

水文・水資源学会 2013年度総会・研究発表会のご案内

第26回（2013年度）総会と研究発表会を、下記の要領で開催します。本学会は、水文・水資源に関わる人文・社会科学を含む科学技術の学際的な研究の発展を目標に設立されています。また、官・学・民の研究者・実務者からなる横断的な組織となっています。会員・非会員を問わず、多くの方々のご参加をお願い申し上げます。昨年と同様に参加費に代えて要旨集代の事前払い込みを原則とします。事前払い込み促進のため、当日申し込みとの金額差を大きく設定しておりますのでご注意ください。また、25周年特別企画の実施が予定されています。最新の予定等については、学会ホームページをご覧ください。

<http://www.jshwr.org/> （発表申し込み：4月22日（月）14：00～5月15日（水）14：00）

発表申し込みと要旨集原稿の送付は、例年と同様に、学会のホームページ上で行います。要旨集原稿は、あらかじめPDFの形式で作成していただく必要がありますので、以下の記事を読んで、早めの準備をお願いします。

水文・水資源学会では、昨年度よりJ-STAGEに代わってPASREG（株式会社アトラスの提供サービス）を使って原稿の受付のみを行っていますが、学会誌の電子ジャーナル化や研究発表会要旨集の公開は従来どおりJ-STAGEを通じて行います。要旨集は大会終了後もいつでも閲覧可能です。水文・水資源学会では、過去に行なわれた研究発表会要旨集についてもJ-STAGEで順次公開を始めています。

記

月 日：2013年9月25日（水）～9月27日（金）

会 場：神戸大学百年記念館（神大会館）

〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1

TEL 078-803-5294, FAX 078-803-5295

スケジュール（予定）：

9月25日（水）口頭発表、ポスター発表、企業展示

9月26日（木）口頭発表、総会、研究グループ報告、
ポスター発表、企業展示、懇親会

9月27日（金）口頭発表、25周年特別企画、企業
展示

参加について：

発表者の方・聴講のみの方共に要旨集代の事前払いをお願いします（本総会・研究発表会への参加には要旨集代の支払いが必要です）。払い込みには学会誌に同封の払込取扱票、または郵便局備え付けの払込取扱票をご利用ください。この事前申し込みの期限は5月16日（木）です。なお、払込先等の情報は水文・水資源学会のホームページ（<http://www.jshwr.org/>）に

記載されています。参加者には、冊子体の要旨集1部とCD-ROMを大会当日に配布します。要旨集（CD含）を1名につき2部以上ご希望の方は、2部目から1部4,000円で販売いたしますので、払込取扱票でお申し込みください。

申し込みカード送付・発表申し込み問い合わせ先：

〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1

神戸大学大学院農学研究科

水環境学研究室付

2013年度水文・水資源学会研究発表会 係

TEL 078(803)5896

FAX 078(803)5896

E-mail: jshwr2013@org.kobe-u.ac.jp

発表申し込みについて：

研究発表申し込みカード（コピー可）に要旨集代の払込票兼受領証のコピーを添付して、Webでの発表申し込みと同時に、上記送付先に郵送してください（5月21日（火）必着）。あらかじめ原稿作成要領に

したがって要旨集原稿を作成し、PDFの形式で保存してください。

作成方法などは学会のホームページで紹介する予定です。登録期間中（2013年4月22日（月）14:00～5月15日（水）14:00）に水文・水資源学会のホームページ（<http://www.jshwr.org/>）にアクセスし、注意事項を確認のうえ、「PASREGへのリンク」からPASREGのサイトに入ってください（当該リンクを登録期間中のみ設置します）。画面の説明にしたがって必要事項を記入し、要旨集原稿ファイル（PDF形式）を登録してください。Webサーバの状態により申し込みに時間がかかる場合もありますので、締め切り直前の申し込みは避け、なるべく早めにお申し込みください。

最終的な要旨集公開はこれまでと同様にJ-STAGE上で行われます。要旨の公開開始日などJ-STAGEに関する情報は水文・水資源学会のホームページに随時掲載する予定です。

