農工研技報
Tech. Rep. Natl. Inst.
Rural. Eng. Japan

ISSN 0915-3314

農業工学研究所技報

第201号

目　次

農地法面の崩壊・侵食事例と圃場の造成形態の特徴
…… 古谷　保・小倉　力・中尾誠司・加藤　敬 …… 1
生態系調和型生産調整としての野鳥観察田の環境便益
－農村計画における選択型コンジョイント分析の利用（2）－
…… 合崎英男・守山　弘 …… 13
中山間地域の農地基盤情報のオンサイトデータ更新システムの開発
…… 山本徳司・安中誠司 …… 23
小水路の物理環境とメダカの郡泳について（流速と底質を環境因子とした実験から）
…… 竹村武士・小出水規行・奥島修二・山本勝利・加藤　敬 …… 37
デジタル航空センサーADS40によるデジタルオルソ画像と標高データの位置精度
…… 福本昌人・島　武男・小川茂男・上杉晃平 …… 47
地下水人工かん養効果の判定手法の評価
…… 石田　聡・今泉眞之・土原健雄・森　一司・轟木良則 …… 55
北海道東部の低層湿原の水循環－涛釣沼を例として－
…… 土原健雄・石田　聡・二平　聡・今泉眞之 …… 65
平地湖に流入する鹿島台地流域の水収支特性
…… 松田　周・増本隆夫・久保田富次郎・吉村亜希子 …… 81
チャオプラヤデルタ上流東岸域における水配分計画と実際の水利施設操作の改善（英文）
－タイ国水管理システム近代化計画における活動－
…… 柚山義人・ARULVIJITSKUL Pongsak・塩田克郎・鬼丸竜治・中沢　昇・藤崎隆志 …… 93
利根川の異常渇水管理のための簡易流量予測法
…… 増本隆夫・袁　新・相澤顕之・久保田富次郎・松田　周 ……125
農業副産物由来の炭化物利用について（英文）
…… マーシャル E. ウェイン・凌　祥之 ……137
農業用用排水路流着ゴミとその炭化物の諸特性
…… 齋藤孝則・凌　祥之・山岡　賢 ……147
ヘチマの植栽水路における水質浄化機能について
…… 長谷部　均・吉永育生・馮　延文・小山　純 ……157
地すべりブロック内におけるため池の浸透防止工による地下水流動の変化
…… 奥山武彦・黒田清一郎・中里裕臣・長束　勇 ……165
電気探査連続測定システムによる地盤環境モニタリング
…… 中里裕臣・黒田清一郎・奥山武彦・朴　美京・金　喜俊・轟木良則 ……173
簡便な軟質基礎地盤の非線形弾性特性評価法
…… 田頭秀和・安中正実・向後雄二・増川　晋 ……183

平成15年3月

独立行政法人農業工学研究所

農業工学研究所技報　第201号

理事長	佐藤　寛
理事	安養寺　久男
企画調整部長	宮本　幸一
総務部長	加藤　重一
農村計画部長	工藤　清光
農村環境部長	袴田　共之
地域資源部長	大西　亮一
農地整備部長	執行　盛之
水工部長	端　憲二
造構部長	竹内　睦雄

編集委員会

編集委員長	宮本　幸一
委員	國光　洋二
	上村　健一郎
	増本　隆夫
	友正　達美
	丹治　肇
	谷　茂
	前田　榮一

TECHNICAL REPORT OF THE NATIONAL INSTITUTE FOR RURAL ENGINEERING

No. 201

SATO Hiroshi	President
ANYOJI Hisao	Executive Director
MIYAMOTO Koichi	Director, Department of Program Management and Coordination
KATO Shigeichi	Director, Department of General Affairs
KUDOU Kiyomitsu	Director, Department of Rural Planning
HAKAMATA Tomoyuki	Director, Department of Rural Environment
OHNISHI Ryouichi	Director, Department of Regional Resources
SHIGYO Moriyuki	Director, Department of Agricultural Enxironment Engineering
HATA Kenji	Director, Department of Hydraulic Engineering
TAKEUCHI Mutsuo	Director, Department of Geotechnical Engineering

EDITORIAL BOARD

Chairman : MIYAMOTO Koichi

Editor : KUNIMITSU Yoji
KAMIMURA Ken-ichiro
MASUMOTO Takao
TOMOSHO Tatsumi
TANGI Hajime
TANI Shigeru
MAEDA Eiichi

〔農工研技報 201
81～91, 2003〕

平地湖に流入する鹿島台地流域の水収支特性

松田　周*・増本隆夫*・久保田富次郎*・吉村亜希子**

目　次

Ⅰ　緒　言 …… 81
Ⅱ　観測流域の概要および観測方法 …… 81
　1　観測流域の概要 …… 81
　2　観測方法 …… 83
Ⅲ　水文要素の特性および水文データの補完 …… 83
　1　水文要素の特性 …… 83
　2　水文データの補完 …… 86
Ⅳ　水収支特性 …… 88
　1　流域水収支法による年別水収支特性 …… 88
　2　補完法による流域蒸発散量の算定 …… 88
　3　流域蒸発散量の比較 …… 89
Ⅴ　結　言 …… 89
参考文献 …… 90
Summary …… 91

Ⅰ　緒　言

北浦や霞ヶ浦の周辺にある洪積砂層の台地は，火山灰に被覆されて降雨の大部分が浸透し，台地は水源涵養上大きな役割を果たしている（金子，1973）。その高浸透性のため，灌漑施設の整っていない鹿島台地上の畑地では主な水源を台地内に貯留している地下水としているところが多く，谷地田においても周囲の台地地下水からの浸出水や天水を水源としている。近年の水資源の逼迫化，並びに開発コストの増大により農業用水の確保はますます困難になってきている状況の中で，これらの農地において農業用水を安定的に確保し，安定した営農を行うためには，台地内の水資源量を的確に把握する必要がある。そこで，当地区における水資源の合理的配分を確立することを最終目的に，台地流域における水文流出機構の解明を行っている。

これまで平地湖周辺台地の水文解析として，周辺台地の水収支および地下貯留量の検討（金子・丸山，1967）や鹿島台地の低水流出時の逓減特性の解析（吉村ら，2000）が行われてきたが，前者は出島台地の検討に限られ，後者では長期間の水文状況は明らかにされていない。次いで，鹿島台地の観測水文データを用いて，台地小流域を対象とした貯留型流出モデルが検討されている（松田ら，2002a・2002b）。

ここでは，鹿島台地から北浦に流入する小河川流域内において連続観測している河川水位，降水量等の欠測値の補完を行うとともに，それらより長期間の水収支解析を行った結果を報告する。

本研究成果の一部は，茨城県からの受託研究「鹿島台地流況調査」を実施しており，資料収集にあたっては，茨城県農林水産部農地局農村計画課および鉾田土地改良事務所，鉾田南部，大洋，大野，鹿島湖岸北部各土地改良区の協力を得た。ここに記して，感謝の意を表する。

