

## GAME / HUBEX-IOPの 水・熱フラックス観測の速報

田中 賢治\*・椎葉 充晴\*・池淵 周一

\*京都大学大学院工学研究科

### 要 旨

本報ではGAME/HUBEXで実施されたフラックス観測を総括する。熱収支観測システム(KU-AWS)を用いて史灌流域で陸面過程の集中観測が実施された。異なる土地利用におけるデータを取得するための巡回移動観測を春季(5/6-6/4)、夏季(8/3-9.5)、秋季(10/23-11/21)の3回実施した。GAME-AAN計画のもとGAME-PAMが1台寿県气象台に配備され、1998年8月12日から観測を開始したが、その後様々なトラブルのため欠測が多い。連続観測を実現するために現在全ての問題を解決すべく努力している。

キーワード : GAME/HUBEX、陸面過程、水・熱フラックス、土地利用、移動観測

### 1. 序論

地球気候システムを構成している個々の物理プロセスを理解し、それらの相互関連、フィードバック機構等を解明するための、大規模な気象観測プロジェクトが世界各地で行なわれている。GEWEX(全球水・エネルギー循環観測実験)のもとで展開されている大陸スケール集中観測プロジェクト(CSE)<sup>1</sup>の1つとして、アジアモンスーン域を対象としたGAME(GEWEX Asian Monsoon Experiment)が1996年度から立ち上がっている。GAMEは4つの地域プロジェクト(タイ、中国淮河、チベット高原、シベリア)からなり、アジアモンスーンの変動とその大陸スケールエネルギー・水循環との関係を深く理解し、水資源の変化や自然災害の発生の予測手法を開発することを最終的な研究目標としている。GAMEが実行段階に入り、IOPとなる1998年度には各地で集中観測が実施され、多量の貴重なデータが取得され、精力的に解析が進められている。

HUBEX(Huaihe Basin Experiment、淮河亜熱帯湿润モンスーン観測実験)は、淮河流域で亜熱帯前線帯が停滞してしばしば甚大な水害をもたらしてきたことを踏まえて、

1. 集中観測と4次元データ同化により淮河流域とその周辺域(Fig. 1)の高精度の気象・水文データベースを構築すること
2. 梅雨前線にともなうメソスケール雲・降水システムのエネルギー・水循環過程を理解すること
3. メソスケール気象-水文結合モデルによる洪水予測手法を開発すること

等を中心課題として進められている(Takeda, 1998)。

大気-陸面相互作用の解明、またそれぞれの地域における熱・水蒸気フラックスの日変化、季節変化を定量的に評価することは、GEWEX/GAMEの共通課題である。この地域で特筆すべきことは、水田、畑地、森林、水体などがパッチ状に存在し、地表面条件

<sup>1</sup> 他にGCIP(ミシシッピ流域)、MAGS(マッケンジー流域)、BALTEX(バルト海域)、LBA(アマゾン流域)等がある。

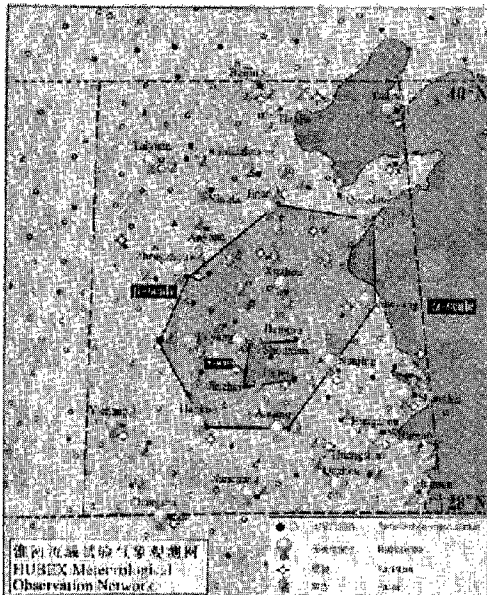


Fig. 1 Study Area of GAME/HUBEX

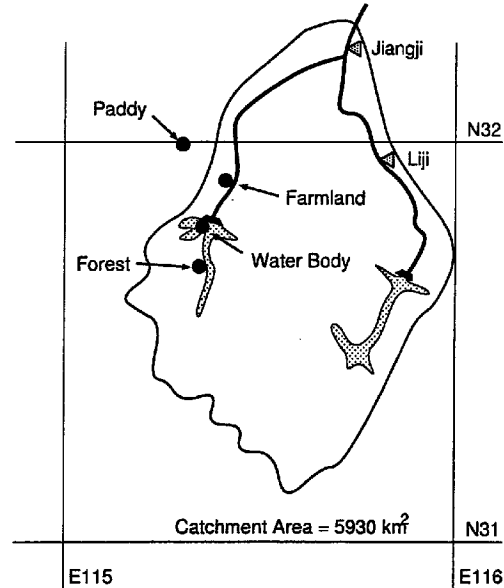


Fig. 2 Four observation sites in Shi-Guan Basin

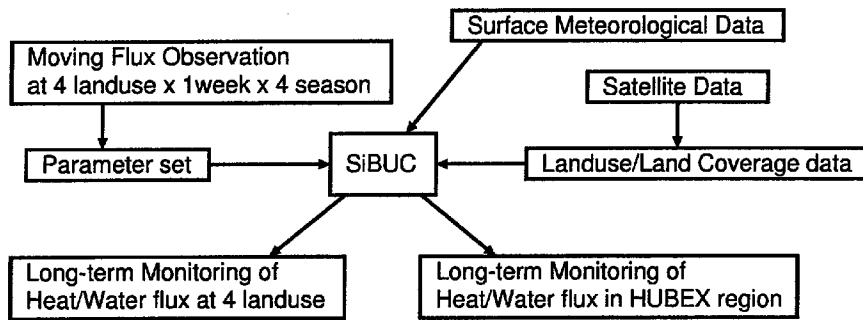


Fig. 3 Role of moving flux observation

が非常に多様であるとともに、水田、畑地などの耕作地が流域の大部分を占めていることである (Fig. 4参照)。したがってこの地域では、各種土地利用における熱・水蒸気フラックスの詳細な観測を行なうことはもとより、河川からの取水や灌がいなどの人為的操作・水管理に関する情報を取得することも非常に重要となる。

本報では、GAME/HUBEX-IOPに実施した日本側のフラックス観測

1. GAME-PAMによる地表面熱・水蒸気フラックスの長期モニタリング
2. KU-AWSによる各種土地利用における熱・水蒸気フラックスの移動観測

に関して、実施内容、データ取得状況、簡単な解析結果について報告する。

## 2. HUBEX の概要とフラックス観測の意義

### 2.1 観測対象領域

流域の地形や既存の気象・水文観測網を考慮して、寿县 (E116.77, N32.58) を取り囲む  $140 \times 150 \text{ km}^2$  のメソ  $\gamma$  スケールの集中観測領域が設定されている。梅雨期の異なる時・空間スケールの雲・降水システムの相互作用を理解するために、メソ  $\beta$ ,  $\alpha$  スケールの観測領域が  $\gamma$  スケール領域の外側に設定されている (Fig. 1参照)。メソ  $\beta$  スケール領域の境界は淮河流域内の高層観測網 (南京, 青島, 済南等) であり、約  $700 \times 500 \text{ km}^2$  の領域である。メソ  $\alpha$  スケール領域は E110-122, N28-40 であり、約  $1200 \times 1500 \text{ km}^2$  である。

淮河流域南部の山岳領域の水文・気象特性を得るために、Jiangji を下流端とする史灌流域 (流域面積  $5930 \text{ km}^2$ ) で水文観測が実施された。史灌流域の上流部には2つの大きなダム (梅山, 鮎魚山) があり、2つのダムの集水域は  $2894 \text{ km}^2$  である。

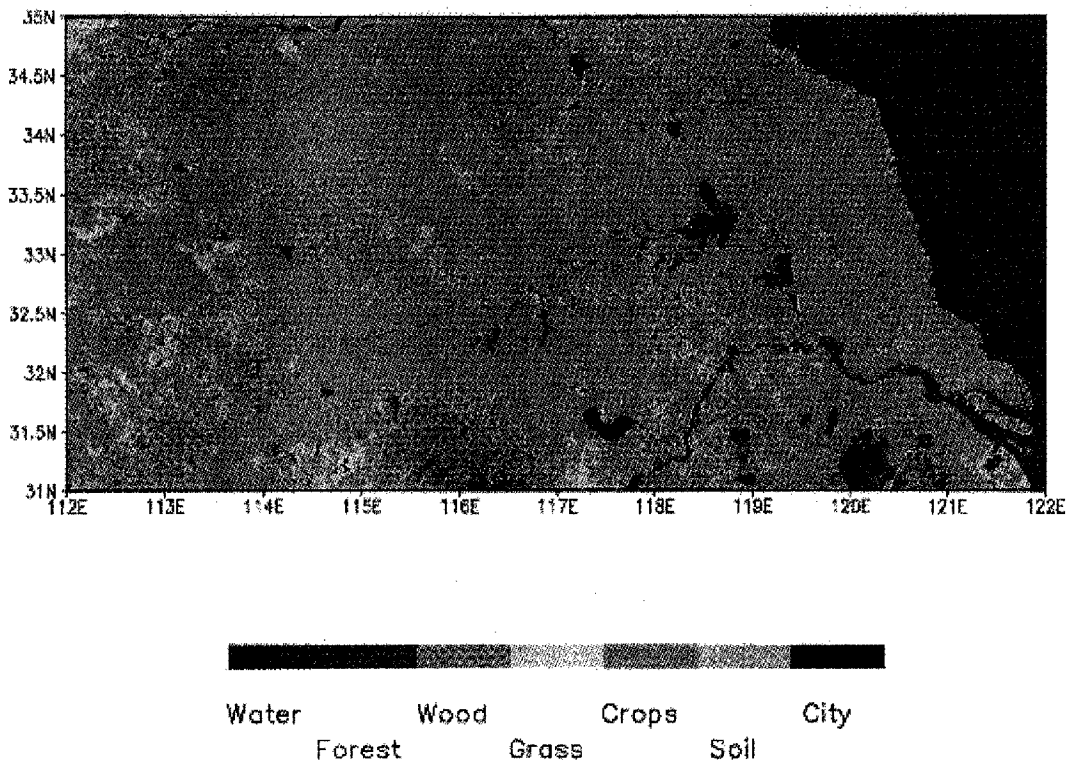


Fig. 4 Landuse of GAME/HUBEX region (from USGS Global Land 1KM AVHRR Project)

## 2.2 HUBEX の観測体制

地上気象観測点は16の省にまたがる150地点である。IFO期間(1998/5/1~8/31)には1日4回、IOP期間(1998/6/11~7/23)にはγスケール領域内の12地点で1日24回(毎時)観測が実施された。観測項目は気温、気圧、湿度、風向、風速、雨量、日照時間等の19要素である。さらにγ領域内に13の雨量計を増設し、毎時雨量データが取得された。

