

## 熱・水収支部門における研究(1977~1983年度)

吉野 正敏\*・古藤田一雄\*・中川 慎治\*・山下 孔二\*

筑波大学水理実験センターの熱・水収支実験圃場は、1975年度より整備が開始され、1977年度には観測システムが完成した。これに伴い、1977年7月からシステムの運用試験を兼ねた準ルーチン観測が実施され、1978年4月より本格的なルーチン観測が開始された(古藤田ほか、1978)。この時の観測システムでは、デジタルデータ収録装置によってAD変換されたデータを磁気テープに記録し、この磁気テープを大型計算機によって処理するというオフライン方式がとられていた。しかし、長期間の観測データの集録・保存・解析のためには、このオフライン方式は不便であるので、オンライン・リアルタイム処理方式のデータ集録装置(気象日報作成装置)を開発し、1981年6月より継続観測を行っている(古藤田ほか、1983)。なお、ルーチン観測データの一部は、「熱収支・水収支観測資料(1) 1977.8-1979.3」として公

表済である。

上記のルーチン観測のほか、熱・水収支の諸過程に関する種々の研究が、実験圃場をはじめとする当センターの施設を利用して行われてきた。ここでは、現在までに得られた研究成果の概要を記すとともに、今後の研究課題を示すことにする。

### 熱・水収支研究の課題

地表面で行われる熱エネルギーと水の交換過程は、地表面付近の環境条件を規定し、人間生活に大きな影響を与えている。したがって、これらの交換過程の解明は、地球上の自然環境や人間活動の地域性を理解し、人間活動が自然環境に与える影響を評価していく上で極めて重要である。また、熱エネルギーの交換過程(熱収支)は、蒸発過程によって水の交換過程(水収支)と密接に関連しているため、熱収支と水収支を切り離して考

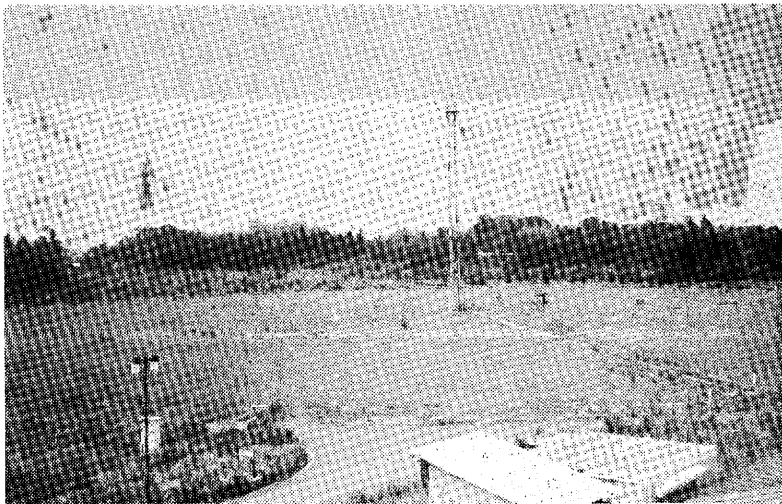


図1 水理実験センター圃場

\* 筑波大学水理実験センター

第1表 熱水収支に関する研究課題

	課題番号	主要課題	主要施設
熱収支	No. 1	接地境界層の構造 熱収支	圃場・観測铁塔 圃場
	No. 2		
水収支	No. 3	蒸発散 不飽和帯の水移動 平坦地の水収支	圃場・アカマツ林 圃場・野外土槽・実験室 圃場
	No. 4		
	No. 5		
今後の課題	No. 6	広域熱収支・水収支 傾斜地の水移動	大気境界層観測システム(計画中) 実験室(鉛直2次元)(計画中)
	No. 7		

えることはできない。

熱収支と水収支に関する諸過程は非常に多岐にわたり、しかも、それぞれが複雑に関係し合っている。これまでに、熱・水収支の諸過程の一部を取り扱った研究は非常に多いが、熱収支と水収支を総合的に捉える試みはほとんど行われてこなかった。水理実験センターの実験圃場では、熱収支と水収支の実態を、総合的な長期観測によって明らかにし、物質とエネルギー交換の諸過程を定量的に解明することを目的として観測が行われている。この目的を達成するため、当センターでは、熱・水収支に関与する諸過程の測定が、すべて独立の測器によって行われている。このための特別の測器として、超音波風速温度計とウェイングラインメータが建設された。