Ⅱ　観測流域の概要および観測方法

1　観測流域の概要

鹿島台地は北浦と鹿島灘に挟まれた南北に細長い台地である（**Fig.1**）。観測対象流域は北から鉾田南部流域，

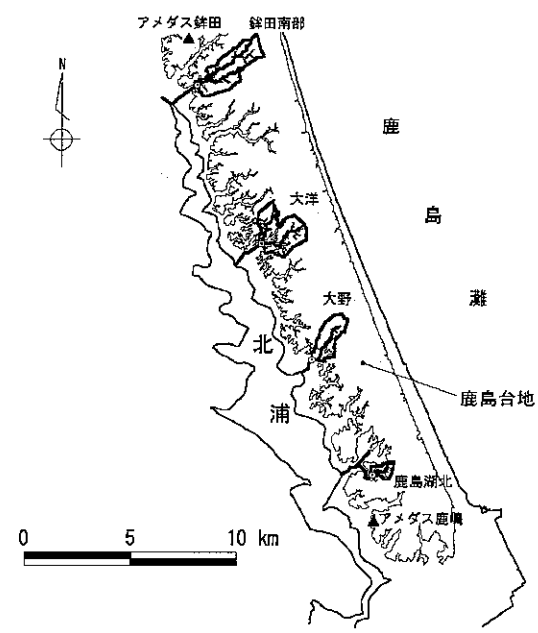

Fig.1　観測対象地域
Location of observation area

*地域資源部水文水資源研究室
**農地整備部用水管理研究室
平成１４年１２月９日受理
キーワード：平地湖・鹿島台地・水収支・補完法・補完水文データ・タンクモデル

Table 1　観測流域の特性

Characteristics of the observation watershed

(単位:本川長はkm、それ以外はkm^2)

	鉾田南部	大洋	大野	鹿島湖北
本川長	3.70	2.37	2.28	1.37
流域面積	3.75	3.52	1.97	0.58
水田	0.40 (10.7)	0.33 (9.2)	0.27 (14.0)	0.07 (12.3)
畑地	0.86 (22.9)	0.61 (17.3)	0.31 (15.6)	0.05 (8.2)
宅地・道路	0.38 (10.1)	0.50 (14.2)	0.25 (12.8)	0.06 (10.1)
森林	2.11 (56.3)	2.09 (59.3)	1.13 (57.7)	0.40 (69.4)

※ ただし、( )は各地目の面積率(%)

大洋流域，大野流域および鹿島湖北流域となっており，どの流域も平地湖としての特徴を持つ北浦に流入している。各流域とも台地部と谷部で構成され，谷部が台地部を樹枝状に刻んでおり，さらに谷部の下流側には低地部が隣接している。台地頂部の標高は 40m 前後で，谷部は約 10m である。表層地質は深さ 2.5 ～ 4m の関東ロー

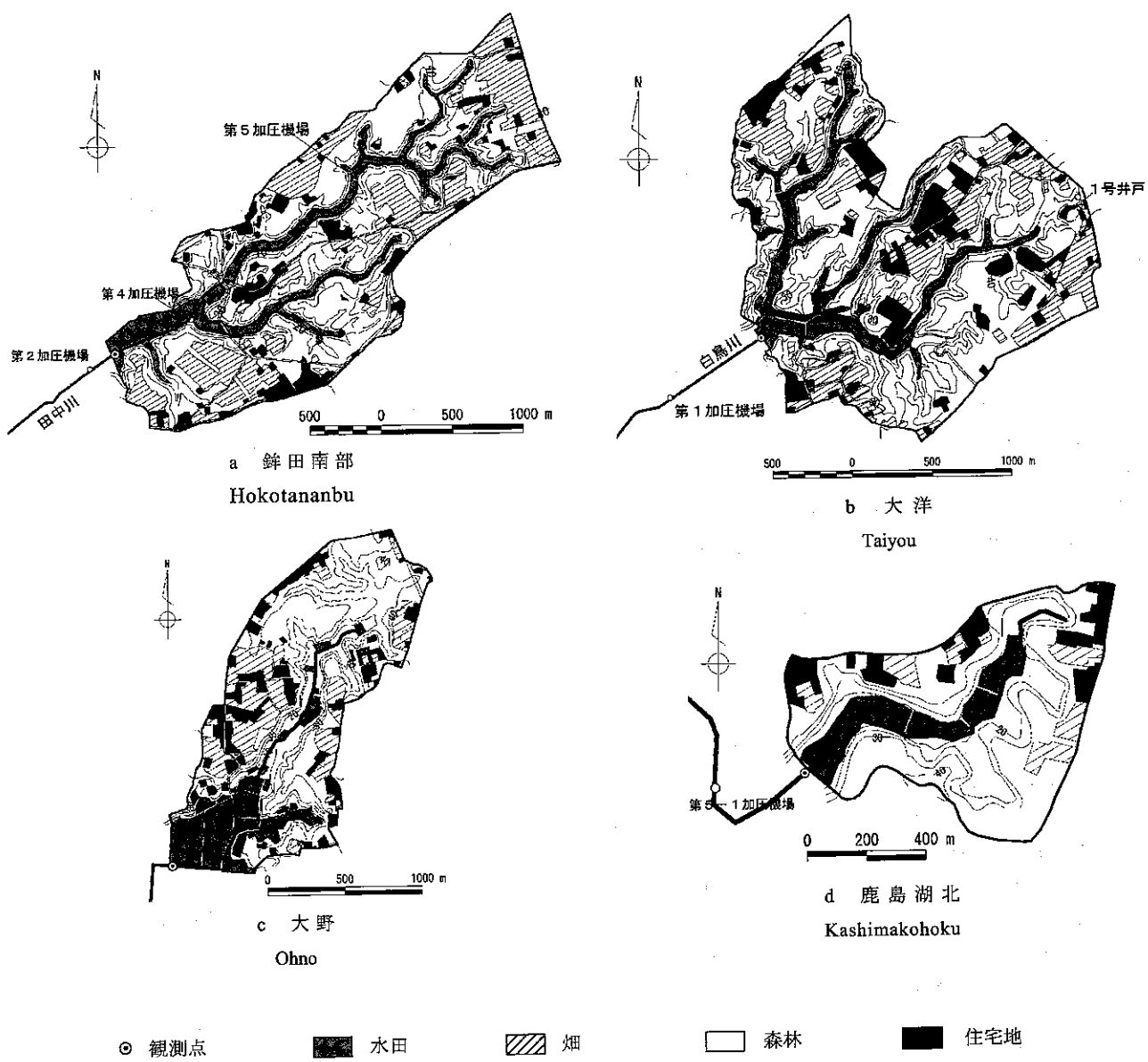

Fig.2　観測小流域の概要

Outline of each observation basin

ム層が広がっており，その下は砂礫層が主で，一部粘土層が見られる（茨城県，1988・1989）。土壌分布について言えば，台地部は黒ボク土壌，淡色黒ボク土壌が広範囲を占めており，谷部はグライ土壌や細粒グライ土壌が多く見られる。一方，低地部には黒泥土壌が分布している。

土地利用に関しては，谷部は谷地田，台地部は畑が主となっており，それ以外はほとんど森林で覆われている。低地部では区画整備された水田が広がっている。谷地田では灌漑期に北浦から灌漑を行っており，流域内の台地上の畑地では天水のみで，営農を行っている。

観測対象流域の諸元を **Table 1** に示す。

流域面積はどの地区も 4km² 未満の小流域で，特に鹿島湖北流域は 1km² 未満と小さい。本川長は 1 ～ 4km 程度である。

a　鉾田南部

鉾田南部流域図を **Fig.2-a** に示す。水利用に関しては，北浦から鉾田南部第 1 号用排水機場で用水を汲み上げ，同第 2 号，4 号，5 号の 3 ヶ所の加圧機場で上流部に送水し，谷地田のほぼ全域に灌漑を行っている。流域内は台地部が広範囲を占めるため，畑地面積の割合が多い。

流域の形状は 1 本の本川とその支川がほぼ並行に走っている細長い流域で，本川長は 3.7km で，他の調査流域に比べて長い。標高は最高点が 44m，最低点が 6m である。

b　大洋

大洋流域図を **Fig.2-b** に示す。水利用に関しては，北浦から大洋第 1 号用排水機場で用水を汲み上げ，同第 1 号加圧機場で上流部に送水している。また，流域内に深さ 28m の井戸が 1 本あり，1 年に数日稼働している。これらの施設により谷地田のほぼ全域に灌漑を行っている。