高層観測点は14の省にまたがる21地点である。IFO期間には1日2回、IOP期間には1日4回の観測が実施された。観測項目は気温、湿度、風向、風速、気圧の5要素である。

レーダー雨量観測は、既存の卓陽レーダに加えて、名古屋大学、北海道大学から3台のx-bandドップラーレーダを導入し(寿県、風台、淮南)、Dualでドップラーレーダ観測が実施された。

メソスケール雲・降水システムを観測するために、HUBEX領域のGMS-5(ひまわり)、FY-2(風雲2号、中国の衛星)、TRMM(熱帯降雨観測衛星)、NOAA-AVHRR等の衛星観測データが利用される。

史灌流域で実施された水文観測の内容は毎時雨量(48地点)、日蒸発量(3地点)、河川水位・流量(3地点、1日8回)、ダム放流量・貯水位(2地点、1日8回)日流量(7地点)、土壌水分(3地点、1日1回、6深度)で

ある。上流域では雨量計の密度は100km<sup>2</sup>に1台程度である。

γ領域の中心の寿県では、ドップラーレーダ観測、高精度放射観測、ボーエン比熱収支観測、マイクロ波放射計観測、境界層タワー観測等、総合的な観測が実施された。

## 2.3 フラックス観測

AAN(Asian AWS Network)計画のもと、長期フラックス観測ステーションとしてHUBEX集中観測点である寿県にGAME-PAMが1台配備される。AANは様々な気候帯における水・熱フラックスの日変化から年々変化までをターゲットとしており、HUBEXでは淮河流域の最も卓越した土地利用である水田地帯に設置された。しかし、この領域には土地利用が多様であるため、異なる土地利用条件での観測も必要となる。

京都大学の熱収支観測システム(KU-AWS)を用いて、水文試験流域である史灌流域で陸面過程の集中観測が実行された。この集中観測の主な目的は次の通りである。

1. 流域の熱・水蒸気フラックスの日変化、日々変化、季節変化を理解する
2. 陸面過程モデル(SiBUC)のパラメータセット

を各土地利用毎に調整する(キャリブレーション)

3. 衛星リモートセンシングのグラウンドトゥースデータを取得する

KU-AWSには多くの測器が組み込まれ、総合的な観測ができるが、HUBEX-IOPには1セットしか用意できない。したがって上記の目的を達成するために、それぞれの土地条件でシステムの設置、撤収、移動を繰り返す巡回移動観測という形態をとる。設置や輸送の時間を考慮すると、モデルのキャリブレーションに必要なデータを得るには各地点、各季節毎に少なくとも1週間の観測期間が必要となる。季節別に1週間と観測期間は短い、観測要素は陸面過程研究に必要な要素をほぼ全てカバーしている。巡回観

測のため、同時に各土地利用でのデータを取得することはできないが、全く同一の測器を用いるために、器差の影響がなく、土地利用間の熱収支特性の違いを明確に捉えることができる。

移動観測によりSiBUCモデルのキャリブレーションができれば、地上気象データをモデルに与えて各種土地利用のフラックスを計算できるので、この移動観測は4つのモニタリングステーションに匹敵するといえる。さらに、NOAA-AVHRRから求められた土地利用図(Fig. 4)を用いれば、SiBUCモデルを淮河流域全体に適用することができ、陸面からの熱・水蒸気フラックスの日変化、日々変化、季節変化の平均値や流域内の分布を計算することが可能になる(Fig. 3参照)。

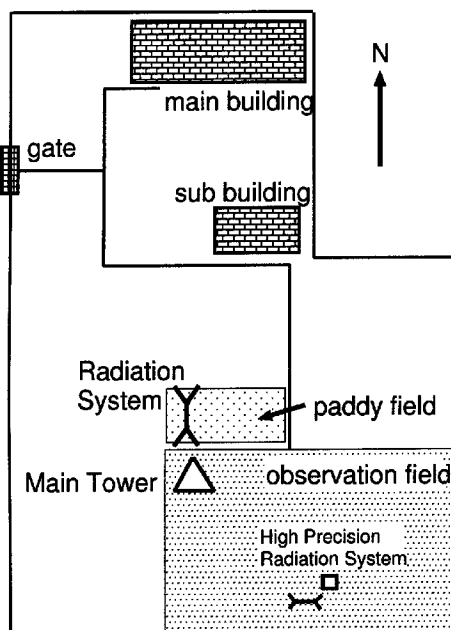


Fig. 5 Arrangement of GAME-PAM at Shouxian

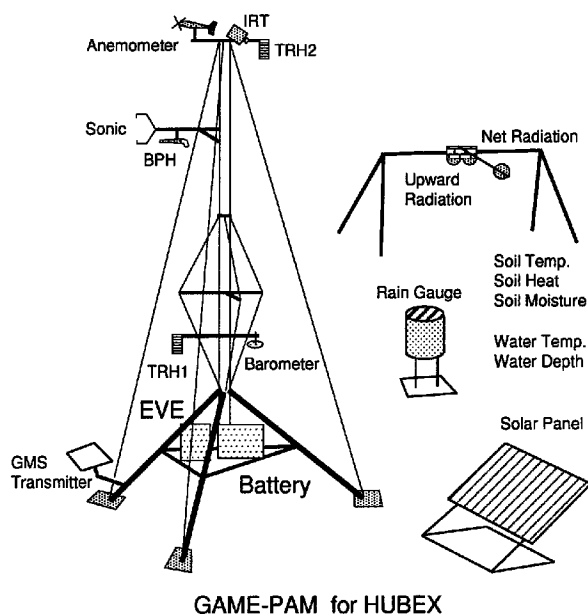


Fig. 6 GAME-PAM hardware and sensors for HUBEX

3. GAME-PAMによるフラックス長期観測

3.1 GAME-PAMの開発

PAM(Portable Automated Mesonet)は米国大気研究センター(NCAR)の大気技術部門(ATD)で開発された。Flux-PAMは一般気象要素(風、気温、湿度、気圧、日射、降水)だけでなく、運動量、顕熱、潜熱、純放射、地中熱も測定できるように設計されており、センサーの追加も可能である。Flux-PAMはどこにでも設置できるように、太陽電池とバッテリーを電源とし、静止気象衛星(GOES)を通じた実時間データ転送システムを備えている。またオンサイトでの

データ記録やオンラインでのデータ転送も可能である。

Flux-PAMはAAN計画の地上気象ステーションとして用いられる。Flux-PAMをGAME-AANの目的に合わせて改良されたものがGAME-PAMであり、土壌水分計(TDR)、放射温度計(IRT)、4成分放射システム、ポーエン比法のための温湿度センサー(TRH)が追加されている。衛星データ転送システムは日本のGMS(ひまわり)用に変更され、PCMCIAカードスロットの容量も増加された。

Table 1 Specification of GAME-PAM

component	note	sensor height
Tower Mast Tripod	1.5m extension	
3-legged Stand	1m Taller Stand	
PCMCIA Storage Capacity	40MB (2)	
Logger	Campbell CR10X (1)	
Charge Controller	Morning Star ProStar30	
PhotoVoltaic Panel	Solarex MSX64 (6)	
Prop/Vane Anemometer	R.M.Young 9101 (1)	11.5m
Hygrothermometer(TRH)	Vaisala 50Y (2)	3.4m, 11.0m
Eddy Flux Sonic	Gill R3A (1)	9.5m
BPH(Band-Pass Humid.)	Vaisala 50Y (1)	9.2m
Surface IRT(Tsfc)	Everest 4004.GL (1)	11.2m
Barometer	Vaisala PTB220 (1)	2.0m
Net Radiometer(Rnet)	REBs Q7 (1)	2.5m
Pyranometer(S↑)	Kipp & Zonnen (1)	2.5m
Pyrgeometer(L↑)	Eppley (1)	2.5m
Soil/water Temp.	REBs STP-1 (6)	1cm, 30cm, 60cm, 90cm
Soil Heat Flux	REBs HFT3.1 (2)	1cm, 5cm
Soil Moisture(TDR)	Campbell CS615 (4)	0-30, 30-60, 60-90, 90-120cm
Precip. Gauge	Belfort Tipping Bucket	surface
Water Depth(Wdepth)	Ikeda KWH-4PHT (1)	surface

### 3.2 GAME-PAM HUBEX(寿県)のスペック

HUBEX用のGAME-PAMは沓瀬原に設置するために特別に設計されている。寿県付近は度々洪水の被害にあっており、1991年には洪水水位は2mに達した。このような起こりうる洪水に備えるために、タワーマストの三脚と放射計台の脚の長さを1~1.5m伸ばした(Photo 3~5)。

この付近では積雪はほとんど見られないため、積雪深計は除き、重量式雨量計を普通の転倒マス雨量計に変えた。

PAMの設置場所は高精度放射システムの側なので、上向き放射だけを計測する。寿県気象台の周囲はほとんどが水田であるため、気象台内にも水田を作るように依頼した(もとは畑地)。放射計はこの水田の上に設置した(Fig. 5参照)。さらに、水田の水位と水温も計測される(Photo 4)。GAME-PAMのスペックをTable 1にまとめる。

### 3.3 GAME-PAMの設置

GAME-PAMは1998年3月10日に関西国際空港経由で日本に輸入された。PAMのハードウェア、ソフトウェアをチェックするために、PAMは京都大学(宇治キャンパス内)に4月7日まで設置された。この試

験観測を通じて、ハードウェアの問題点(ワイヤー、ボルト等)を見つけ、解決した。ソフトウェアに関しては、データ収録システム(EVE)がバッテリーの電圧低下により停止した。通常は、バッテリーが回復すればEVEは自動的に立ち上がり観測をするが、自動的に起動しなかった。この問題については時間がないため解決できなかった。

京都での試験観測の後、PAMは中国に輸送された。通関手続きのために我々は多くの書類を用意し、GAME-HUBEXの中国人スタッフや運送会社の人には大変お世話になった。ともかく、PAMは安徽省寿県気象台(E116.77, N32.58)まで無事輸送された。

HUBEX-IOP春季のフラックス観測期間中(1998/5/12~5/16)に、GAME-PAMの設置および立ち上げのために寿県を訪れた。PAMは気象台の南側に設置された(Fig. 5参照)。高精度放射システム(Photo 2)は同じフィールド内に位置している。大変な作業の末、GAME-PAMの全てのシステムを設置することができたが、EVEが起動しなかった。さらに、バッテリーボックスとEVEの間のケーブル接続を誤ったために、EVEのフロントパネルが破損した。従って、EVEをNCARまで送って修理した(戻ってきたのは