上記の目的に基づくルーチン観測の他に、熱・水収支の諸過程の解明を目標とした多くの研究が当センターで行われている。これらの研究の課題は、第1表にあげた課題 No. 1~No. 5 にまとめられる。以下、これらの各課題に関して行われた研究の内容・成果について述べる。

### 熱収支

地表面付近のエネルギー交換の諸過程を解明するための研究は、主に接地境界層の構造に関するものと、熱収支の顕熱や正味放射量等の評価に関するものが行われてきた。前者に関しては、地表から30mの高さまでに設置された超音波風速温度計による3次元の風速変動の測定結果に基づき、まず、乱流特性の研究がなされ、乱流統計量(乱

流強度・乱流輸送量・スペクトル)の分布と測定高度・平均風速・大気安定度との関係が求められ(甲斐, 1981), さらに、乱流エネルギー収支式の各項を評価し、乱流エネルギー収支モデルが導かれた(Kai, 1982 a, b)。また、甲斐(1982)は台風通過に伴う気象要素の変化の観測から、強風時の乱流特性が、従来の研究で得られた実験式を適用して推定できることも明らかにしている。

一方、運動量輸送量や熱収支を空気力学的に推定するため、接地境界層の風速プロファイルの解析結果から、粗度長・地面修正量および植被高の相互関係の検討が行われ(古藤田, 1979: Kotoda, 1979), 牧草群落上で得た新しい形の拡散係数が提案され3者の説明がなされた。林(1979 a)は、中立状態のもとで、摩擦速度に対する粗度長と地面修正量の関係を、実測と理論とから比較検討し、植被の種類により多少異なるものの、粗度長と地面修正量が摩擦速度に対して独自に変化すること、さらに複雑な群落モデルに適応できる植物群落内部の風速プロファイルの新たな数値解を提示し、その有効性を明らかにした(林, 1980)。

また、牧草の植被高度における摩擦速度に対する風速の比と、粗度長および地面修正量の関係について論じ、渦拡散係数中のパラメータの最適係数を求めて、他の植種の例と対比し(林・古藤田, 1980), さらに群落の総抵抗係数や植被高度を考慮し、様々な植物群落にも適用できる風速分布パラメータ関係式を示した(古藤田・林, 1980)。植被上の空気力学的特性については Hayashi (1980) にまとめられている。

熱収支に関する研究では、顕熱輸送について渦相関法と傾度法の比較検討がなされ、輸送係数や拡散速度の値が、強制対流と自由対流の遷移領域で、風速や安定度によって著しく変化することが明らかにされた(古藤田, 1978)。他方、放射フラックスと風速が、接地気層の成層状態に及ぼす影響についての考察がなされ、平均風速と正味放射量を用いた安定度の推定の可能性が示された(林, 1979b)。また、気温変化に及ぼす正味放射と顕熱の効果についての考察(寄崎ほか, 1983)では、日中と夜間とでその影響の大きさが異なることが明らかにされ、小泉隆(1983)は、日中の気層の加熱・冷却が、地表面の顕熱フラックスの増減に必ずしも対応しないことを示す測定結果を示している。また、低温と接地逆転層の発達についての考察で、吉野(1982)は、異常低温出現日に顕熱フラックスの寄与が大きいことを推定している。この他、接地逆転に関連して、寒候期の接地逆転の特性を統計的に調べた寄崎ほか(1982)の研究では、接地逆転の形成と風速および正味放射との関係が示された。また、接地逆転形成時における気温と風の微細構造(波動)の解析も行なわれた(甲斐, 1983)。

以上の研究に付随して、測定方法やデータ処理等に関する研究(古藤田ほか, 1978; 甲斐, 1978; 林・古藤田, 1979; 林・黄, 1981)や測定装置の製作(小島ほか, 1983; 寄崎・古藤田, 1983)等が行われている。また、ルーチン観測データの蓄積に伴って、気象要素の長周期変動に関する研究も甲斐(1984a, b)によって始められた。