流域面積は 3.5km² であり，2 本の河川で形成されている。標高は最高点が 44m，最低点が 9m である。

c　大野

大野流域図を **Fig.2-c** に示す。水利用に関しては，北浦から大野第 3 号用排水機場で用水を汲み上げており，谷地田のほぼ全域に灌漑を行っている。流域内は低地部が広範囲を占め，畑地面積の割合が少ない。

流域の形状は河川が中央を流れる細長い流域で，流域面積は 2.2km² である。標高は最高点が 43m，最低点が 5m である。

d　鹿島湖北

鹿島湖北流域図を **Fig.2-d** に示す。水利用に関しては，北浦から鹿島湖岸北部第 2 号用水機場で用水を汲み上げ，同第 5 号用水機場，第 5-1 号加圧機場で上流部に送水しており，谷地田のほぼ全域に灌漑を行っている。

本川長は 1.4km で，他の調査流域に比べて短く，流域面積 0.6km² も他の観測流域に比べて小さい。標高は最高点が 48m，最低点が 7m である。

2　観測方法

各観測地点に設置している水圧式自記水位計および転倒ます式雨量計を用いて，水位は 10 分間ごとの瞬間値，雨量は 10 分間積算値を計測した。観測期間は以下のようになり，現在も観測継続中である。

鉾田南部・・・1995 年 11 月～
大洋・・・・・1996 年 4 月～
大野・・・・・1996 年 8 月～
鹿島湖北・・・1996 年 8 月～

北浦からの揚水記録は 1997 年から収集を行った（鉾田南部は 1998 年欠測）。アメダスデータは鉾田と鹿嶋の値を用いた。観測は鉾田が 1978 年 4 月から，鹿嶋が 1976 年 1 月から開始されている。

流域界は 2,500 分の 1 都市計画図と各土地改良区が保管している用排水系統図および踏査により決定した。また，流域の土地利用は 2,500 分の 1 都市計画図と航空写真および踏査より判断した。

Ⅲ　水文要素の特性および水文データの補完

1　水文要素の特性

a　降雨

アメダス鉾田とアメダス鹿嶋の月別平均降水量を **Fig.3** に示す。平均に用いた期間は前記のアメダス観測開始月から 2000 年 12 月までである。両地点とも，9，10 月に比較的雨が多く，雨が少ないのは 12 ～ 2 月となっている。年平均降水量はアメダス鉾田では 1,366mm（欠測期間がある 1978，1990，1994，1995 年は除く），アメダス鹿嶋では 1,467mm（欠測期間がある 1976，1980，1992，1997 年は除く）である。

両アメダス点の年降雨の非超過確率を **Fig.4-a，b** に示す。ただし，図中の数字および黒丸は当観測地点におけ

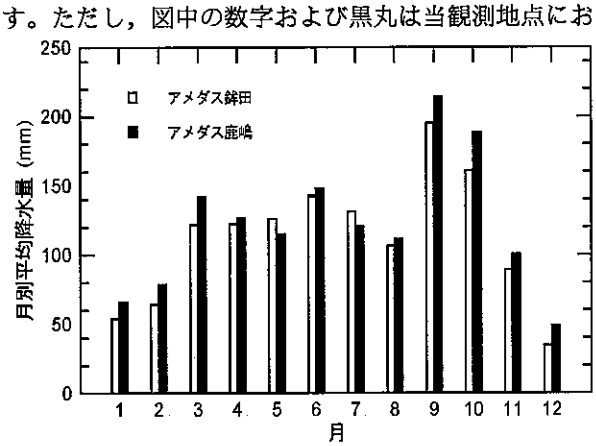

Fig.3　アメダス鉾田・鹿嶋の月別平均降水量
Averaged monthly precipitation
at AMeDAS-Hokota and AMeDAS-Kashima

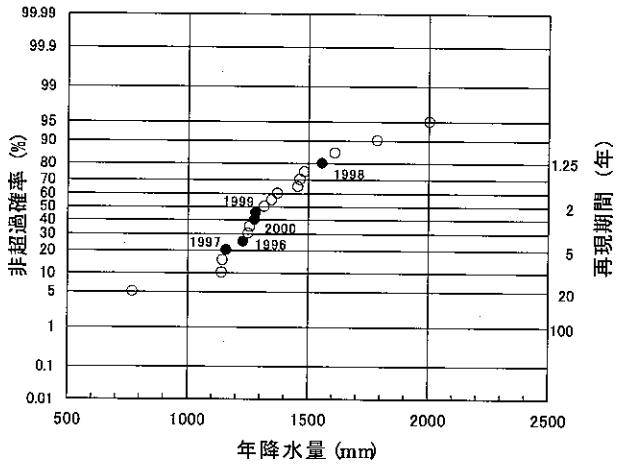

Fig.4-a アメダス鉾田における年降水量の確率分布
Probability distribution of annual precipitation at AMeDAS-Hokota

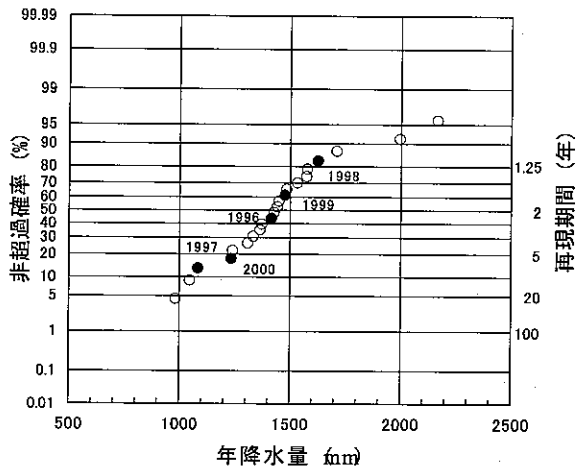

Fig.4-b アメダス鹿嶋における年降水量の確率分布
Probability distribution of annual precipitation at AMeDAS-Kashima

る観測年およびその年のアメダス点における非超過確率を表している。本調査での観測期間中，1998 年は比較的多雨年で，小雨年は，鉾田では，1996，1997 年，鹿嶋は 1997，2000 年である（アメダス鹿嶋の 1997 年は 7 月，8 月に欠測があるが，鹿島湖北の日雨量で補完）。1998 年は超過確率で表すと，鉾田が 5 年，鹿嶋が 6 年確率の多雨年である。また，鉾田の 1997 年は 5 年，鹿嶋の 1997，2000 年はそれぞれ 8 年および 6 年確率の渇水年であることが分かる。

b 灌漑水

各流域では，主に 4 月から 9 月にかけて北浦を用水源として，谷地田に灌漑が行われている。灌漑水量のデータは各流域の土地改良区が保管している揚水機運転日誌のデータを用いた（ただし，1998 年の鉾田南部は日誌をつけていない）。各流域の灌漑期間は **Table 2** の通りである。

各揚水機場の諸元は **Table 3** の通りである。大野の第 3 用排水機場はバルブの開度により揚水量を調整しているが，その量を測定するのは困難なため，ここでは単純にバルブの開度と揚水量を比例関係として，その量を算定した（**Table 4**）。

各流域における旬別揚水高を流域内水田面積で割った値を **Fig.5** に示す。大野以外の流域は 6 月上旬までの波形が比較的似ており，毎年同じくらいの水を必要としていることが分かる。それ以降の揚水高は年ごとの変化が大きいことから，気象条件によって左右されていることが分かる。一方，大野は 6 月下旬までの揚水量がばらつ