Table 2 Data format of GAME-PAM

FLUX (38 items)									
Uflag	Vflag	Wflag	Tcflag	Uavg	Vavg	Wavg	Tsavg	Tdavg	rhavg
mravg	UU	UV	UW	UTs	Umr	VV	VW	VTs	Vmr
WW	WTs	Wmr	TsTs	mrrmr	xlev	ylev	SATcnt	Wcnt	mrnt
Tscnt	beta	tau	quality	N	wq	wt	WQ		
Campbell CR10 (28 items)									
PYGinV	PSPinV	PYGinR	PYGin	PSPin	Tcase	Tdome	Tsoil1	Tsoil2	Tsoil3
Tsoil4	G1	G2	Rnet	Mois1	MoisT1	Mois2	MoisT2	Mois3	MoisT3
Mois4	MoisT4	Wdepth	Twater1	Twater2	Xlevel	Ylevel	Tsfc		
METEO (10 items)									
Pres	Tdry1	RH1	Tdry2	RH2	TIPrate	TIPtotal	WindU	WindV	Windmax
SYSTEM (22 items)									
BatAVG	BatMAX	BatMIN	CgAVG	CgMAX	LdAVG	LdMAX	BatT	visit	BoxT
Ver.	Wchdog	Cerr	Perr	TRH1err	TRH2err	SATerr	LGRerr	Winderr	Pid
TRH1id	TRH2id								

7月末)。

HUBEX-IOP 夏季のフラックス観測期間中(8/10-8/12)、寿県気象台にてEVEを取り付け、観測を開始した。各センサーからの出力値をチェックしたところ、wdepth, wtemp2, TDR, Y-level, SONIC, TRH2, IRTに問題があった。wtemp2, Y-levelはCR10プログラムのミスであった。結線を誤っているもの(wdepth), 断線(SONIC, IRT)によるものも解決した。TDRの値が大きめに出力されているが、これはCR10プログラムのパラメータ値が原因である。TRH2は故障していたため新しいものに取り替えた。これらの問題を解決した後、1998年8月12日から観測を開始した。

### 3.4 長期運用のためのGAME-PAM維持管理体制

GAME-PAMは水・熱フラックスの長期モニタリングのために導入された。観測を継続するには、維持管理作業が必要である。我々はこの地点を頻りに訪れることができないため、現地の人(中国人スタッフ)に維持管理作業を委託しなければならない。

現在EVEで収録されるデータはATAフラッシュメモリーカード(40MB)に記録されている。毎日0.3MBのデータができるので、4ヶ月分のデータを保存できる。しかし、データ損失の可能性を少なくするために、毎月メモリーカードを交換することになっている。

寿県気象台のスタッフには1週間毎のメンテナンス作業を依頼した。

#### 1週間毎のメンテナンス項目

- 放射計ドームをきれいに保つ
- CR10, TRHファン, SATの動作音を聴く

淮河水利委員会のスタッフには1ヶ月毎のメンテナンス作業を依頼した。さらに、トラブルが発生した場合には、水利委員会のスタッフが寿県に赴き、問題を解決する(対処法は日本から指示する)。

#### 1ヶ月毎のメンテナンス項目

- PCを使ってEVEと通信し、EVEが動作していることを確認する
- ATAフラッシュメモリーカードを交換し、日本へ郵送する
- 乾燥剤を交換する(EVE, CR10)
- ハードウェアチェック(ワイヤー, マスト, 放射台, ケーブル)
- 風速計のチェック
- 放射計のチェック(必要ならQ7のドーム交換)

我々は少なくとも1年に1回は現地に赴き、1年毎のメンテナンス作業を行なう。

#### 1年毎のメンテナンス項目

- バッテリーチェック(11Vなら交換する)
- TRHセンサーのキャリブレーション(交換)
- 風速計プロペラのベアリング交換
- シリカゲル交換(TRH, Q7, PIR)
- CPUボードの電池交換(3Vリチウム電池CR2032)
- 放射計のチェック(必要ならQ7のドーム交換)

### 3.5 データフォーマットとこれまでに収録されたデータ

EVEはTable 2に示した書式でデータを記録する。8月12日から観測を開始したが、これまでに様々なトラブルを経験し、連続してデータを取得することができなかった。

まず、PAMは8月26日に停止した。これは激しい雷雨が原因と考えられる。この降水イベントが過ぎた後、PAMは自動的に起動しなかった。寿県に立ち寄った9月4日にPAMを手動で(メインスイッチ)起動した。

次に、PAMは何らかの原因で9/5から10/26の間に停止した。この場合、メモリーカードに記録され

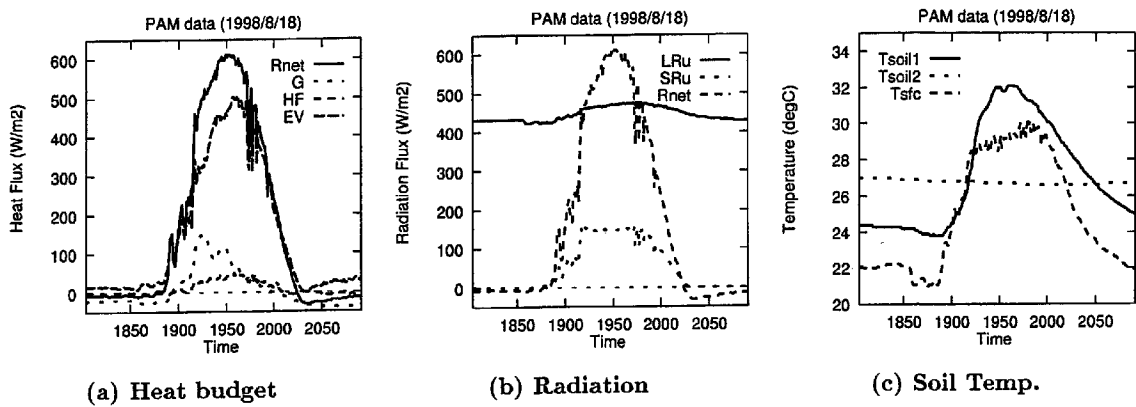


Fig. 7 Original(5min) data by GAME-PAM observed on 8/18

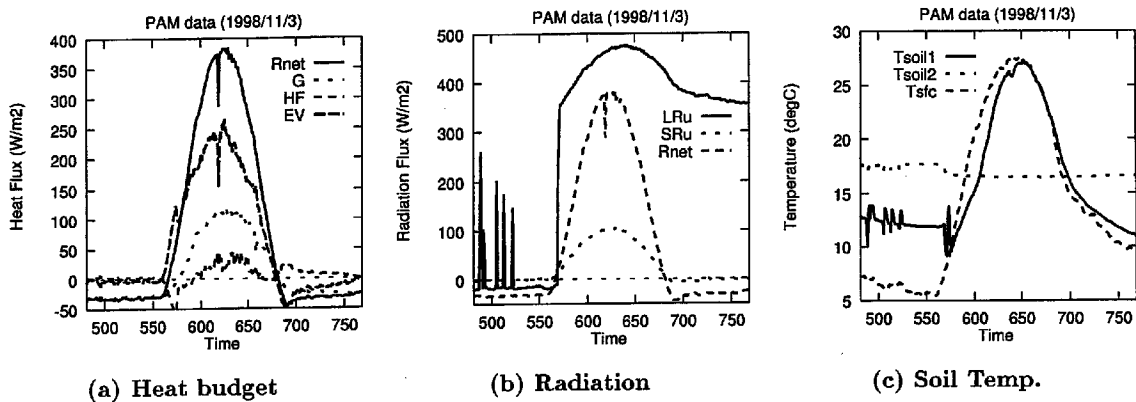


Fig. 8 Original(5min) data by GAME-PAM observed on 11/3

ていたはずのデータは全て消えてしまい、いつどのような理由で停止したのかを判断することができなかった。我々は10月26日に再び手でPAMを起動した。秋季のフラックス観測の期間中(1998/10/26-11/18)PAMは順調に動作した。

さらに、我々が日本へ帰った後、PAMは観測を続けていた。11月22日、何かの原因でEVEとCR10の間のヒューズが切れた。このため、CR10からの全てのデータが”NaN”として記録されている。水利委員会のスタッフは12月19日に(1ヶ月メンテのため)寿泉に行った時に始めてこの状況を知った。つまり、寿泉気象台のスタッフは彼らに委託された管理作業の内容を十分に理解しておらず、このトラブル(CR10の動作音がないこと)を水利委員会に報告しなかった。

水利委員会のスタッフは切れたヒューズを交換したが、またしばらくすると切れるという状況である。その後も現地スタッフに何度もヒューズの交換やデータの回収をしてもらっており、現地と情報の交換をしてPAMに何が起きているのかを推測し、いくつかの可能性を検討しているが、これまでのところ、まだ問題を解決できていない。

1998年度に取得したデータのリストは次の通りで

ある。

- 1998年夏季  
1998/08/11 9:50GMT~1998/08/26 1:05GMT
- 1998年秋季  
1998/10/26 7:15GMT~1998/11/18 8:10GMT
- 1998年秋季以後  
1998/11/19 0:00GMT~1998/12/19 2:55GMT  
(11/22以降はほとんどCR10は欠測)
- 1999年  
1999/01/08 0:00GMT~1999/01/26 2:55GMT  
1999/03/09 2:45GMT~

### 3.6 GAME-PAMからの結果

GAME-PAMの生データを解析処理した。Fig. 7とFig. 8はそれぞれ8月18日と11月3日の熱収支、放射、温度の観測値である。Fig. 8のLRuとTsoil1にエラーあるいは欠測(データが変動している)が見られる。これはケーブルにヒビが入っていたためである。夜間になると、露ができてLRuとTsoil1の値に影響を及ぼす。PIR(LRu)用の新しいケーブルを用意している(Tsoil1のケーブルは補修した)。