## 水収支

水収支に関する研究は、蒸発散、不飽和帯中の水分移動、平坦地の水収支の各課題について行われてきた。

蒸発散は地表面付近の自然環境を決定する重要な因子の1つであるが、技術的・経済的制約のため、自然条件下での蒸発散量の長期間にわたる測定はあまり行われなかった。このため、蒸発散に関する概念や推定式が数多く提案され、水収支計

算を行う際に用いられてきたが、これらの概念の適用条件の吟味や推定式の妥当性の検討は不十分なままであった。この点の検討が、熱・水収支実験圃場内に設置されたウェイング・ライシメータを用いて行われた。

可能蒸発散量は古くから用いられている概念であるが、研究者によってその解釈や推定式の使用に違いが見られていた。この違いの原因は、蒸発面の濡れが注目されず、濡れの状態の取り扱いが不十分であることが、当センターでの観測から明らかとなった。また、Priestley and Taylor (1972)が提案して以来、種々の表面からの蒸発散量の推定に用いられてきた可能蒸発量は、牧草の葉面が完全に濡れている場合にしか適用できないこと、水不足のない夏の牧草地からの蒸発散量の上限值と下限値が、それぞれ、可能蒸発量と平衡蒸発量で与えられることが明らかとなった。さらに、活性の十分な牧草地からの蒸発散量は、主に有効エネルギーに支配され、平衡蒸発量との比例関係を用いた簡単な推定式で推定可能であることも明らかとなった。

年間を通しての蒸発散量の解析からは、従来の水収支計算で用いられているソーンズウェイト法とベンマン法のいずれもが、年間蒸発散量を数10%程度過大評価していることが明らかとなった。また、蒸発式の適用に際しては、その推定式が誘導された地域と適用しようとする地域の気候条件の違いや、植生の年間の成長サイクルの違いを十分考慮する必要があることがわかった。以上のことについては、中川(1982, 1983)、Nakagawa(1984)にまとめられている。

牧草地(センターの圃場)からの蒸発散の研究と平行して、林地からの蒸発散の研究が最近着手された。1つは落葉広葉樹(東京農工大学波丘地利用実験実習施設)における観測(古藤田, 1982a; 池淵ほか, 1982, 1983)であり、その結果は現在解析中である。他の1つは水理実験センターの圃場の南側に隣接するアカマツ林における観測である。このアカマツ林においては、ヒートパルス測定装置(杉田ほか, 1983; 杉田・古藤田, 1984

a) によって、樹冠の濡れと蒸散活動の関係などが調べられた。その結果、同一気象条件下では、完全に濡れた樹冠からの蒸発散速度は、乾いた場合のものより30%程度大きいこと、樹冠が完全に濡れている場合には、蒸散活動が抑制されていることなどが明らかとなった (Sugita, 1984)。

また、蒸発散量を植生からの蒸散と土壌からの蒸発に分離して求める試み (中川, 1979)、蒸発散量と大型蒸発計蒸発量や他の水文・気象要素との相関関係の検討 (古藤田, 1980)、蒸発散量の測定方法や推定式の検討 (杉田・古藤田, 1984 b ; 古藤田, 1982 b) なども行われた。