Table 2 各観測流域における灌漑期間（開始日～終了日）
Irrigation period of observation years (Starting - Ending, month - Day)

	鉾田南部	大洋	大野	鹿島湖北
1997	4.22～9.3	4.21～9.8	4.15～8.26	4.10～9.2
1998		4.21～8.24	4.22～8.27	4.15～9.2
1999	4.23～9.5	4.19～8.18	4.10～8.24	4.9～9.1
2000	4.20～9.5	4.18～8.24	4.7 ～8.30	4.9～9.2

Table 3 各観測流域における灌漑施設諸元
Characteristics of irrigation systems in each basin

流域名	施設名	灌漑面積 (ha)	揚水量 (m^3/s)	全揚程 (m)
鉾田南部	第1用排水機場	84.0	0.322	24.0
	第2加圧機場	48.6	0.162	17.2
	第4加圧機場		0.102	24.3
	第5加圧機場		0.033	22.8
大洋	第1用排水機場	74.2	0.276	21.0
	第1加圧機場	4.8	0.173	40.0
	1号井戸	2.0	0.009	27.9
大野	第3用排水機場	66.6	0.141	37.0
鹿島湖北	第5－1加圧機場	66.3	0.230	21.8

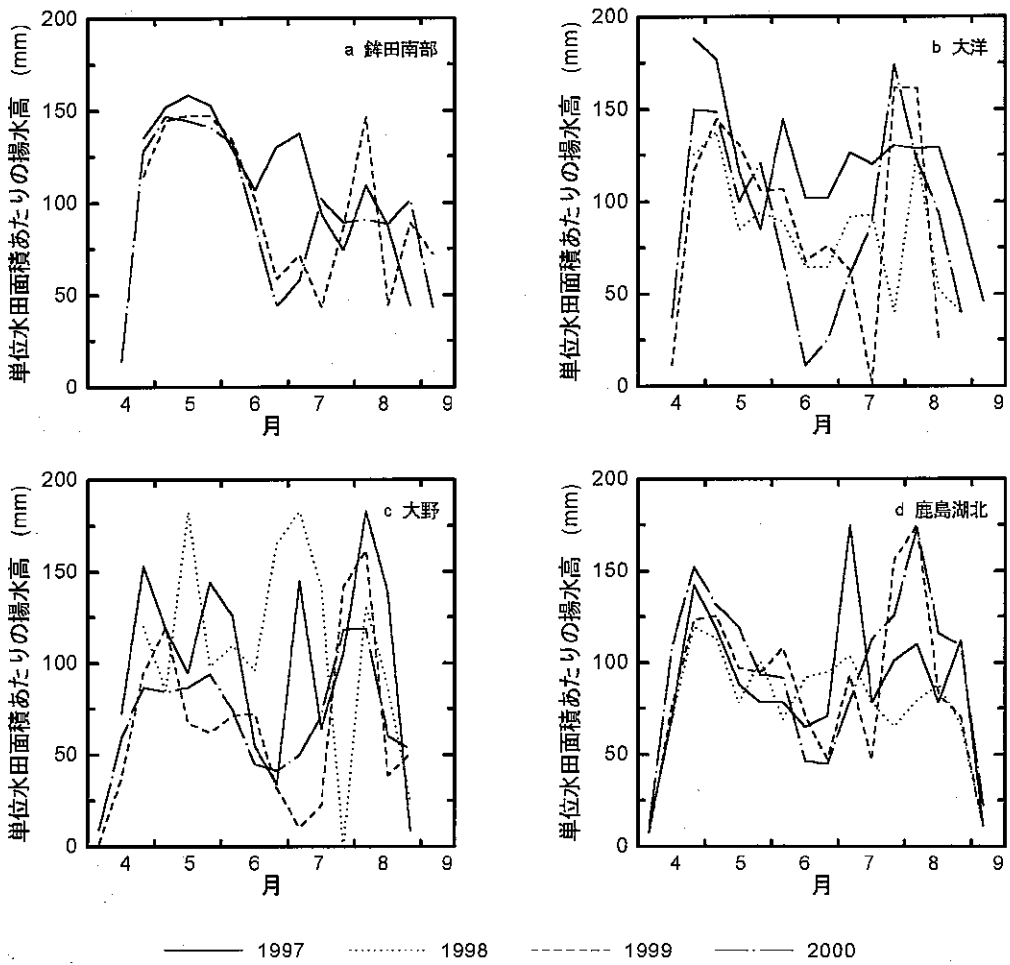

Fig.5 各流域における単位水田面積あたりの旬別揚水高
Pump irrigation depth during 10 days for unit paddy area

Table 4 大野第3用排水機場のバルブ開度に対する揚水量
Pumpage to valve angles of the 3rd Ohno pump station

開度	揚水量 (m^3/s)
全開	0.141
80	0.123
70	0.119
60	0.070

いていることから，バルブの開度に対する揚水量の推定には改善が必要である。

鉾田南部では5月，鹿島湖北では4月下旬と8月上旬にピークがある。これは代掻き・田植え時および出穂期の間断灌漑を行っている時期である。2001 年のコシヒカリの田植え日は神栖町で 4/27 前後（2000 年は 5/2），鉾田町で 5/7 前後（2000 年は 5/11）であることから，2001 年は 2000 年より数日田植えが早かった（鉾田地域農業改良普及センター，2001a・2001b）。また，鹿島台地北部の田植え日は南部に比べて 1 週間から 10 日遅く，それに合わせて水管理の時期も遅くなっている。

c　流出

2001 年 8 月 22 日（台風 11 号時）と同年 9 月 11 日（台風 15 号時）に全流域において洪水時の一斉流量観測を行い，これにより精度の悪かった高水位部の水位流量曲線を改善し，水位データの流出量変換を行った。この結果，欠測期間を除く平均比流量は鉾田南部が 0.019 ($m^3/s/km^2$，以下同じ単位)，大洋が 0.008，大野が 0.025，鹿島湖北が 0.018 であった。欠測期間を多く含んでいるが，大洋の比流量はかなり低いことが分かる。なお，後述のⅢ 2で補完を行った結果，全期間の平均比流量は鉾田南部が 0.015，大洋が 0.009，大野が 0.024，鹿島湖北が 0.017 となり，非欠測期間のみに比べて全体的に小さくなったが，それでも大洋の比流量は他の流域に比べてかなり小さい。また，補完後の流況曲線より求まる各年の渇水流量の平均値は鉾田南部が 0.24(mm/d，以下同単位)，大洋が 0.20，大野が 1.08，鹿島湖北が 0.60 で，大野の渇水量が他の流域に比べて大きいことが分かる。観測期間中の年最大ピーク流量は年により変動はあるが，鉾田南部が 2.0 ～ 7.8 (m^3/s，以下同単位)，大洋が 0.9 ～ 2.0，大野が 2.0 ～ 5.7，鹿島湖北が 1.0 ～ 3.7 となっている。