このように、観測データは必ずしも完全ではないので、これらの欠測値を補間するか書き換えなければ

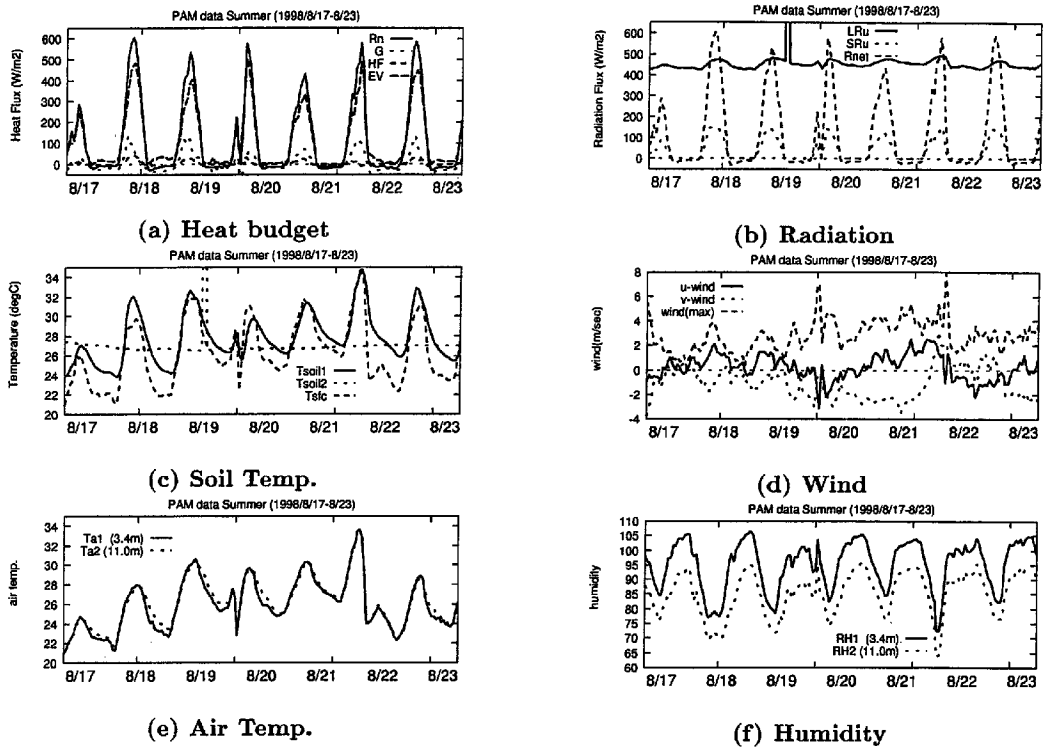


Fig. 9 Hourly averaged data by GAME-PAM observed in summer(8/17-8/23)

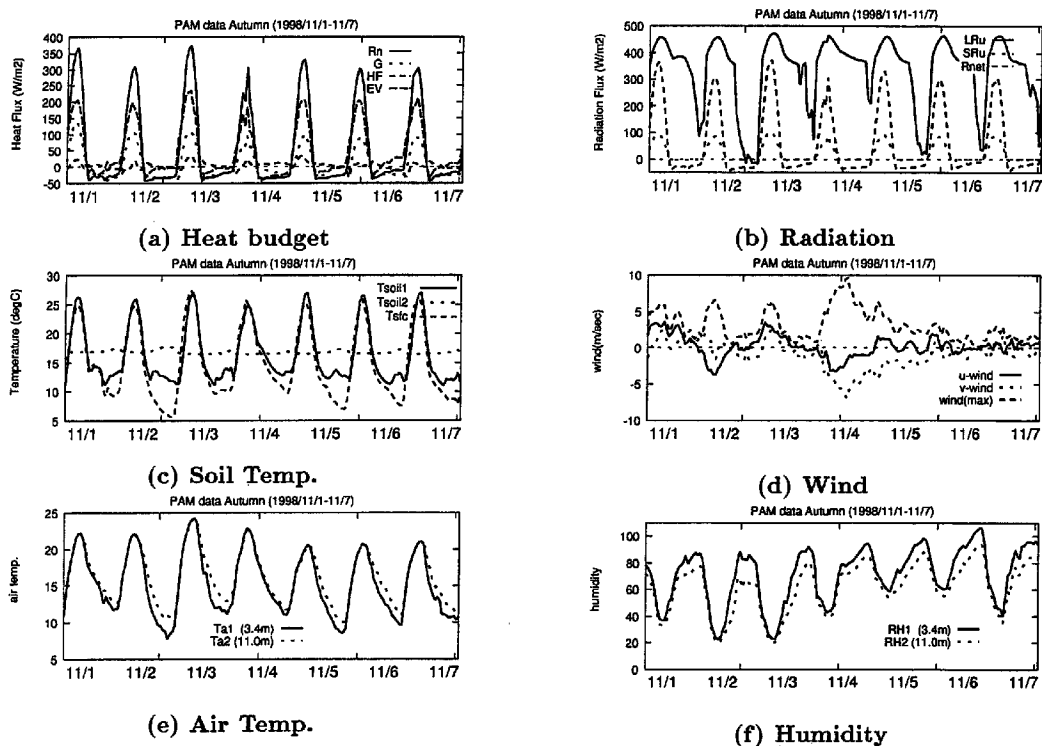


Fig. 10 Hourly averaged data by GAME-PAM observed in autumn(11/1-11/7)

ばならない。従って、科学研究や他の目的のために利用すべき'品質保証した'データを作り出すには多大な時間と労力を要することになる。

Fig. 9,10はそれぞれ夏季(8/17 - 8/23)と秋季

(11/1 - 11/7)の7日分のデータ(1時間平均値)である。PAMは水田のフラックスや気象要素の日変化をモニターしている。後述の移動観測における水田の結果と比較しても同様の熱収支特性を捉えているこ



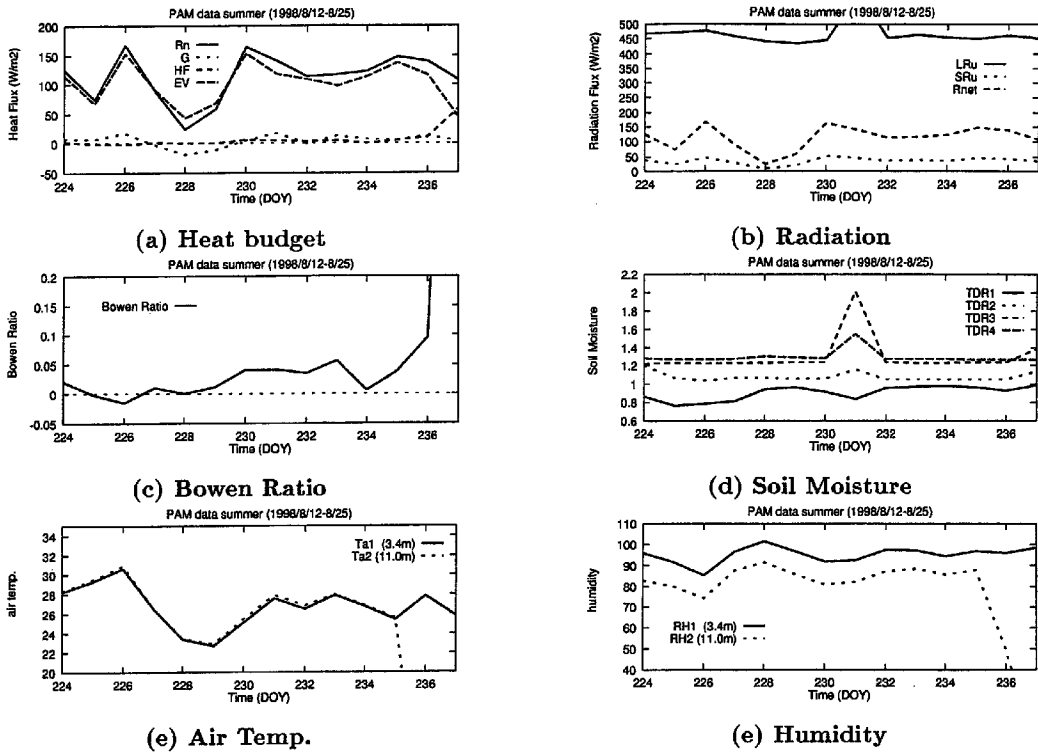


Fig. 11 Daily averaged data by GAME-PAM observed in summer(8/12-8/25)

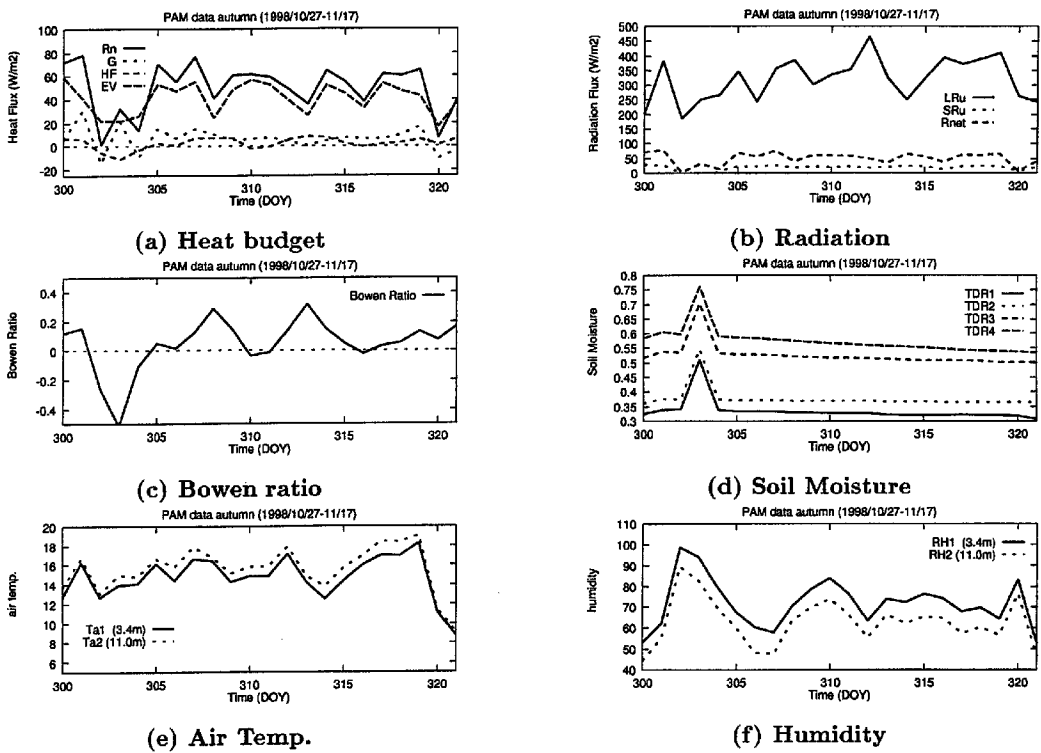


Fig. 12 Daily averaged data by GAME-PAM observed in autumn(10/27-11/17)

とがわかる。

Fig. 11,12 はそれぞれ夏季(8/12 - 8/25)と秋季(10/27 - 11/17)の日々変化(日平均値)を表している。8月の土壌水分の値が100%以上となっているが、

これは土壌水分計(TDR)のパラメータ設定値の問題である(生データを残しているので、再計算可能)。1999年度にはECメータで土壌の電気伝導度を計測し、正しいパラメータ値を設定する予定である。