土壌水の移動機構の解明は、土壌水の水収支、地下水の涵養機構、降雨一流出機構を知る上で極めて重要な課題である。土壌水分移動については、圃場における観測データによって、土壌水分の増加が土壌水の真の移動よりも早く生ずることが地温の観測から、まず予見された (佐倉, 1978, 1979)。この点を定量的に解明するため、土壌浸透実験土槽を作製し (佐倉・開発, 1980 b ; 開発・佐倉, 1981)、雨水の鉛直移動の観測が行われた (佐倉・開発, 1980 a)。土壌水分量と地温の観測結果より、地表面から地下水面への土壌水の移動においては、地下水面上に形成された毛管水帯が重要な役割を果たしていること、つまり、毛管水帯上端に土壌水が達すると、毛管水帯での圧力平衡が崩れ、付加されたと同量の水が毛管水帯から排水されることがわかった (佐倉・開発, 1981)。この事実をさらに詳しく調べ、地表から地下水面に至る土壌水の移動機構を明らかにするため、カラムによる室内実験が行われた。この実験では、新たに開発された差温式微流速計 (谷口ほか, 1982) と静電容量式自記テンシオメータ (佐倉ほか, 1982) が用いられた。一方、室内実験により、ぬれ前線が懸垂水帯を降下して毛管水帯の上端に達すると、毛管力と重力の圧力平衡が崩れ、毛管水帯で土壌水の一斉移動が始まること、懸垂水帯と毛管水帯では土壌の保水形態が異なり、この相違によって土壌水の運動形態が異なることが明らかとなった (佐倉・谷口, 1983)。

同様の現象は、前述の土壌浸透実験土槽による観測 (Sakura, 1983) や誘電式水分計 (中川ほか, 1984) を用いたカラム実験 (向井, 1984) でも確認されている。向井 (1984) によるカラム実験より、懸垂水帯においては、降下浸透水がすでに存在していた可動水を前面に押し出し、ぬれ前線を形成しながら下降すること、その下降速度は降雨強度が大きくなるほど早いこと、ぬれ前線の降下速度は降下浸透水の降下速度より速いことが明らかとなった。

また、排水過程の土壌水の移動機構の研究が、上述の土壌浸透実験土槽 (Sakura, 1984) とカラム (谷口・佐倉, 1983) で行われた。その結果、排水前線が飽和毛管水帯上端に達した時、土壌水フラックスの減少が地下水面まで一斉に及び流出量の逓減が始まること、この逓減開始時刻は細粒土壌ほど早いこと、排水過程における土壌水は運動形態によって2つの領域に分けられ、その境界が排水の進行に伴って飽和毛管水帯上端から不飽和毛管水帯上端へと上昇していくことなどが明らかとなった。

また、圃場に設置された浸透型ラインメータでは、水位変動に伴う不飽和帯の水分移動と封入空気の関係 (出口, 1981)、降雨後の土壌水の再配分過程 (李ほか, 1984) の観測が行われた。

平坦地の水収支に関する観測としては、圃場におけるルーチン観測の他に、前述のアカマツ林において行われてきた。このアカマツ林では、植生による降雨のしゃ断プロセスに研究の力点がおかれ、林内降雨の空間的分布特性、林内雨量と林外雨量の関係が調べられ (間島・田瀬, 1982)、林内雨量のモデルが提示された (田瀬・間島, 1983)。また、アカマツ林の蒸散活動と土壌水の挙動についても調べられた (出口・田瀬, 1983)。なお、圃場における水収支については現在解析中であり、近くまとめられる予定である。

#### 今後の課題

上述のように、熱・水収支部門では多くの研究が行われ多大な成果が得られたが、これらの成果

は、空間のある1地点におけるもの、あるいは、鉛直1次元という単純な場合のものである。しかし、熱と水の交換が生じている場合は、3次元的空间構造を持つものである。また、我国のように起伏に富み、しかも、狭い面積の中に種々の地表面被覆状態が存在するところでは、この空間構造は非常に複雑であり、空間の1地点の測定値がどの程度の代表性を持つかはわかっていない。この問題点を克服し、広域面における熱・水収支を明らかにするのが、今後の課題として取り上げられている(第1表の課題 No. 6)。

この課題を研究していくためには、種々の地表面被覆状態における熱・水収支を測定し、その特徴を圃場で得られた結果と比較検討していく必要がある。しかし、熱・水収支の観測に必要な測器は非常に多種多様にわたるため、これらの測器の運搬ならびに現地での観測のためには、移動のしやすい観測車が必要である。これは、現在計画中である。

一方、広域面での熱・水収支を航空機あるいは人工衛星によるリモートセンシング技術を応用して明らかにしようとする試みが現在なされている(小泉, 1979; 中島, 1982; 古藤田ほか, 1984a, b)。この研究は現在実験段階である。しかし、この手法を用いる場合、現実の各地表面状態における熱・水収支のデータが得られていなければ、手法の適・不適の検討はできない。このためにも、観測車はぜひとも必要である。