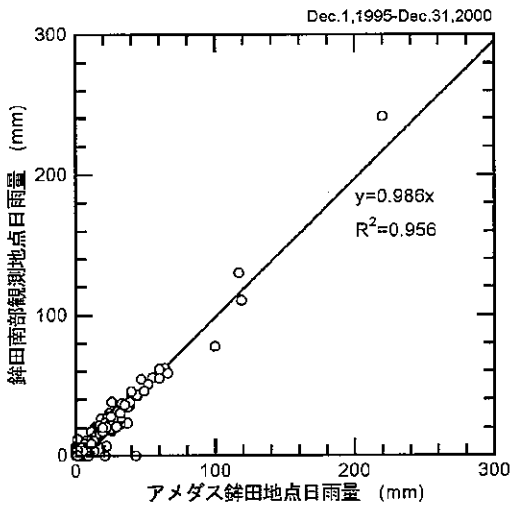

Fig.6-a アメダス鉾田と鉾田南部の日雨量の相関

Correlation of daily precipitation between AMeDAS-Hokota and Hokotananbu

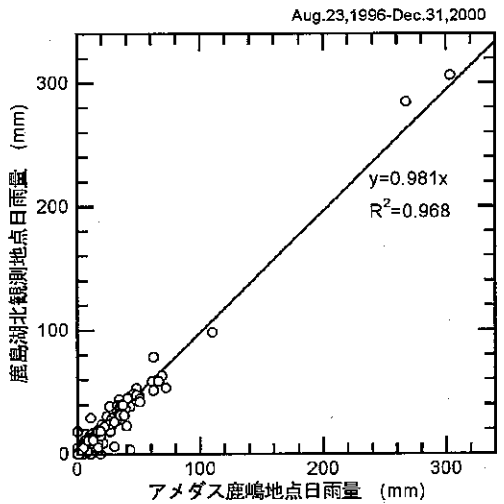

Fig.6-b アメダス鹿嶋と鹿島湖北の日雨量の相関

Correlation of daily precipitation between AMeDAS-Kashima and Kashimakohoku

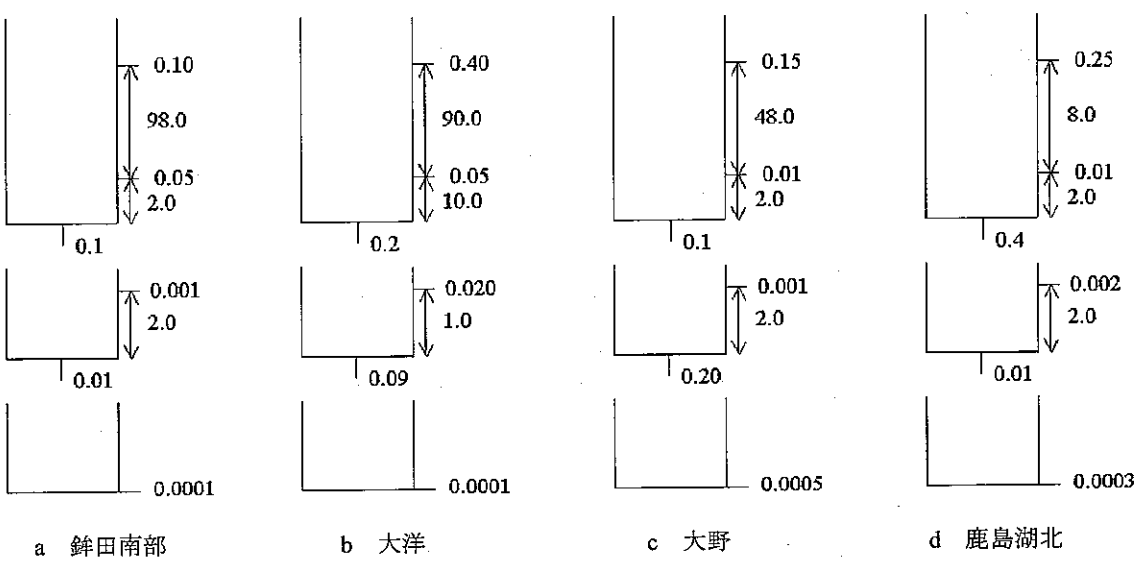

Fig.7 欠測データ補完に用いたタンクモデルのパラメータ

Identified parameters of a tank model for the generation of missing data (unit : mm/d)

2 水文データの補完

観測値を用いて各流域の年別水収支を求めようとすると，各流域とも20～40％程度の欠測および異常な測定値があるために，水収支が算定できない。そこで，雨量と灌漑水量および流量の欠測値を補完し実測値に代用することを考えた。ここでは，雨量は近傍のアメダス点日雨量より相関の程度を勘案して補完し，灌漑水量は過去のパターンを用いる。流量は3段タンクモデルを用いて，計算値が実測値に合うようにパラメータを同定し，欠測期間の値を補完する。

a 雨量の補完

鉾田南部とアメダス鉾田の日雨量の関係を **Fig.6-a** に，鹿島湖北とアメダス鹿嶋の日雨量の関係を **Fig.6-b** に示す。鉾田南部とアメダス鉾田および鹿島湖北とアメダス鹿嶋は直線距離でそれぞれ2.3kmと2.2km離れており，両アメダス点とも台地上にある。同図より，それぞれほぼ1：1の相関関係が得られるので，鉾田南部はアメダス鉾田，鹿島湖北はアメダス鹿嶋のデータをそのまま用いて補完した。大洋と大野はアメダス鉾田とアメダス鹿嶋の日雨量に重み付けをして推定した。今回用いた重み付けの方法は，観測点からそれぞれのアメダス点までの直線距離の割合とした。すなわち，次式のようになる。

$$R_{taiyou} = 0.58R_{hokota\text{-}A} + 0.42R_{kashima\text{-}A} \quad (1)$$

$$R_{ohno} = 0.33R_{hokota\text{-}A} + 0.67R_{kashima\text{-}A} \quad (2)$$

ここで，R_{taiyou},R_{ohno}：大洋，大野の推定日雨量(mm)，$R_{hokota\text{-}A}$,$R_{kashima\text{-}A}$：アメダス鉾田，鹿嶋の日雨量(mm)。

