm, 東へ 3° (SAT)	超音波風速温度計	Kaijo DA-600(TR-61A)	名大 HyARC
		記録計	TEAC DR-M3b	名大 HyARC
S2	35°29.727'N, 136°13.877'E, 254 cm, 東へ 1.5° (SAT)	超音波風速温度計	Young-81000	名大 HyARC
		記録計	田中 (広) 作収録ソフト+PC	名大 HyARC
S3	35°29.495'N, 136°13.706'E, 274 cm, 東へ 6° (SAT)	超音波風速温度計	Kaijo SAT-550	京大 DPRI
		記録計	Keyence NR-1000	京大 DPRI
S4	35°29.552'N, 136°13.942'E, 270 cm, 西へ 4° (SAT u,v) 238 cm (SAT, W),	超音波風速温度計	Kaijo PA-600	京大 DPRI
		記録計	Hyper-terminal+PC	京大 DPRI
S5	35°29.354'N, 136°13.765'E, 246 cm 西へ 14°(SAT)	超音波風速温度計	Kaijo SAT-550	筑波大 TERC
		記録計	National Instruments DAQ Card-AI-16XE-50 +LABView+PC	筑波大 TERC
S6	35°29.432'N, 136°13.995'E, 253 cm, 東へ 3°(SAT)	超音波風速温度計	Kaijo DA-600(TR-61A)	京大 DPRI
		記録計	TEAC DR-M3	名大 HyARC
S7	35°29.250'N, 136°13.812'E, 245 cm, 西へ 21.5° (SAT)	超音波風速温度計	Kaijo DA-600(TR-61A)	京大 DPRI
		記録計	National Instruments DACPad MIO-16XE-50+LABView+PC	京大 DPRI
S8	35°29.305'N, 136°14.037'E, 247 cm (SAT, W) 東へ 5° (SAT)	超音波風速温度計	Kaijo DA-600(TR-61A)	京大 DPRI
		記録計	National Instruments DACPad MIO-16XE-50 +LABView+PC	京大 DPRI
S9	35°29.127'N, 136°13.968'E, 247 cm (SAT)	I 成分超音波風速温度計	Kaijo DA600(TR-41)	東北大
		記録計	National Instruments DAQ Card-700 +LABView+PC	岡山大/筑波大 TERC/東北大
S10	35°29.776'N 136°13.643'E, 230cm (琵琶湖プロジェクト乱流常設サイト)	超音波風速温度計	DA-600(TR-61A)	京大 DPRI
		赤外線温度 CO ₂ 計 記録計	Advanet E009B National Instruments DAQ Card-AI-16XE-50 + LABView + PC	京大 DPRI 京大 DPRI

表 6: 所属略称

Abbreviations

名大 HyARC	名古屋大学地球水循環研究センター
京大 DPRI	京都大学防災研究所
筑波大 TERC	筑波大学陸域環境研究センター
LAPS	Lower Atmosphere and Precipitation Study (プロジェクト名)
RAISE	The Rangelands Atmosphere-Hydrosphere-Biosphere Interaction Study Experiment in Northeastern Asia (プロジェクト名)