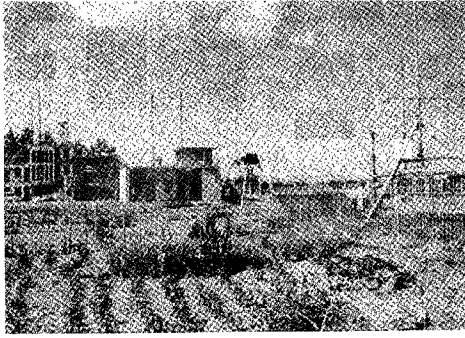


Photo 1 Shouxian Meteorological Observatory

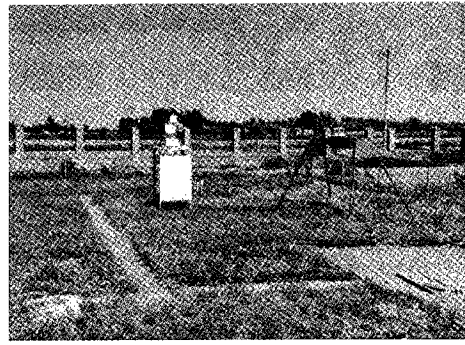


Photo 2 High precision radiation system

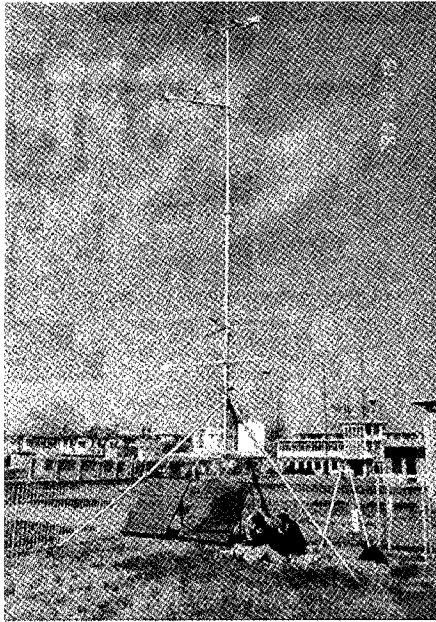


Photo 3 Main tower mast and control system

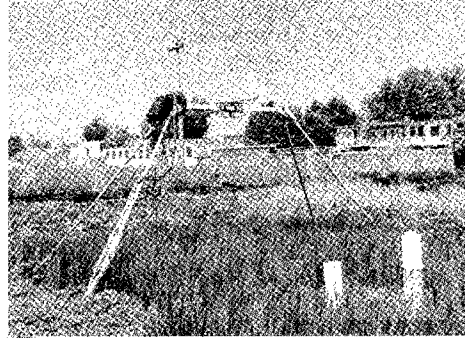


Photo 4 Radiation and soil observation system installed at paddy field

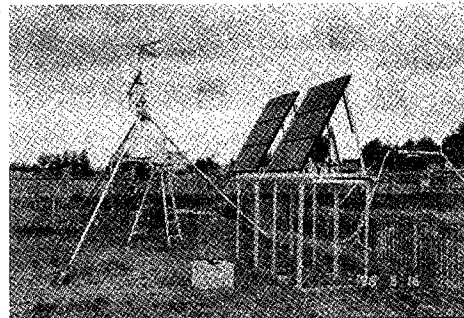


Photo 5 Longer legs and higher stand for flood protection

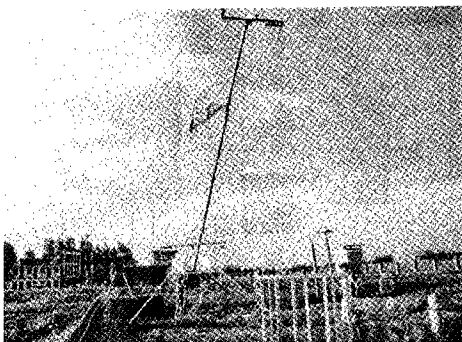


Photo 6 lowering tower mast for maintenance



Photo 7 Checking the status of PAM by Chinese staff

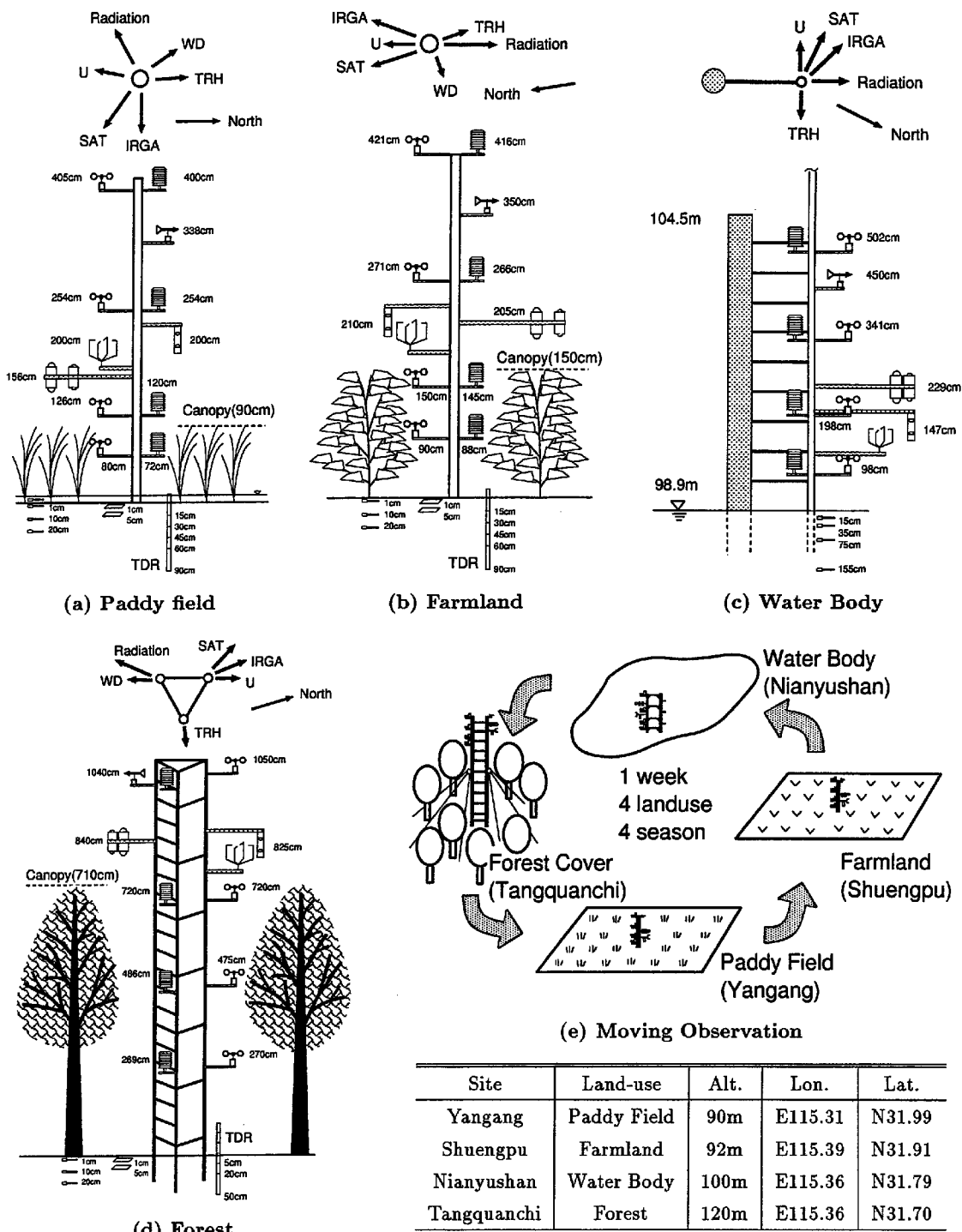


Fig. 13 Moving observation by KU-AWS in Shi-Guan Basin and sensor setting

#### 4. KU-AWSによる移動観測

##### 4.1 観測の概要

京都大学のフラックス観測システム (KU-AWS) を用いて、陸面過程の集中観測が史灌流域 (HUBEXの水文試験流域, Fig. 2) で実施された。観測項目と使用された測器は Table 3 にまとめられている。カイジョーの 3D-SAT (Photo 8) による乱流フラックス観

測も行なっている。これらの自動収録システムに加えて、IRT (Photo 11) と TDR (Photo 12) を用いてマニュアルで表面温度と土壌水分が計測されている。

電源には太陽電池とバッテリーを用いた。3D-SAT の AC100V を作るためにガソリン発電機も使用した。データロガーと処理装置、またガードマンのために 2 つのテントが使用された (Photo 10, 15)。湖面観

**Table 4** Daily average of heat budget at each land-use on sunny day

	Rn	H	LE	G
IOP-Spring(KU-AWS)				
paddy	163.4	60.5	63.0	40.0
farm	147.5	46.4	73.9	27.2
forest	203.7	105.7	82.1	15.9
IOP-Summer(KU-AWS)				
paddy	182.7	-15.8	187.0	11.5
farm	115.9	36.1	72.3	7.5
forest	160.1	74.7	74.1	11.3
water	183.7	9.9	74.4	99.4
IOP-Autumn(KU-AWS)				
paddy	6.9	-5.5	8.1	4.3
forest	92.0	-0.5	93.5	-0.9
water	34.5	-3.4	12.3	25.7

**Table 3** Observed items in KU-AWS

item	sensor
short-wave radiation	MS-42 (Eko)
long-wave radiation	MS-201 (Eko)
wind speed	A100R (Vector)
wind direction	W200 (Vector)
air temperature	HMP35A (Vaisala)
relative humidity	HMP35A (Vaisala)
air pressure	PTB100A (Vaisala)
surface temperature	BS-32T (OPTEX)
soil heat flux	MF-81 (Eko)
soil temperature	CL-P4-20

**Table 5** List of sensor height in HUBEX-IOP flux observation

	IOP-Spring			IOP-Summer				IOP-Autumn			
	farm	paddy	forest	paddy	farm	forest	lake	forest	paddy	farm	lake
Wdir	370	409	1125	390	378	960	500	1121	414	432	617
wind1	391	407	1123	390	395	1075	550	1070	409	402	600
wind2	293	267	730	230	230	720	405	723	232	266	444
wind3	158	142	490	135	165	435	230	480	140	139	269
wind4	87	80	332	90	97	203	100	237	78	69	130
TRH1	382	393	1130	390	395	1075	550	1087	407	402	575
TRH2	281	260	730	230	165	728	395	702	138	148	262
TRH3	150	137	332	130	90	435	120	387	80	68	130
3D-SAT	224	224	845	230	233	900	235	850	203	210	340
T <sub>cars</sub>	220	220	842	225	230	895	230	845	197	204	338
RAD(4)	218	169	836	180	187	832	150	785	152	168	276
IRT	—	205	870	190	265	855	320	728	190	215	303
Press	10	10	10	10	10	10	50	10	10	10	50
Canopy	150	33	710	130	165	710	—	710	—	150	—
Wdepth	—	10	—	20	—	—	—	—	—	—	—
T <sub>water1</sub>	—	5	—	10	5	5	-50	100	5	5	-50
T <sub>water2</sub>	—	5	—	10	5	5	-100	100	5	5	-100
T <sub>soil1</sub>	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	0
T <sub>soil2</sub>	-10	-10	-10	-10	-10	-10	0	-10	-10	-10	0
T <sub>soil3</sub>	-20	-20	-20	-20	-20	-20	0	-20	-20	-20	0
Hflux1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	—	-1	-1	-1	—
Hflux2	-5	-5	-5	-5	-5	-5	—	-5	-5	-5	—