b 灌漑水量の補完

鉾田南部における1998年の灌漑水量は資料が残って

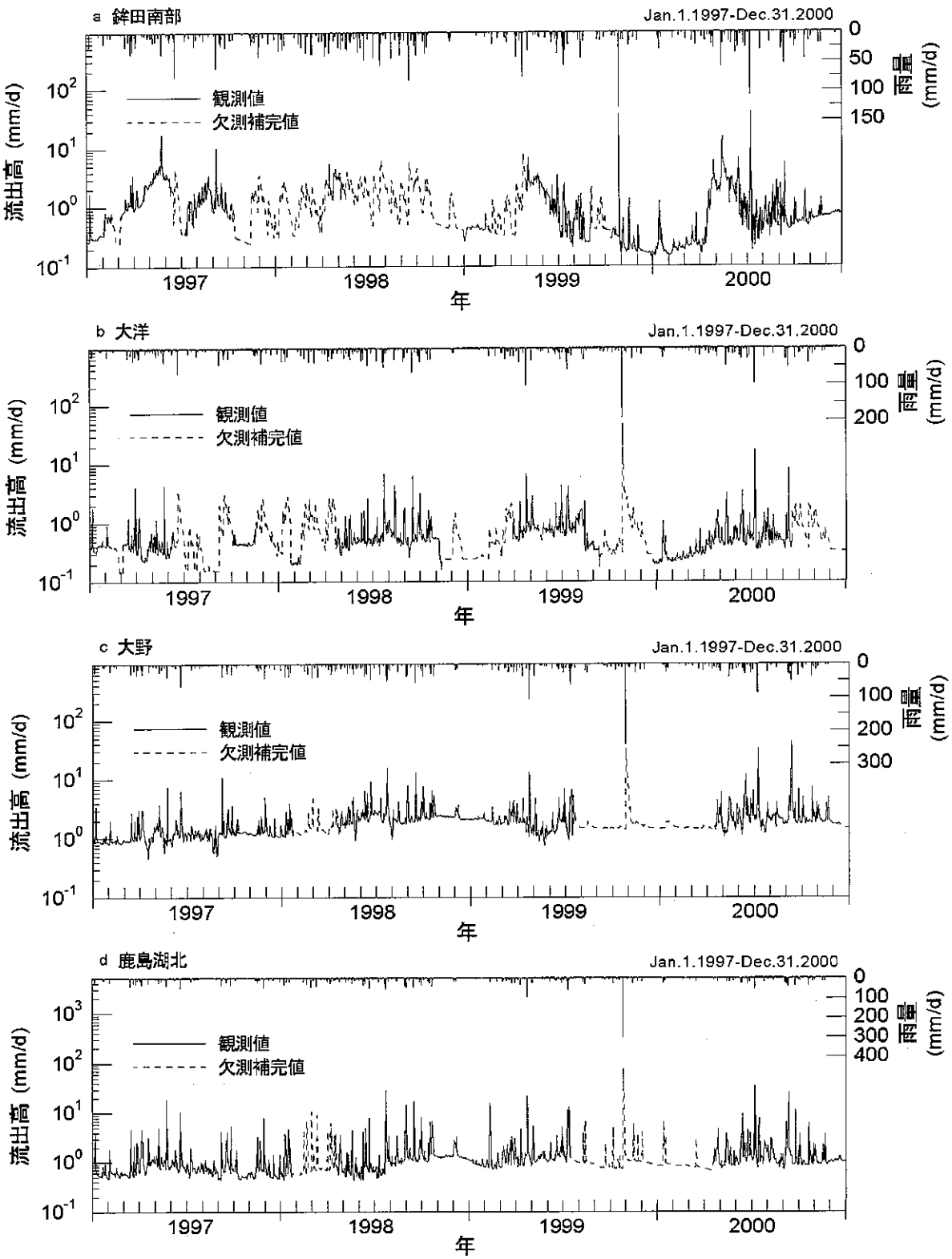

Fig.8 各流域における補完後のハイドログラフおよびハイエトグラフ

Complemented hydrographs and hyetographs with missing data generated and fulfilled

いないため，補完する必要がある。補完方法は，1997，1999～2001 年の平均旬別揚水量を 1998 年の旬別揚水量とし，それを各旬の日数で除した値を日揚水量とした。

c 流出量の補完

流出量の補完には貯水タンク 3 つを鉛直方向に直列に並べた 3 段直列型タンクモデル（菅原，1972）を用いた。ただし，入力値には補完した雨量および灌漑水量を用いた。流域蒸発散量には東京気象官署の計器蒸発量に 0.7 倍した値を用い，上段タンクの水深から差し引いたが，差し引けない場合は中段タンクから，さらには下段タン

Table 5 各流域における年別水収支(単位:mm)
Annual water balance (mm)

鉾田南部

年	雨量	流出高	揚水高	収支
1996	1,250	400	177	1,027
1997	1,105	455	186	835
1998	1,572	726	177	1,023
1999	1,148	375	172	945
2000	1,239	406	174	1,006

大野

年	雨量	流出高	揚水高	収支
1997	1,112	472	198	838
1998	1,605	839	199	965
1999	1,420	783	129	766
2000	1,251	876	147	522

大洋

年	雨量	流出高	揚水高	収支
1997	1,130	217	158	1,072
1998	1,587	284	103	1,407
1999	1,369	341	110	1,138
2000	1,261	241	117	1,137

鹿島湖北

年	雨量	流出高	揚水高	収支
1997	1,077	361	176	892
1998	1,538	575	156	1,118
1999	1,437	643	176	970
2000	1,056	571	193	679

Table 6 各流域の年流出率(単位:%)
Annual runoff ratio (%)

年	鉾田南部	大洋	大野	鹿島湖北
1996	32.0			
1997	38.9	19.2	42.5	33.5
1998	38.0	17.9	52.3	37.4
1999	31.7	24.9	55.1	44.6
2000	32.6	19.1	70.1	54.0
平均	34.6	20.3	55.0	42.4

クから差し引いた。降雨日の蒸発散量は0とせず，蒸発散が起こるものとして計算を行った。下流からのポンプによる流域内への流入量は灌漑水量を流域面積で除した値を最上段タンクの水深に加えた。欠測期間開始日と終了日の計算流出高がそれぞれ前日および翌日の観測流出高に近づくように，かつハイドログラフ全体が合うように流出孔,浸透孔の各パラメータは試行錯誤で同定した。各流域に採用した最終的なタンクモデルのパラメータを**Fig.7** に示す。鹿島湖北の上段タンクの上部流出孔は他の流域に比べて，孔の高さが低いことより，洪水時の流出量増加が比較的雨の小さい時点から起こっていることが分かる。観測値および補完水文データを用いたハイドログラフおよびハイエトグラフを**Fig.8** に示す。

Ⅳ 水収支特性

1 流域水収支法による年別水収支特性

流域水収支法から算定した各流域の年別水収支を**Table 5** に示す。収支は雨量に揚水高を加え，流出高を差し引いた値であり，蒸発散量に相当する。収支は年ごとにばらつくが，観測期間の平均値は鉾田南部が1,000mm，大洋が1,200mm，大野が800mm，鹿島湖北が900mm となった。これらは補完法により推定された鹿島台地の蒸発散量約 700mm（大槻ら，1984b）よりも大きい。本報では地下水分水界を地表面分水界と同じと仮定したので，流域境界内外からの地下水移動を考慮していない。その結果，流域外への流出量も蒸発散量に含めてしまい，蒸発散量を過大に評価したと考えられる。

次に，年毎の水収支は系内の貯留水量が収支期間の開始と終了時で同じである必要があるが，例えば 1997 年は少雨年，1998 年は多雨年であることから，その仮定が守られていない可能性がある。実際，**Fig.8** に示すように，各年の1月1日の流出高は年により大きく違うため，台地内貯留量の差が大きく，これが流域蒸発散量の過大推定の原因とも考えられる。そこで，1月1日の流出高が同程度である期間を抽出したところ，年平均蒸発散推定値は鉾田南部が 980mm（収支期間 1999 ～ 2000 年)，大洋が 1,200mm(同 1997 ～ 1999 年)，大野が 640mm(同 1999 ～ 2000 年)，鹿島湖北が 820mm(同 1999 ～ 2000 年）となった。全流域とも **Table 5** の結果に比べて同等かあるいは小さくなったが，それでも鉾田南部と大洋はその値が大きい。

流出高は多降雨年には大きく，少降雨年は小さいが，年流出率（＝年流出高／年雨量）は **Table 6** に示すように年雨量に関わらず，ほぼ一定値であった（鉾田南部は35%，大洋は 20%，大野は 55%，鹿島湖北は 40%)。大洋は年流出率が低いことから，流域外への流出量が大きいと推察できる。

Ⅲ 1で述べたように，大洋の比流量は他の流域に比べてかなり小さいのも，地下水の流域外への移動が想定される。逆に大野の渇水量が他の流域に比べて大きいのは，流域外からの地下水流入が考えられる。