参加申し込み	事前申し込み	正会員	要旨集代払込期限：5月16日（木） 要旨集代：5,000円 ※発表者は、払込票兼受領証のコピーを研究発表申し込みカードに添付して5月21日（火）までにお送りください。
		学生	要旨集代払込期限：5月16日（木） 要旨集代：3,000円 ※発表者は、払込票兼受領証のコピーを研究発表申し込みカードに添付して5月21日（火）までにお送りください。
		非会員	要旨集代払込期限：5月16日（木） 要旨集代：6,000円
	申し込み日		要旨集代…正会員：7,000円 学 生：5,000円 非会員：8,000円 ※大会当日、受付にてお支払いください。
懇親会			正会員・非会員：5,000円 学 生：2,000円

研究発表要領：

- 1) 資格：発表者の内、登壇者・ポスター説明者は水文・水資源学会の会員に限ります。また、発表は1人1題に限ります。

- 2) 発表形式：口頭発表、ポスター発表の2種類とします。なお、口頭発表は、まとまった内容の研究発表であることを前提とします。また、プログラムの編成の都合で発表形式の変更をお願いすることがあります。その場合、振り分けは実行委員会にご一任ください。
- 3) 口頭発表時間：1題15分程度（質疑応答を含む）。パソコン用プロジェクタを用意いたします。近年、USBメモリを通じてウイルス感染が広がるケースも多いため、参加者自身がパソコンを会場へ持参し、講演時にプロジェクタに接続してください。OHPでの発表には対応できません。
- 4) ポスターセッションの時間：90分程度を確保する予定です。優秀な発表に対しては、例年同様ポスター賞を検討しております。ポスター掲示板のサイズは幅800 mm×高さ1600 mmです（通常より細長い形状です）。ポスターはこの範囲に収めてください。

原稿作成要領：

- 1) 口頭発表、ポスター発表いずれも原稿作成形式は同一です。
- 2) 原稿用紙：A4版を使用してください。
- 3) ページ数：いずれの発表も2ページとします。
- 4) ファイルの容量：原則として3MB未満にしてください。特に大きな容量を必要とする方は、個別にお問い合わせください。
- 5) 上下15 mm、左右各13 mmの余白をとり、1行48文字、1ページ42行を厳守してください。例年、提出されたPDF原稿の大きさが必ずしもA4でないものがあります。また、左右上下の余白が指定に従っていないため、発表番号、ページを加える作業に支障をきたしています。フォーマットの遵守をお願いします。なお、フォーマットが指定されたものと著しく異なる場合、発表の申し込みを受け付けられない場合もありますので、あらかじめご了承ください。
- 6) 第1ページは、1行目の中央に講演題目を書き、1行空けて所属および講演者氏名を右側に寄せて書き、再び1行空けて本文を書き始めて下さい。なお、題目が長い場合でも1行目の先端5文字分と右側5文字分は必ず空けてください。第2ページは1行目から書き始めてください。
- 7) 図、写真および表は原稿に埋め込んでください。図中の文字や記号の大きさは、原稿をB5版に縮

小しても十分に読める程度の大きさに調整してください。カラーの図表を含めてもかまいませんが、冊子体の要旨集では白黒印刷になります。

- 8) 原稿の末尾の1行にキーワード（5個以内）を記入してください。
- 9) 原稿はワープロ等を使用して作成し、最終的にPDF形式で保存してください。PDF形式の投稿原稿見本を、水文・水資源学会のホームページで紹介する予定ですので参考にしてください。

企業展示および広告に関する問い合わせ先：

〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1
 神戸大学大学院農学研究科
 水環境学研究室付
 2013年度水文・水資源学会企業展示 係
 TEL 078 (803) 5896
 FAX 078 (803) 5896
 E-mail: tanakam@kobe-u.ac.jp

版権の譲渡：

2013年度研究発表会要旨集の版権は、デジタル加工したものも含めて水文・水資源学会に帰属します。また、上記については、全ての共著者の承諾を得ているものとします。ただし、この手続きは当該著作者の版権の行使を妨げるものではありません。

企業展示および広告について：

企業展示、要旨集への広告の掲載を募集しています。申し込み、展示、広告の詳細については、下記へお問い合わせください。

会場への交通案内（下図A、B参照）：

- ・ 阪急線：徒歩20分もしくは阪急六甲駅より市バス36系統
 - ・ J R 線：JR六甲道駅より市バス36系統
 - ・ 阪神線：御影駅より市バス36系統
- 市バス36系統は神大文理農学部前下車