測の場合には、作業足場として、またガードマンや測器のために複数のボートが使用された (Photo 9, 23, 24)。

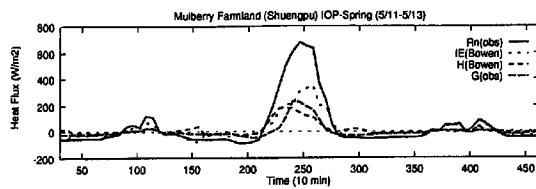
異なった地表条件 (水田, 畑地, 森林, 水体) のデータを取得するために、観測期間中 KU-AWS の設置と撤収を繰り返し、移動して観測を行なった (Fig. 13参照)。淮河流域の熱・水フラックスの季節変化を明らかにするために、淮河流域の協力ののもと、我々は

この移動観測を春季 (5/6-6/4), 夏季 (8/3-9/5), 秋季 (10/23-11/21) の 3 回実施した (Photo 13-25 参照)。

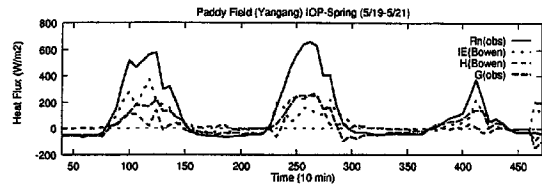
#### 4.2 観測サイト

淮河水利委員会 (HRC) と鮎魚山ダム管理局 (NRAB) の協力のもと、HUBEX の水文試験流域である史灌流域の西部に 4 つの異なる土地利用においてフラックス観測サイトを選定した (Fig. 2参照)。

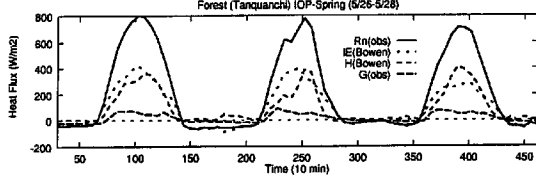
水田の観測サイトはヤンカン (Yangang) 村に設定



(a) Farmland (98/5/11-5/13)

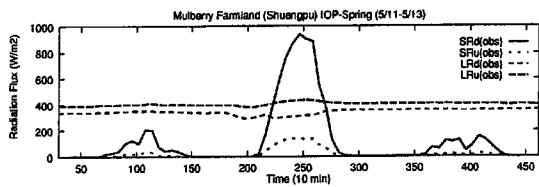


(b) Paddy Field (98/5/19-5/21)

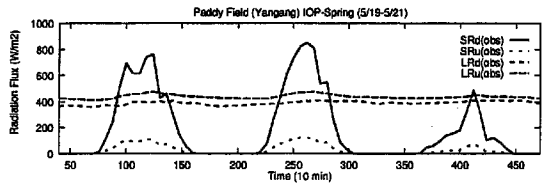


(c) Forest (98/5/26-5/28)

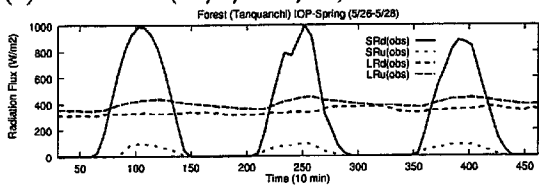
### Heat budget at each landuse



(e) Farmland (98/5/11-5/13)

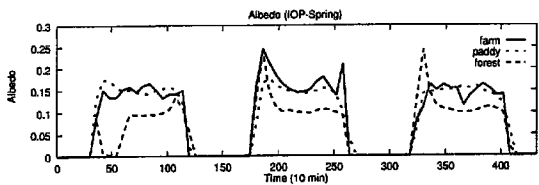


(f) Paddy Field (98/5/19-5/21)

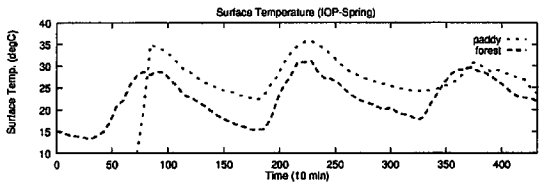


(g) Forest (98/5/26-5/28)

### Radiation budget at each landuse



(i) Albedo at each landuse



(j) Surface Temp. at each landuse

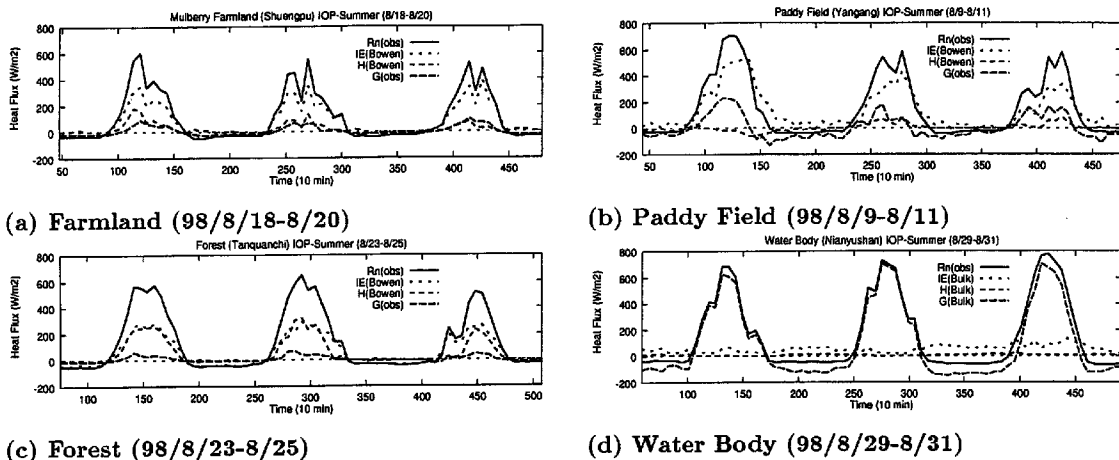
Fig. 14 Results from IOP-Spring observation

された。ヤンカンは灌がい水路が発達しており、この付近は大部分が水田(冬は小麦畑)である。畑地の観測サイトはシェンプ(Shuengpu)村に設定された。シャンプも灌がい水路が発達しており、この付近には多くの野菜や穀物の畑が広がっている。中でも面積比率が高い桑畑を観測サイトとした。水田と畑地の観測では鉄パイプ(長さ4.3m)を観測ポールとして使用した。

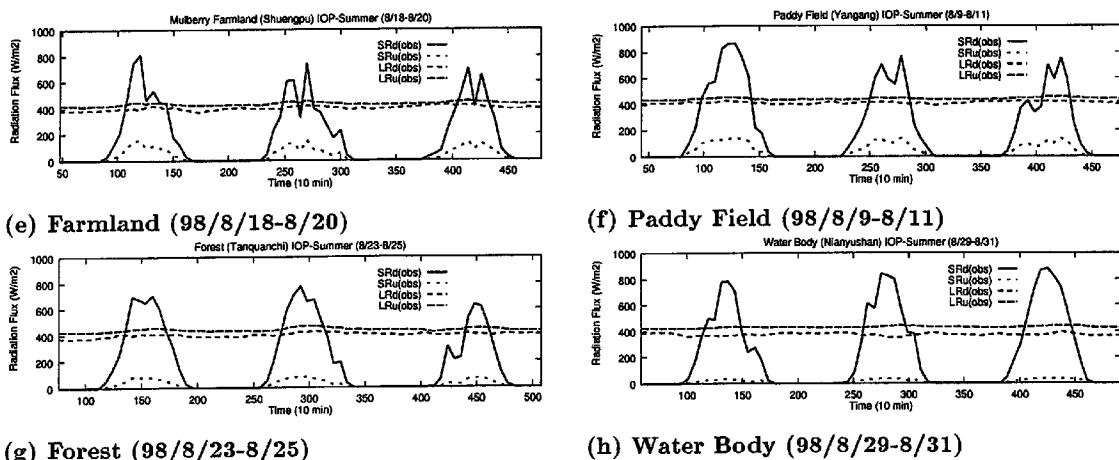
水体の観測サイトは灌漑流域内の2つの大きなダムの中の1つである鮎魚山(Nianyushan)ダムの中である。ダムの堤体は北向きである。水位が変化するダムの

中で観測するためには、水位の変動幅よりも長いタワーを用意しなければならない。水体のタワーは、湖底に打ち込まれたコンクリート柱(長さ12m)に鉄パイプ(長さ20m)を固定した構造になっており(Fig. 13(c)参照)、この鉄パイプの上端はダムの最高水位よりも高い。

森林の観測サイトは湯泉池(Tangquanchi)村である。湯泉池は鮎魚山ダムの上流の山間部に位置する。観測サイトの周辺は主に松林である。観測測器は森林キャノピーの上と内部に設置すべきである。3本の鉄パイプ(長さ12m)を互いに短いパイプ(50cm)



Heat Budget at each landuse(IOP-Summer)



Radiation budget at each landuse(IOP-Summer)

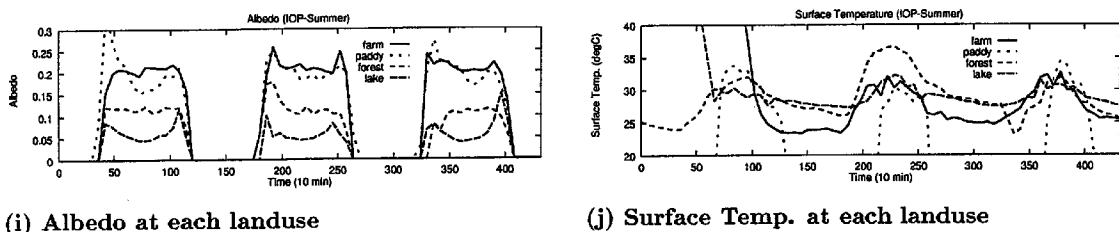


Fig. 15 Results from IOP-Summer observation

で固定しての森林観測用タワーが建設された (Fig. 13(d) 参照)。このタワーの上端はキャノピーより4m程度高く、2人がタワー上で作業できるほどタワーは丈夫である。

移動観測から、各種土地利用の特徴的な熱収支が得られた。センサーの取り付け高度やキャノピー高さを Table 5にまとめて示す。

晴天日の各土地利用の熱収支の日平均値を Table 4に示す。

Fig. 18は各種土地利用別、季節別の日中(6時から18時)の温位( $\theta$ )と比湿( $q$ )の日変化を示す。春に

は3つの土地利用間でプロファイルが大きく違う。それに対して、夏と秋にはこれら3つの土地利用(植生面)ではそれほど差は見られないが、湖面だけは他の3つとは異なる。

#### 4.3 IOP-Springの結果

IOP春季観測では、天候が悪く、日程は当初の予定から大幅に変更された。雨の中でKU-AWSを設置するには多大な時間を要した。ダム水位が非常に高く危険なことから、時間が十分でないことの2つの理由により、我々は湖面での観測を断念した。し