水循環の中の降雨-浸透過程については、当センターで行われた一連の研究から、従来未解決のまま残されていた土壤水の移動機構が明らかになり、降雨-流出過程解明のための手がかりが得られた。この成果を用いて、降雨-流出過程の解明を目的としたものが、第1表のNo. 7の課題である。降雨-流出過程を解明するためには、現地での観測することももちろん必要であるが、現場の条件は非常に複雑である。このため、条件をコントロールできる実験的研究の必要性が生じてきた。この課題を遂行するために計画されたのが、人工降雨装置を備えた傾斜可変土槽実験装置である。

この実験装置は、降雨強度、傾斜、および土壌を任意に選定し、繰り返し実験が可能であるという特徴を持っている。そして、この実験からは、降雨-流出過程の解明の他、斜面崩壊や地すべり等の災害発生のメカニズムやこれら災害の予知・予防策のような応用面での成果も期待されている。

自然現象の解明のためには、現地での観測に基づく帰納的アプローチと、モデル実験や数値実験による演繹的アプローチとで得られた成果を互いにフィードバックさせながら、より現象の本質に近づく必要がある。このためには、当センターの設備の充実がぜひとも必要であるが、そのほかにも、多くの研究者と協力してセンターの諸設備を利用した研究成果をあげていくことも必要である。

## 文 献

- 池淵周一・丹下 勲・田中 正・古藤田 雄(1982): 八王子流出試験地における水文観測. 第26回水理講演会論文集, 237-242.
- 池淵周一・古藤田一雄・丹下 勲(1983): 丘陵地源流域における熱収支観測. 第27回水理講演会論文集, 379-384.
- 甲斐憲次(1978): 気象観測塔における乱流運動量の観測とデータ処理について. 筑波大学水理実験センター報告, 2号, 25-36.
- 甲斐憲次(1981): 気象観測塔で測定された乱流特性について. 筑波大学水理実験センター報告, 5号, 25-33.
- 甲斐憲次(1982): 台風8115号通過時に30m鉄塔で観測された気象特性. 天気, 29, 1143-1151.
- 甲斐憲次(1983): 接地逆転層中の気温と風の微細構造について. 筑波の環境研究, 7号, 181-186.
- 甲斐憲次(1984a): 水理実験センター観測圃場における気温・地温の年変化と日変化. 筑波の環境研究, 8号, 98-101.
- 甲斐憲次(1984b): 30m鉄塔で観測された風速変動と気圧変動の長周期スペクトル. 天気, 31, 235-241.
- 開発一郎・佐倉保夫(1981): 野外上槽中の不飽和土の水分特性. 筑波大学水理実験センター報告, 5号, 19-23.