(A) 広域地図



(B) 神戸大内地図



セッション	No.	日	発表時間	備 考
		1, 2, 3		

上記の欄には、記入しないでください。

研究発表申込カード（コピー可）

題 目				
キーワード (5個以内)				
区 分 (該当する分野を ○で囲んでくだ さい。複数可)	1. 気候変動・地球環境, 2. 降水, 3. 蒸発散, 4. 土壌水分移動, 5. 降雪・融雪, 6. 雪氷, 7. 流出, 8. 地下水, 9. 河川・湖沼, 10. 海岸, 11. 水質水文, 12. 森林水文, 13. 都市水文, 14. 農地水文, 15. 水文統計, 16. 流域水管理・開発, 17. 水環境経済学・水環境社会学, 18. 水資源・水環境政策, 19. 水環境・空間整備, 20. リモートセンシング, 21. 技術開発, 22. 極値現象, 23. PUB, 24. その他 ()			
発表形式	口頭発表		ポスター発表	
希望順位*				
* 発表形式の希望順位を、数字で記入してください。				
発表者氏名 (登壇者およびポスター 説明者に○印)	正会員 非会員 学生会員の別	所 属	参加予定者は、 ○印をつけてください。	
			研究発表会	懇 親 会
連絡先氏名			Tel:	Fax:
住 所	〒			
E-mail				
<p>要旨集代払込票兼受領証のコピーを必ずこの欄に添付してご提出ください。</p>				

水文・水資源学会誌, 第26巻, 第2号, 3月 (2013)

Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources, Vol. 26, No.2, Mar. (2013)