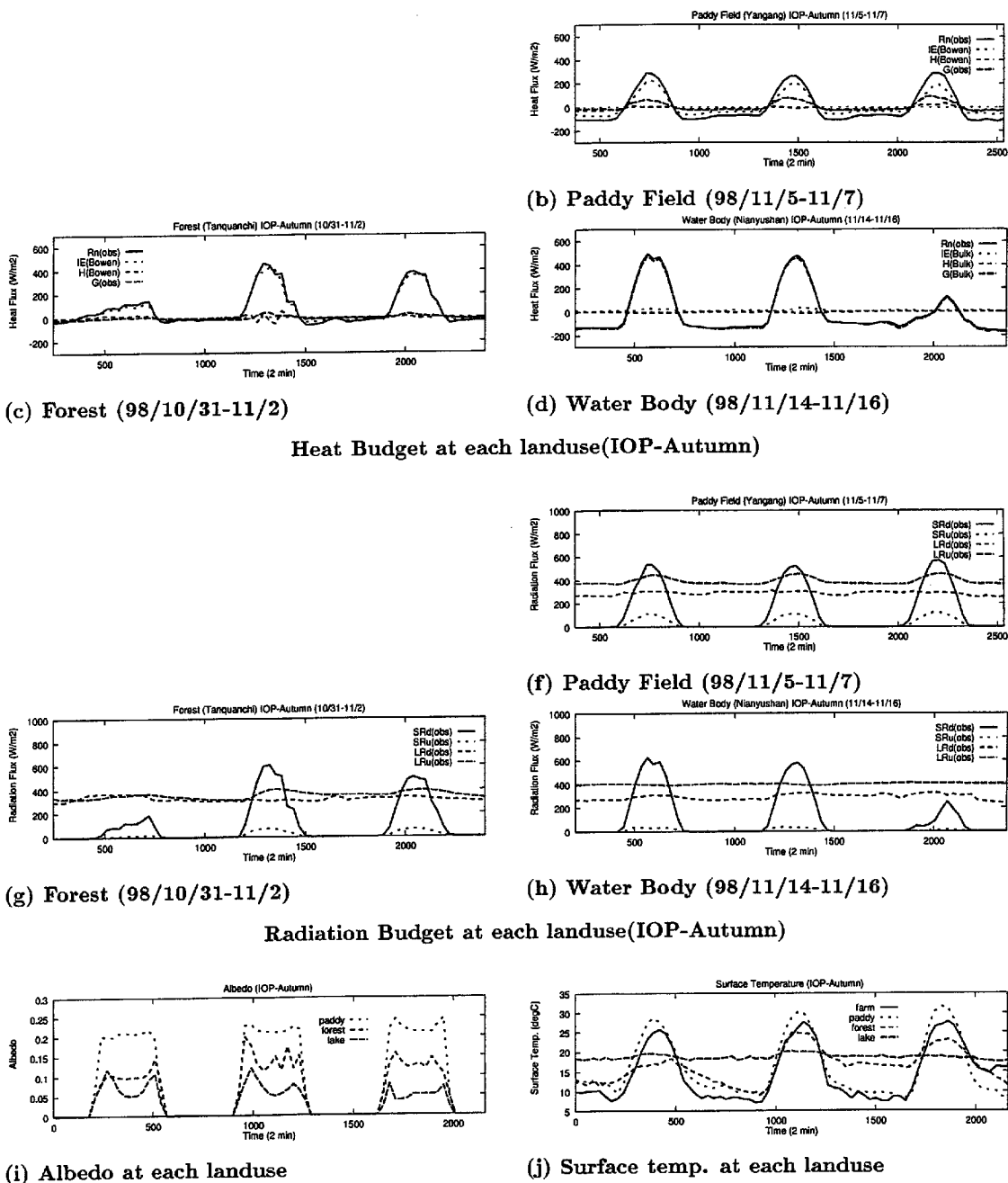


Fig. 16 Results from IOP-Autumn observation

かし、我々は何とか3地点、畑地(5/11-5/18)、水田(5/18-5/24)、森林(5/25-5/29)のデータを取得した。

Fig. 14(a)~(j)はそれぞれ各種土地利用の熱収支、放射収支、アルベド、表面温度の日変化である。潜熱と顕熱はボーエン比熱収支法で計算されている。

畑地の観測ではほとんど天気にならず、雨または曇りのデータが多くなった。天気によらず、アルベドはほぼ0.15程度である。水田は田植え直後であり、ほぼ浅い水面のような条件である。熱収支の比は日により多少差があるが、顕熱、潜熱、地中熱がほぼ同じオーダーであることが特徴的である。森林では

アルベドは0.1程度と小さい。潜熱と顕熱は同定度であり、地中熱は小さい。

#### 4.4 IOP-Summerの結果

IOP夏季観測では、天候は比較的順調であった。したがって、我々はほぼ予定通りに観測を実施することができた。我々は4地点、水田(8/8-8/15)、畑地(8/17-8/21)、森林(8/22-8/27)、水体(8/28-9/1)のデータを取得した。

Fig. 15(a)~(j)はそれぞれ各種土地利用の熱収支、放射収支、アルベド、表面温度の日変化である。

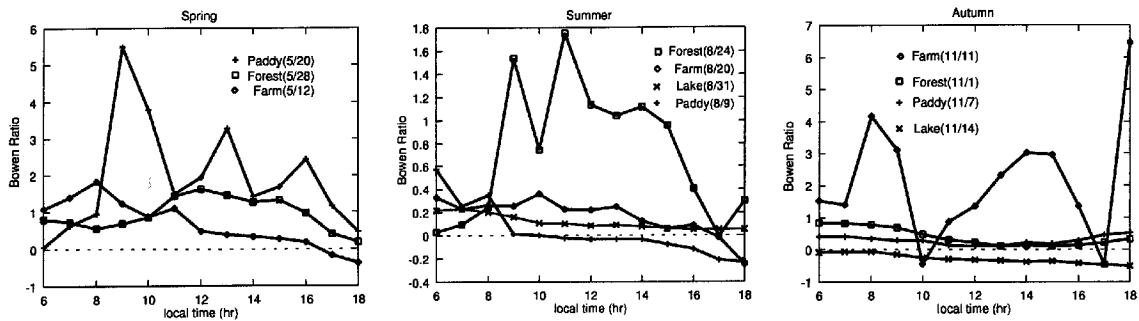


Fig. 17 Daytime diurnal cycle of Bowen ratio at each landuse from 0600 to 1800 LST.

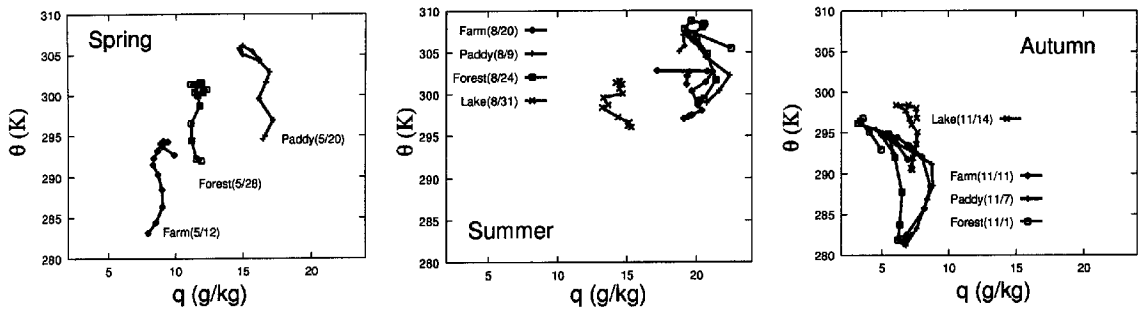


Fig. 18 Daytime diurnal cycle of potential temperature ( $\theta$ ) and specific humidity ( $q$ ) from 0600 to 1800 LST.

畑地では純放射の大部分が潜熱と顕熱になる。この流域では灌がい水路が整備されており、土壌水分が比較的多いため、ボーエン比は小さくなっている(0.3程度)。森林では潜熱と顕熱はほぼ等しい。

水田では純放射の大部分が潜熱として放出される。また貯熱項(水と土への貯熱)は熱収支の日変化において重要となる。午前中から日中にかけて純放射エネルギーの大きな割合が貯熱項となる。この貯熱されたエネルギーは水面からの蒸発に利用され、夕方から夜にかけて純放射よりも潜熱が大きくなる。水田では水温も比較的大きく変化するので、水への貯熱は水温変化と水深と比熱の積で計算される。したがって、水田の熱収支を正確に観測する上で、水温と水深は不可欠となる。

水体では気象条件と熱収支特性は他の土地利用とは大きく異なる。観測サイトは湖岸に近いので、晴天日には湖陸風(昼は湖風、夜は陸風)が明瞭に現れる。深夜でも気温は比較的暖かいので、湿度は90%以下である。純放射の大部分は水中に貯熱されるので、水体の観測において、最も重要なのはいかに貯熱項を推定するかである。KU-AWSでは水面温度を放射温度計で、水温プロファイルを水温計で計測しているが、水温の変化はそれほど小さくなく(計測精度の範囲内)、温度変化から貯熱項を見積もるのは(日変化レベルでは)非常に困難である。そこで、水体については、潜熱と顕熱の計算にはバルク法(バ

ルク係数0.001)を用いて、貯熱項は熱収支の残差から推定している。

水田と水体ではアルベドの日変化が明瞭であるが、森林や畑ではそれほど明確ではなく、ほぼ一定である。キャノピーを構成している葉の分布形態が稲では水平的な分布を、畑や森林では球面的な分布をしているためにこのようにアルベドの太陽高度への依存性に違いが表れる。湖のアルベドは非常に小さく(0.1以下)、日中の表面温度も低いので、純放射は非常に大きくなる( $800\text{W}/\text{m}^2$ )。

#### 4.5 IOP-Autumnの結果

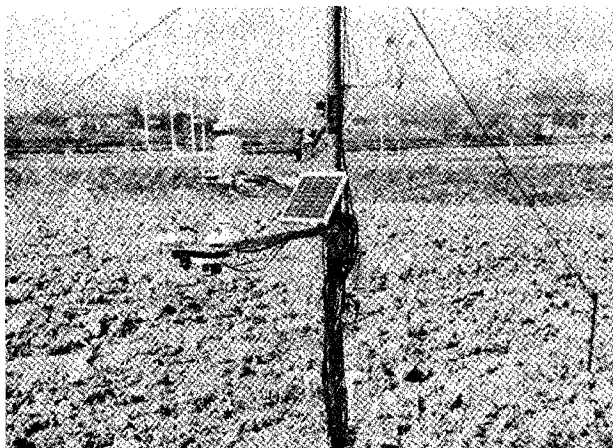
IOP 秋季観測でも、我々は4地点、森林(10/30-11/3)、水田(11/4-11/8)、畑地(11/8-11/13)、水体(11/13-11/17)、のデータを取得した。しかし、データロガーのトラブルのため、畑地の放射および土壌関連のデータは欠測となった。