- 小泉 隆 (1983) : 接地気層の気温変化に及ぼす地表面熱収支の影響. 地理評, 56, 567-578.
- 小泉 健 (1979) : リモートセンシングによる土壌水分の測定——グラントルースを主体とした基礎研究——. 筑波大学水理実験センター報告, 3号, 65-74.
- 小島豊盛・古藤田一雄・寄崎折弘 (1983) : 簡易通風乾湿温度計の製作とその性能テスト. 筑波大学水理実験センター報告, 7号, 27-31.
- 古藤田一雄 (1978) : 接地境界層における顕熱輸送について. 筑波大学水理実験センター報告, 2号, 17-24.
- 古藤田一雄 (1979) : 植被面における風速分布のパラメータについて. 筑波大学水理実験センター報告, 3号, 17-24.
- 古藤田一雄 (1980) : ラインメーター蒸発散量とエネルギー収支法による蒸発散量の比較. 筑波大学水理実験センター報告, 4号, 1-9.
- 古藤田一雄 (1982a) : 落葉広葉樹林の蒸発散量と林内の乱流拡散係数. 筑波大学水理実験センター報告, 6号, 63-73.
- 古藤田一雄 (1982b) : 耕地における水収支. 土壌の物理性, No. 45, 14-17.
- 古藤田一雄・林 陽生 (1980) : 植物群落下の風速分布とその空気力学的特徴量について. 農業気象, 35, 221-228.
- 古藤田一雄・甲斐憲次・中川慎治 (1983) : 気象日報作成装置について. 筑波大学水理実験センター報告, 7号, 75-85.
- 古藤田一雄・佐倉保夫・林 陽生・甲斐憲次 (1978) : 水理実験センターにおける熱収支・水収支観測システムとデータ集録・処理について. 筑波大学水理実験センター報告, 2号, 65-89.
- 古藤田一雄・甲斐憲次・中川慎治・黒坂裕之・吉野正敏・武田 要・関 利孝 (1984) : 航空機による地表温度の遠隔測定と地表面熱収支. 筑波の環境研究, 8号, 113-120.
- 古藤田一雄・甲斐憲次・中川慎治・吉野正敏・星 仰・武田 要・関 利孝 (1984b) : ランドサットデータによる土地利用区分と広域蒸発散量算定手法の開発に関する研究. 筑波大学水理実験センター報告, 8号, 57-66.
- 佐倉保夫 (1978) : 土壌水分移動と地中温度分布の関係について (予報). 筑波大学水理実験センター報告, 2号, 37-45.
- 佐倉保夫 (1979) : 浸透過程の地中温度変化から推察される土壌水分移動について. 筑波大学水理実験センター報告, 3号, 33-38.
- 佐倉保夫・開発一郎 (1980a) : 野外土槽における雨水の鉛直移動観測. 筑波大学水理実験センター報告, 4号, 25-29.
- 佐倉保夫・開発一郎 (1980b) : 野外土槽における観測システムについて. 筑波大学水理実験センター報告, 4号, 89-92.
- 佐倉保夫・開発一郎 (1981) : 野外実験土槽における観測結果 (1980年4~7月)——降雨浸透時の砂槽地中環境変化——. 筑波大学水理実験センター報告, 5号, 11-18.
- 佐倉保夫・谷口真人 (1983) : 土壌水の移動特性に関するカラムを用いた降雨浸透実験. 地理評, 56, 81-93.
- 佐倉保夫・谷口真人・古藤田一雄 (1982) : マノメータを用いた静電容量式テンシオメータについて. 筑波大学水理実験センター報告, 6号, 93-96.
- 杉田倫明・古藤田一雄 (1984a) : ヒートパルス速度自記測定装置の作製. 筑波大学水理実験センター報告, 8号, 89-94.
- 杉田倫明・古藤田一雄 (1984b) : ボーエン比・熱収支法と渦相関・熱収支法によるアカマツの林冠上の潜熱フラックスの測定. 筑波大学水理実験センター報告, 8, 83-88.
- 杉田倫明・出口賢二・古藤田一雄 (1983) : ヒートパルス速度測定装置の作製とその蒸発散量測定への適用——針葉樹・広葉樹における測定例——. 筑波大学水理実験センター報告, 7号, 33-38.
- 田瀬剛雄・間島政紀 (1983) : アカマツ林内の林内雨量シミュレーション. 筑波大学水理実験センター報告, 7号, 9-15.
- 谷口真人・佐倉保夫 (1983) : 排水過程における土壌水の移動特性に関する実験. 地下水学会誌, 25, 139-148.
- 谷口真人・佐倉保夫・古藤田一雄 (1982) : 差温式散流速計による水分フラックスの測定. 筑波大学水理実験センター報告, 6号, 87-92.
- 出口賢二 (1981) : 水位変動に伴う土壌水分の移動に関する実験的研究. 筑波大学自然学類昭和54年度卒