2 補完法による流域蒸発散量の算定

実測値を用いた流域水収支法による流域蒸発散量の妥当性を検証するため，何らかの方法で推定した流域蒸発散量と比較することを考える。ここでは実蒸発散量と蒸発散位が補完関係であることを利用した補完法(大槻ら，1984a）を用いて流域蒸発散量を推定した。すなわち，

$$E=2E_p-E_{pp} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

ここで，E：実蒸発散量（mm・d^{-1}），Ep：修正 Priestley-Taylor 式による可能蒸発散量(mm・d^{-1})，Epp：修正 Penman 式の算定値(mm・d^{-1})。

$$E_p=1.26\frac{1000}{\rho_w \ell}\cdot\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}(R_n+M) \quad \cdots\cdots\cdots (4)$$

$$E_{pp}=\frac{1000}{\rho_w \ell}\cdot\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}(R_n+M)+\frac{\gamma}{\Delta+\gamma}f(u)(e_{sa}-e_a) \quad \cdots (5)$$

$$E\leqq E_{pp} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

ここで，Δ：飽和水蒸気圧曲線の勾配(hPa・℃$^{-1}$)，γ：乾湿計定数(hPa・℃$^{-1}$)，Rn：純放射(MJ・m^{-2}・d^{-1})，M：移流項(MJ・m^{-2}・d^{-1})，ρ_w：水の密度，ℓ：蒸発潜熱(J・g^{-1})，$f(u)$：風速関数(mm・hPa^{-1}・d^{-1})，e_{sa}：飽和水蒸気圧(hPa)，e_a：水蒸気圧(hPa)。

$$\ell=2500.8-2.3668T \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

$$\Delta=\frac{25029.9221}{(T+237.3)^2}\exp\left(\frac{17.2693882T}{T+237.3}\right) \quad \cdots\cdots (8)$$

$$\gamma=\frac{C_p P}{0.622\,\ell} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

$$f(u)=0.26(1+0.54u_2) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

$$e_{sa}=6.1078\exp\left(\frac{17.2693882T}{T+237.3}\right) \quad \cdots\cdots\cdots (11)$$

ここで，T：気温(℃)，C_p：空気の定圧比熱(1.0042J・℃$^{-1}$・g^{-1})，P：大気圧(hPa)，u_2：高さ 2m の風速(m・s^{-1})。

移流項 M は有効放射（大槻，1988）L(MJ・m^{-2}・d^{-1})（ただし，上向きを正とする）と純放射 Rn の関数であると仮定して求められた(12)式より算定した(Morton, 1978)。また，純放射 Rn は Chang（1970）の式より推定した。

$$M=0.66L-0.44R_n \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

$$R_n=(1-\alpha)I-L \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (13)$$

$$=(1-\alpha)I-\sigma T^4\left(286.18+202.6\frac{I}{I_0}-45.24\sqrt{e_a}-10.92\frac{I}{I_0}\sqrt{e_a}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

ここで，α：アルベド(=0.15)，σ：ステファン・ボルツマン定数(=3.402 × 10^{-12} MJ・m^{-2}・min^{-1}・K^{-4})，I：全天日射量(MJ・m^{-2}・d^{-1})，I_0：大気外太陽放射(MJ・m^{-2}・d^{-1})。

大気外太陽放射は以下の式(近藤, 1994)より推定した。

$$I_0=\frac{I_{00}}{\pi}\left(\frac{d_0}{d}\right)^2(H\sin\phi\sin\delta+\cos\phi\cos\delta\sin H) \quad (15)$$

$$H=\cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (16)$$

$$\left(\frac{d_0}{d}\right)^2=1.00011+0.034221\cos\eta+0.00128\sin\eta+0.000719\cos2\eta+0.000077\sin2\eta \quad \cdots (17)$$

$$\delta=\sin^{-1}(0.398\sin a_2) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (18)$$

$$a_2=4.871+\eta+0.033\sin\eta \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (19)$$

$$\eta=\frac{2\pi}{3.65.25}i \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (20)$$

I_{00}：太陽定数(=117.936MJ・m^{-2}・d^{-1})，d,d_0：太陽・地球間の距離とその平均値，H：日の出から南中までの時角，ϕ：観測地点の緯度(rad)，δ：太陽の赤緯(rad)，η：1 年の i 番目の日を表すパラメータ。

3　流域蒸発散量の比較

欠測が比較的少なく，アメダス観測点に近い鹿島湖北における流域水収支法と補完法による流域蒸発散量の比較を行う。ただし，補完法で用いる気温と風速および日照時間のデータはアメダス鹿嶋，大気圧と全天日射量および水蒸気圧のデータは銚子気象官署の値を用いた。流域水収支法で求めた蒸発散量は多雨年(1998 年)に大きく，少雨年(1997, 2000 年)には小さい。これは **Fig.9** に示すように，補完法で求めた流域蒸発散量と逆の傾向になる。2000 年は両者の差は小さいが，多雨年である 1998 年は大きな差が見られ，流域境界内外への地下水移動量が大きいと思われる。他の流域においても，流域水収支法による蒸発散量が比較的大きいことから同様の推論が行える。

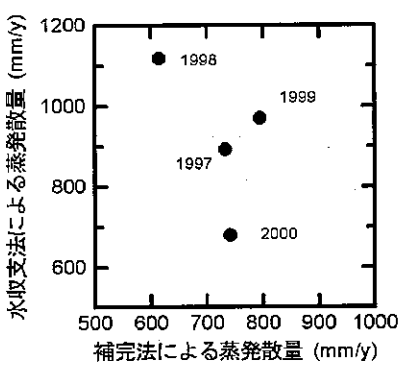

Fig.9　鹿島湖北における補完法と流域水収支法による年蒸発散量の比較

Comparison of evapotranspiration estimated by complementary relationship method with those by water balance methods in the Kashimakohoku watershed

V　結　言

鹿島台地上の 4 流域において観測した 1997 ～ 2000 年の水文データの欠測部分を補完した上で，各流域の水収支特性および年別水収支の解析を行った結果，以下のことが明らかになった。

鹿島台地の年平均降水量は 1,360 ～ 1,470mm で，1998 年は鉾田で 5 年，鹿嶋で 6 年確率の多雨年であった。また，鉾田の 1997 年は 5 年，鹿嶋の 1997，2000 年はそれぞれ 8 年および 6 年確率の渇水年であることが分かっ

た。揚水高は年ごとにばらつくものの，大洋が 100 ～ 160mm，それ以外の流域は 120 ～ 200mm であり，年降水量の1割前後を占める。年流出率は鉾田南部が35%，大洋が 20%，大野が 55%，鹿島湖北が 40%であった。

流域水収支法により求めた蒸発散量は 1997 ～ 2000 年（鉾田南部は 1996 年から）の平均では，鉾田南部が 1,000mm，大洋が 1,200mm，大野が 800mm，鹿島湖北が 900mm となり，補完法で求めた値よりも過大であった。この原因としては，収支期間の取り方の問題もあるが，一部観測データの精度の問題とともに，流域境界内外からの地下水移動が考えられる。

今後は蒸発散量を直接測定するとともに，各地目からの実蒸発散量の推定法を検討し，流域全体の蒸発散量を算定する予定である。また，地下水位や地下水流速の測定を行い，地形・地質状態と結びつけて流域の地下水分水界を明らかにする。

参考文献

1)Chang,Jen-hu(1970)：Global distribution of net radiation according to a new formula，Ann. Assoc. Amer. Geogr.，6，340-351

2)鉾田地域農業改良普及センター(2001)：水稲生育情報

3)鉾田地域農業改良普及センター(2001)：平成 13 年度田植え進捗状況調査

4)茨城県(1988)：土地分類基本調査 5 万分の 1，潮来・八日市場・銚子

5)茨城県(1989)：土地分類基本調査 5 万分の 1，磯浜・鉾田

6)金子良・丸山利輔(1967)：出島台地における地下貯留，農土試報，5，49-62

7)金子良(1973)：農業水文学，176，共立出版

8)近藤純正(1994)：水環境の気象学－地表面の水収支・熱収支－，57，朝倉書店

9)松田周・増本隆夫・久保田富次郎(2002a)：台地小流域における貯留型流出モデルとパラメータ同定法，平成 13 年度農業工学研究所研究成果情報，23-24

10)松田周・増本隆夫・久保田富次郎(2002b)：畑台地－谷地田流域を対象とした貯留型流出モデル，農業技術（投稿中）

11)Morton,F.I.(1978)：Estimating evapotranspiration from potential evaporation － practicality of an iconclastic approach －，J. Hydrol.，38，1-32