目 次

巻頭言

ざわめく自然を求めて：日本川国論

森 誠一 73

原著論文

農業用水の水利用特性に起因する水利転用の制度的特徴

ーニュージーランド南島および米国カリフォルニア州の事例に基づく考察ー

友正 達美・佐藤 政良・藤本 直也・吉村 亜希子 75

通常降雨イベントにより同定されたタンクモデルを用いた豪雨イベントの再現精度

糸数 哲・小杉 賢一朗・恩田 裕一・蔵治 光一郎・

田中 延亮・後藤 太成・太田 岳史・水山 高久 85

定常地下水流動解析に基づく手取川扇状地における灌漑期の地下水位に

影響を与える要因の評価

岩崎 有美・尾崎 正志・中村 公人・堀野 治彦・川島 茂人 99

記録・報告

水文・水資源に関する実務・技術部門交流会ワークショップ

「2011年タイ水害から1年ー我が国は何を学び、どう貢献すべきかー」開催報告

企画事業委員会 114

シリーズ「発想のたまご」

117

シリーズ「若手のページ」

118

会告

2013年度水文・水資源学会研究グループの募集について

119

Hydrological Research Letters Guidelines for Authors

120

Hydrological Research Letters 第6巻 12月 目次と要旨

125

訂 正 文

126

委員会報告

第13期第1回総務委員会 議事録

127

編集出版委員会報告 / 水文・水資源学会誌の発行計画

128

賛助会員名簿

129

編集後記

130

編集出版委員会名簿

委員長	楢山哲哉(地球研)
アドバイザー	堀 智晴(京大・防災研)
副委員長	松島 大(千葉工大・工)
幹事長	白木克繁(東京農工大・農)
北海道	早川 博(北見工大・工)・井上 京(北大・農)・田中 岳(北大・工)・八田茂実(苫小牧高専)・ 広田知良(農研機構・北海道農研)・山田朋人(北大・工)・山本太郎(北海道河川財団)
東北	山崎 剛(東北大・理)・石田祐宣(弘前大・理工)・川越清樹(福島大・共生システム)・久保田多余 子(森林総研・東北)・野口正二(森林総研・東北)・本谷 研(秋田大・教育文化)・横尾善之(福島 大・共生システム)
筑波	恩田裕一(筑波大・生命環境科学)・大野宏之(農研機構・中央農研)・黒田久雄(茨城大・農)・大楽 浩司(防災科研)・高蔽 出(気象研)・玉井幸治(森林総研)・坪山良夫(森林総研)・中村 茂(日本工 営)・深見和彦(土木研)
東京	鼎 信次郎(東工大・情報理工)・荒巻俊也(東洋大・国際地域)・飯田俊彰(東大・農学生命科学)・ 屋井裕幸(雨水貯留浸透技術協会)・木内 豪(東工大・総合理工)・清水基成(気象協会)・玉本昌司 (建設技術研究所)・藤村和正(明星大・理工)・松山 洋(首都大・都市環境)
関東甲信越	樋口篤志(千葉大・環境リモートセンシング)・石平 博(山梨大・医学工学総合)・市川 温(山梨 大・医学工学総合)・熊倉俊郎(長岡技科大・工)・小松陽介(立正大・地球環境科学)・田中克典(海 洋研究開発機構)
*中部	鷺見哲也(大同大・工)・庄 建治朗(名工大・工)・鈴木正人(岐阜高専)・田中隆文(名大・生命農 学)・手計太一(富山県立大・工)・藤田耕史(名大・環境)・松尾奈緒子(三重大・生物資源)
関西	城戸由能(京大・防災研)・秋山道雄(滋賀県立大・環境科学)・江種伸之(和歌山大・システム工)・ 大石 哲(神戸大・都市安全)・尾坂兼一(滋賀県立大・環境科学)・小杉賢一郎(京大・農)・細田育 広(森林総研・関西)・萬 和明(京大・工)
西日本	近森秀高(岡山大・環境)・猪迫耕二(鳥取大・農)・大上博基(愛媛大・農)・宗村広昭(島根大・生物 資源科学)・竹下伸一(宮崎大・農)・智和正明(九大・農)・中川 啓(長崎大・水産環境科学)・ 西山浩司(九大・工)・森脇 亮(愛媛大・理工)

※ 地域グループ毎に五十音順表記。各地域グループの太字はグループ幹事を、下線は論文担当委員を示す。

「発想のたまご」担当：**相馬一義(山梨大・医学工学総合)・**中村晋一郎(東大・水の知)・**金森大成(名大・地球水循環)・
**五名美江(東大・演習林)

「若手のページ」担当：**浜田修子(名大・地球水循環)・**平岡真合乃(東京農工大・農)・萬 和明(京大・工)・
**渡部哲史(東大・工)

* 本号の編集は中部グループ(編集責任者：鷺見哲也)が担当しました。
**編集出版委員ではありませんが、これらの欄の担当をお願いしています。

編集出版委員会 E-mail アドレス <jshwr.ed@gmail.com>.

Q&A：「水」に関するご質問がある場合、上記のアドレスにメールをお寄せ下さい。最適と思われる方にメールで回答していただきます。そのやりとりは学会誌に掲載させていただきますが、その際、質問者のお名前等は掲載されません。

巻 頭 言

ざわめく自然を求めて：日本川国論



森 誠一*

自明ながら、わが国は典型的な「山国」である。国土の多くを山地が占め、まさしく山国である。ここで、この山国観を別の角度から見れば、川の多さを意味することに直結する。すなわち、山の多さはそれだけ起伏が多く谷あいが多く、それは同時に清冷な川が多いことを意味する。日本は川の多い「川のクニ」といえる。

もちろん、この日本＝川国論という観点は単に川の数が多いということだけではなく、川は山からの土砂を運び多くの平野あるいは海岸線を作る要因の一つとなり、人や生物が生活する場を呈する平野や扇状地、河岸段丘などの平地を創出する大きな要因となってきた。しかも、山域の多くは緑に被われ、その斜面を概して占める森林の下に層を成す腐葉土や植物の生体自体に水を保ち、その緑の斜面は保水と地盤の安定に少なからず機能し、清流を保証してもきたといえる。山容によって、それぞれの川や流域の性質、つまり河相は依存する。

一方で、河川は洪水となって毎年のように、そこかしこで水害を起こし、人々の生命・財産を危険に曝し、人と水との闘いの歴史を連綿と継続させてもきた。人が河川を利水活用して生活するためには、同時に洪水などの防災すなわち治水をしなければならない。この営為の歴史も、このクニが「川国」である由縁である。このクニの人々は、河川を利水しつつ治水することに腐心してきたのである。すなわち、日本は、このような天恵と天災の典型性を示す川国といえる。