Fig. 16(a)~(j)はそれぞれ各種土地利用の熱収支、放射収支、アルベド、表面温度の日変化である。

秋季になっても水体からの蒸発量はまだそれほど大きくない。これはまだ日中に周辺域の温度が高いためである。さらに季節進行して周囲の土壌が乾燥し、温度が下がれば、夏季に蓄えたエネルギーを解放することが予想される。

このように季節別に数日程度の観測だけでは、日変化よりも長い時間スケールの現象が卓越する水体の熱収支の特性を十分に理解することは難しい。





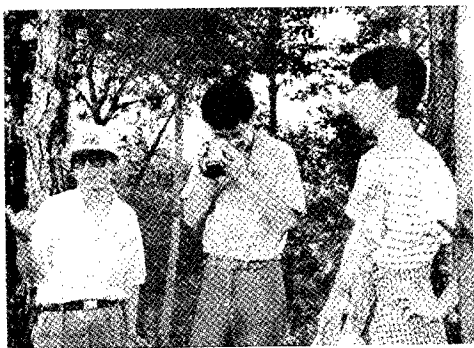
**Photo 8** Sensors in KU-AWS



**Photo 9** Instruments and data logger inside boat



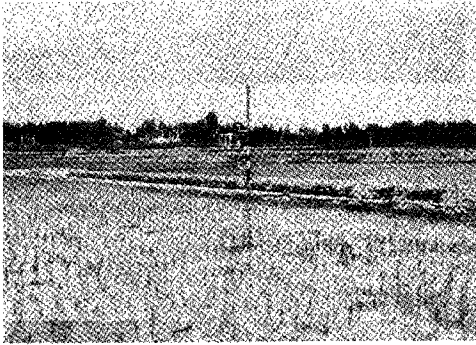
**Photo 10** Instruments and data logger inside tent



**Photo 11** Observation of surface temp. by IRT



**Photo 12** Observation of soil moisture by TDR



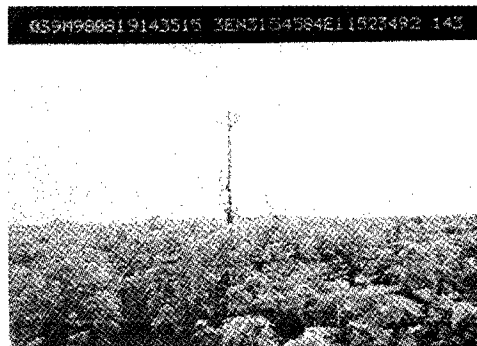
**Photo 13** Paddy field observation in spring



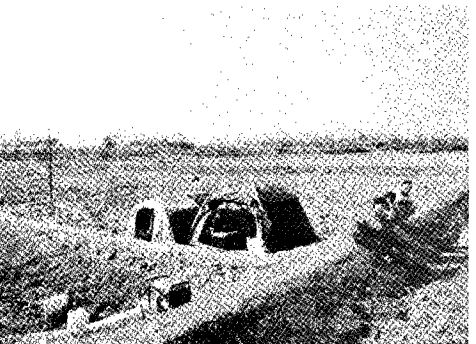
**Photo 16** Farmland observation in spring



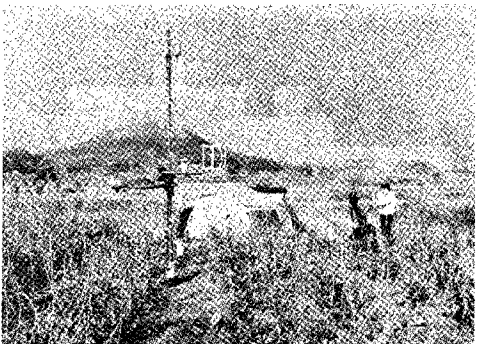
**Photo 14** Paddy field observation in summer



**Photo 17** Farmland observation in summer



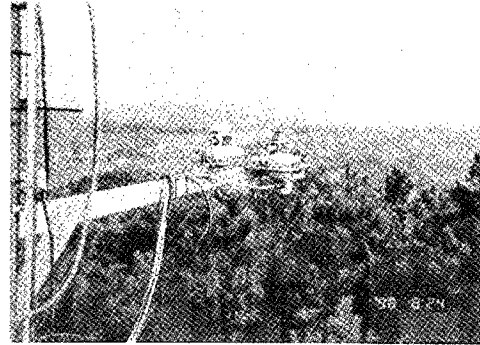
**Photo 15** Paddy field observation in autumn



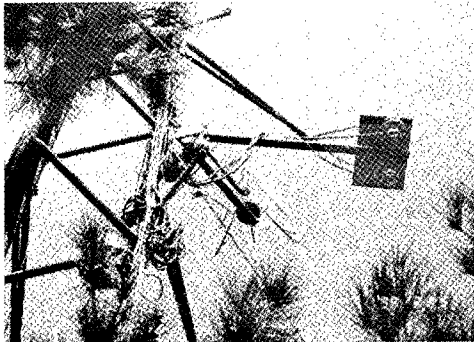
**Photo 18** Farmland observation in autumn



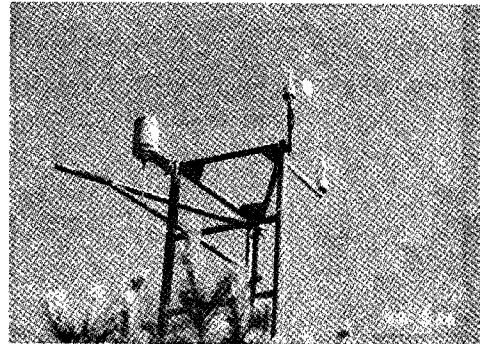
**Photo 19** Forest observation tower and sensors



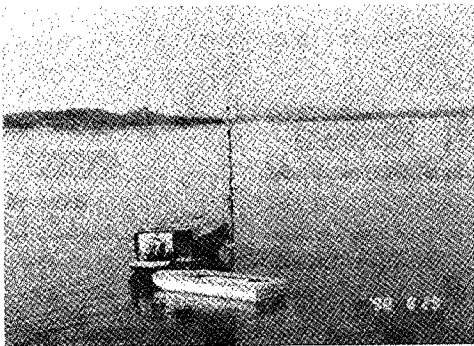
**Photo 20** Pine forest and 4 comp. radiation system



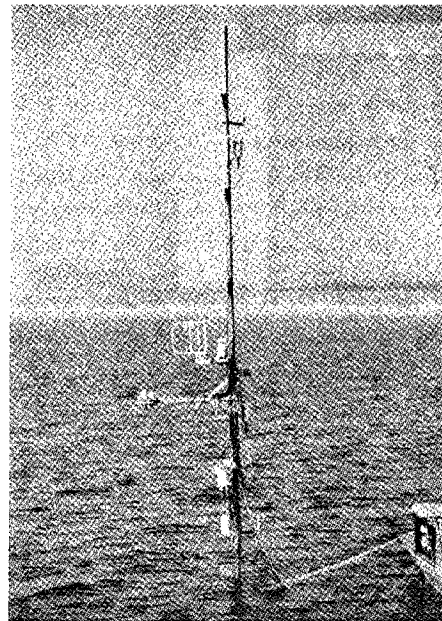
**Photo 21** Sensors above forest canopy



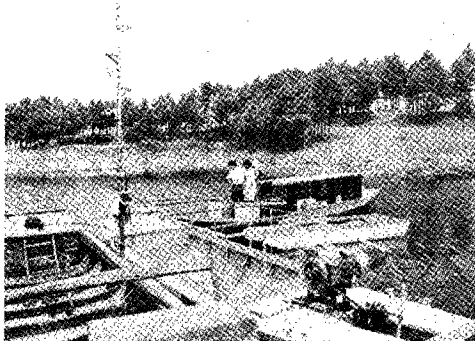
**Photo 22** Sensors on the top of forest tower



**Photo 23** Observation in the lake



**Photo 25** Lake observation tower and sensors



**Photo 24** Boat for foothold during installation

## 5. 結論

本報では1998年にGAME/HUBEXで実施されたフラックス観測の計画, 実施内容, データ取得状況などを報告した。

GAME-AANの下, 長期観測をターゲットとしたGAME-PAMによる観測は8月12日に開始したが, 欠測を多く出した。本年度はPAMの問題を早急に解決し, 連続観測を成功させたい。

水文試験流域である史灌流域では土地利用間の熱収支特性の違いをターゲットとしたフラックス移動観測を春季, 夏季, 秋季に実施した。

1999年度にも引き続きHUBEX-IOPは計画されている(1999/6/20~7/20)。我々はフラックス集中観測を計画しているが, 今度は移動観測ではなく, 畑地にKU-AWSを設置して, レーダー観測と同期させる。また秋にはPAMにGMS送信器を取り付け, GMSによるデータ転送を実現したい。

## 参考文献

池淵周一・田中賢治(1994): 都市域・水体をも考慮した蒸発散モデルの構築とその琵琶湖流域への適用, 京大防災年報, 第37号,b-1, pp299-313.

小池俊雄(1997): GAMEプロジェクト-アジア域の水資源管理における意義-, 河川, 1997年2月号, pp.14-19.

武田喬男・坪木和久(1996): モンスーンアジア地域のエネルギー・水循環のプロセス解明-亜熱帯・温帯モンスーン地域観測研究計画(中国淮河流域観測計画), GAME Publication No.1.

田中賢治・中北英一・池淵周一(1998): 琵琶湖プロジェクトの陸面過程モデリング, 水工学論文集, 第42巻.

安成哲三(1996): GEWEX第1回水文気象パネル(GHP)出席報告, 天気, No.43, 1月号.

Takeda, T.(1998): Preliminary Research Report on Japanese GAME/HUBEX, GAME Publication No.9.

## Quick Report of Heat/Water Flux Observation in GAME/HUBEX-IOP

Kenji TANAKA\*, Michiharu SHIIBA\*, and Shuichi IKEBUCHI

\*Faculty of Engineering, Kyoto University

### Synopsis

This study is an summary report of flux observation in GAME/HUBEX. Intensified observation of land surface processes was carried out in Shi-Guan Basin by using the flux observation system of Kyoto University(KU-AWS). To get the data from different landuse condition, KU-AWS was installed and removed from place to place during observation period. This moving observation was carried out in three season, Spring(5/6-6/4), Summer(8/3-9.5), and Autumn(10/23-11/21).

GAME-PAM was installed at Shouxian Meteorological Bureau under the program of GAME-AAN(Asian AWS Network). GAME-PAM started observation from 12th August 1998. Because of several kinds of trouble, PAM stopped observation. Now we are trying to fix all problems for continuous observation.

**Keywords :** GAME/HUBEX, land-surface process, heat/water flux, landuse, moving observation