12)大槻恭一・三野徹・丸山利輔(1984a)：水収支法と補完関係式による流域蒸発散量の比較－実蒸発散量推定に関する研究(II)－，農土論集，112，17-23

13)大槻恭一・三野徹・丸山利輔(1984b)：気象資料から推定したわが国の蒸発散量－実蒸発散量推定に関する研究(III)－，農土論集，112，25-32

14)大槻恭一(1988)：補完関係を利用した流域蒸発散量の推定，水文水資源学会誌，1(1)，83-93

15)菅原正巳(1972)：流出解析法，共立出版

16)吉村亜希子・石田憲治・高木東(2000)：行方・鹿島台地における低水流出の逓減特性について，農工研技報，198，51-60

Water Balance Characteristics of the Kashima Plateau Watersheds Joining to Plain Lakes

MATSUDA Shuh, MASUMOTO Takao, KUBOTA Tomijiro and YOSHIMURA Akiko

Summary

It is important to evaluate the water cycle mechanisms on arable plateaus near plain lakes in order to establish a stable supply of water for irrigated upland fields. At the first step, water balance character of 4 small watersheds (Hokotananbu, Taiyou, Ohno, Kashimakohoku from the north) in the Kashima Plateau area was explained in this report. It was analyzed by using hydrological data with the missing part of the observation data fulfilled. The generation of the default of precipitation used the daily precipitation of the neighborhood AMeDAS points. The fulfillment of runoff was carried out by a tank model.

Annual precipitation in the Kashima Plateau is about 1,400mm, and annual runoff ratio is 35%, 20%, 55%, 40% from the north to the south watersheds. Depth of pumping irrigation is 100 - 160mm (Taiyou), 150 - 200mm (other basins), and these values account for about 10% of annual precipitation. Average annual evapotranspiration from 1997 (1996 for Hokotananbu) to 2000, which is estimated by each basin's water balance, is 1,000mm, 1,200mm, 800mm, 900mm from the north to the south basins, respectively. These values are overestimated in comparison with those by complementary relationship method, and the groundwater movement into/out of the watershed is thought as a cause of it. In addition, it is assumed, that the control area of the groundwater in each basin differs from its surface watershed area.

keywords: plain lakes, Kashima plateau, water balance, complementary relationship method, generation of missing hydrological data, tank runoff model

農業工学研究所の機構及び所在地

理　事　長
理　　事
監　　事
企画調整部長
総　務　部　長
農村計画部長
農村環境部長
地域資源部長
農地整備部長
水　工　部　長
造　構　部　長

茨城県つくば市観音台二丁目1番6号
(郵便番号 305－8609)

DEPARTMENTAL ORGANIZATION OF THE
NATIONAL INSTITUTE FOR RURAL ENGINEERING
INDEPENDENT ADMINISTRATIVE INSTITUTION

President
Executive Director
General Auditor
Director, Department of Program Management and Coordination
Director, Department of General Affairs
Director, Department of Rural Planning
Director, Department of Rural Environment
Director, Department of Regional Resources
Director, Department of Agricultural Environment Engineering
Director, Department of Hydraulic Engineering
Director, Department of Geotechnical Engineering

1-6,Kannondai 2-choume,
Tukuba City, Ibaraki,
305-8609 Japan

本技報から転載，複製をする場合は独立行政法人農業工学研究所の許可を得て下さい。

農業工学研究所技報　第201号

平成15年3月20日 印刷
平成15年3月28日 発行

独立行政法人農業工学研究所
茨城県つくば市観音台二丁目1番6号
郵便番号 305-8609　電話 029 (838) 7505 (情報資料課)

TECHNICAL REPORT

OF THE

NATIONAL INSTITUTE FOR RURAL ENGINEERING

No. 201

March 2003

CONTENTS

FURUYA Tamotsu, OGURA Chikara, NAKAO Seiji and KATO Takashi
Examples of Failure and Erosion in Embankment Slope and its Characteristic Configuration of Reclamed Farm 1
AIZAKI Hideo and MORIYAMA Hiroshi
Valuing Environmental Benefit of Bird-Watching Paddy Field as Adjustment Policy of Rice Production Considering a Harmony with Ecological System 13
YAMAMOTO Tokuji and YASUNAKA Seiji,
Development of Onsite Updating System of the Farmland Base Information 23
TAKEMURA Takeshi, KOIZUMI Noriyuki, OKUSHIMA Shuji, YAMAMOTO Shori and KATO Takashi
Experiments of Relationship between Physical Environment and Behavior of Medakafish Assuming Small - scale Channels 37
FUKUMOTO Masato, SHIMA Takeo, OGAWA Shigeo and UESUGI Syouhei
Positional Accuracy of Digital Ortho Images and Elevation Data Obtained by Digital Airborne Sensor ADS40 47
ISHIDA Satoshi, IMAIZUMI Masayuki, TSUCHIHARA Takeo, MORI Kazushi and TODOROKI Yoshinori
Method of Detecting Effect of Artificial Recharge of Groundwater 55
TSUCHIHARA Takeo, ISHIDA Satoshi, NIHIRA Satoshi and IMAIZUMI Masayuki
Water Circulation of Tohtsuruto swamp in the East Part of Hokkaido 65
MATSUDA Shuh, MASUMOTO Takao, KUBOTA Tomijiro and YOSHIMURA Akiko
Water Balance Characteristics of the Kashima Plateau Watersheds Joining to Plain Lakes 81
YUYAMA Yoshito, ARULVIJITSKUL Pongsak, SHIODA Katsuro, ONIMARU Tatsuji, NAKAZAWA Noboru and FUJISAKI Takashi
Improvement of Water Allocation Planning and Practical Operation in the Upper East Bank of the Chao Phraya Delta -Activities under the Modernization of Water Management System Project in Thailand- 93
MASUMTO Takao, YUAN Xin, AIZAWA Akiyuki, KUBOTA Tomijiro and MATSUDA Shuh
An Integrated Method for Discharge Forecast to Manage Severe Droughts in the Tone River 125
Wayne E. Marshall and SHINOGI Yoshiyuki
Utilization of Agricultural by-product-based Carbons 137
SAITO Takanori, SHINOGI Yoshiyuki and YAMAOKA Masaru
Properties of Charcoals Which are Made from Trash Flown Down to Irrigation and Drainage Canal 147
HASEBE Hitoshi, YOSHINAGA Ikuo, FENG Yanwen and OYAMA Jun
Water Purification Experiment Using *Luffa Aegyptiaca* 157
OKUYAMA Takehiko, KURODA Seiichiro, NAKAZATO Hiroomi and NATSUKA Isamu
Changes of Groundwater Flow System after Consolidation of Irrigation Pond Located in a Landslide Block 165
NAKAZATO Hiroomi, KURODA Seiichiro, OKUYAMA Takehiko, PARK Mikyung, KIM Hee Joon, and TODOROKI Yoshinori
Application of Continuous Measuring System of Electrical Rresistivity to Geoenvironmental Monitoring 173
TAGASIRA Hidekazu, YASUNAKA Masami, KOHGO Yuji and MASUKAWA Susumu
An Simplified Estimating Method of Non-linear Elastic Property of the Soft Foundation 183

NATIONAL INSTITUTE FOR RURAL ENGINEERING

INDEPENDENT ADMINISTRATIVE INSTITUTION

Tsukuba, Ibaraki, 305-8609 Japan