- 業論文, 61 p. (未公表)
- 出口賢二・田瀬則雄(1983): 平地アカマツ林における蒸散活動と土壌水の挙動について. 筑波大学水理実験センター報告, 7号, 39-45.
- 中川慎治(1979): 植生のある地表面からの蒸発散に関する研究. 筑波大学地球科学研究科昭和53年度地理学・水文学特別研究論文, 124 p. (未公表)
- 中川慎治(1982): 蒸発散の概念とその適用性について. 筑波大学水理実験センター報告, 6号, 53-62.
- 中川慎治(1983): 平衡蒸発モデルによる蒸発散量推定の可能性. 筑波大学水理実験センター報告, 7号, 17-26.
- 中川慎治・向井雅之・古藤田一雄(1984): 誘電式水分計のキャリブレーション. 筑波大学水理実験センター報告, 8号, 75-81.
- 中島三樹(1982): リモートセンシングによる土壌環境の解析に関する基礎的研究. 筑波大学環境科学研究科昭和56年度学術修士論文, 75 p. (未公表)
- 林 陽生(1979a): 牧草上における地面修正量と粗度長について. 筑波大学水理実験センター報告, 3号, 25-31.
- 林 陽生(1979b): 接地層における安定度パラメータについて. 地理評, 52, 293-301.
- 林 陽生(1980): 植物群落内部の風速プロファイルの数値解. 地理評, 53, 389-395.
- 林 陽生(1982): 1982植物群落によって特徴づけられた気層の風. 地理評, 55, 51-64.
- 林 陽生・古藤田一雄(1979): 接地層における気象要素垂直分布測定装置について. 筑波大学水理実験センター報告, 3号, 81-88.
- 林 陽生・古藤田一雄(1980): 牧草地上の粗度長と地面修正量の特徴. 天気, 27, 227-283.
- 林 陽生・黄水鎮(1981): 風杯風速計と超音波風速温度計で観測した風速と摩擦速度の特徴. 筑波大学水理実験センター報告, 5号, 1-10.
- 間島政紀・田瀬則雄(1982): アカマツ林内の降雨量の空間的分布について. 筑波大学水理実験センター報告, 6号, 75-82.
- 向井雅之(1984): NaCl をトレーサーに用いた地中水移動に関する実験的研究. 筑波大学自然学類昭和58年度卒業論文, 80 p. (未公表)
- 吉野正敏(1982): 筑波研究学園都市の低温と接地逆転層の発達. 筑波大学水理実験センター報告, 6号, 35-44.
- 寄崎哲弘・甲斐憲次(1983): 接地層の2高度で測定された乱流特性について. 筑波大学水理実験センター報告, 7号, 47-61.
- 寄崎哲弘・古藤田一雄(1983): 感度の良いフンク型正味放射計と熱流板の試作. 筑波大学水理実験センター報告, 7号, 69-73.
- 寄崎哲弘・小林 守・甲斐憲次(1983): 接地層における顕熱フラックスと正味放射フラックスの発散. 筑波の環境研究, 7号, 158-163.
- 寄崎哲弘・田宮兵衛・甲斐憲次(1982): 寒候期, 気象観測塔で観測された接地逆転の特性. 筑波大学水理実験センター報告, 6号, 45-52.
- 李 宝慶・中川慎治・古藤田一雄(1984): 降雨後の地下水涵養過程に関する観測. 筑波大学水理実験センター報告, 8号, 95-102.
- Kai, K. (1982a): The budget of turbulent energy measured at the ERC 30-m meteorological tower. *J. Meteor. Soc. Japan*, 60, 1117-1131.
- Kai, K. (1982b): Statistical characteristics of turbulence and the budget of turbulent energy in the surface boundary layer. *Environmental Research Center Papers*, No. 1, 54 p.
- Kotoda, K. (1979): Wind profile and aerodynamic parameters above and within a plant canopy. *Ann. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, no. 5, 23-27.
- Hayashi, Y. (1983): Aerodynamical properties of an air layer affected by vegetation. *Environmental Research Center Papers*, No. 3, 54 p.
- Nakagawa, S. (1984): Study on evapotranspiration from pasture. *Environmental Research Center Papers*, No. 4, 87 p.
- Sakura, Y. (1983): Role of capillary water zone in groundwater recharge—Observation of rain infiltration by lysimeter—. *Jap. J. Limnol.*, 44, 311-320.
- Sugita, M. (1984): Evapotranspiration from a pine forest. *M. Sc. Thesis, Inst. of Geosci., Univ. of Tsukuba, Japan*, 64 p.