実際、縄文の昔から我々の先祖は、山地の裾野や山際から河川が形成する流域に定住し、点々と集落を作った。さらに時代を経るごとに、治水により洪水に対する安全度を高め、豊かな水資源を活用する工夫をしつつ、稲作を中心に農業地帯となる平地を土地改良により確保してきた。次いで明治期以降、安全な土地と利水によって、多種の工業を興し世界有数の経済大国ともなった。換言すれば、日本という“クニ”は、水環境の多様な機能を活用することによって「川国」を顕現してきたといえる。

また一方、我が国は海に囲まれた島国、あるいは海洋国という典型性がある。海に囲まれた地理条件は水分の多い雲を発生させ、一定量の降水を保証するものでもある。ただ、水産業や交通の場として広大な海は活用されてきたが、利水としてはほとんど役割をなさない。河川の水資源が生活・農業・工業用水を供給し、人の生活の基盤を形成し、これは1960年前後から始まる高度経済成長の礎となったといえる。我が国に乏しい地下資源はタンカーや貨物船で運搬可能であるが、一億の民を養う水資源を運搬供給することは現実的ではないだろう。この本来的に水資源は豊かで、流域内でほとんど供給される国土状況は日本の自然特性であるといってよい。つまり、もし水資源を輸入に依存しなければならない国土であったとしたら、戦後10年ほどで始まる経済成長はなかったのではないだろうか。

* 岐阜経済大学地域連携推進センター教授

ここで留意しておかなければならないのは、この川国ということは決して表層水としての河川水ばかりでなく、伏流水や湧水としても「陸水」の量が顕著に多いという土柄を意味する。例えば、濃尾平野外周の山麓部では扇状地から平地に移行していく一帯には、多くの扇端泉があり広範な湧水帯となり、それを集めて川を作っていた。数十年ほど前までは、この一帯には豊富な一大湧水群があり、河川水源の多くをまかなうほどであった。この特性は降水量に加えて、水瓶のように陸水量が多い日本の典型性を端的に示している。もっとも水文学的にいえば、河川水も地下伏流水も密接な関連があり、高きから低きに流れる同質現象と捉えることもできるのかもしれない。同時に、この豊富な湧水域を含む淡水生態系は、特徴的で多様な生物相を保持する要因となっている。伏流水を含む河川は、人間を含む生物現象の基礎となる真水を供給する。生物環境の成因という面からも、川に大きく依拠している「川国」なのである。

しかしながら現在、そんな日本の河川環境は危機的状况にある。この20、30年で、例えば魚類とその生息地は確実に減少している。河川法が1997年に改正され多自然（型）川づくりが実施されても、生態系配慮を文言に加えた土地改良法が改正されても、自然再生法や特定外来種法が制定施行されても、絶滅危惧種は増加し続けている。かつての「ざわめく」ような魚群は見られないし、復活したところなど極めて少ない。むしろ、そうした法や事業によって、減少速度は減速してはいるのかもしれない。しかし、五感で感じる「ざわめく自然」は、減退の一途を辿っているとしか思えない。この感想は私個人の経験にすぎないが、確固たる実感である。これは、単に私自身の加齢による感性の鈍さのせいばかりではないようだ。ずいぶん以前、三重県のある川で古老に聞いたことだが、かつてはアジメドジョウが敷き詰めた絨毯のように川底にいて、川に足を入れるとザワザワと音をたてて逃げていったという。今、この「ざわめき」はない。

多くの河川は、例えば流量変動や河床地質によってよく蛇行して、ワンドや溜まり、分流、河川内伏流水などの物理環境を多様に発達させ、様々な生物を宿す場を呈している。この状況こそが、保全すべき「自然のざわめき」がある河川環境の大粹といえよう。しかしながら、川という存在は、ますます日常生活から遠くなっている。以前と変わらず同じ地理的位置にあっても、川は人の生活や意識の中から距離を広げている。距離があればあるほど、「自然のざわめき」が聞こえなくなるようである。しかも、ざわめかない自然が増えつつあるばかりでなく、「自然のざわめき」を感じない知覚が蔓延しつつある。つまり、「ざわめき」がない状況ばかりでなく、そもそも「ざわめき」を聞く耳を持たない事態になっている。その事態は深刻である。

そうした人々が感得する「自然のざわめき」という認知や意識も、河川環境の構成要素とすることができよう。川は人の生活を支え、歴史・文化を培う風土の重要な構成要素としても存在してきた。とすれば、今後の川づくりや流域管理において、治水と利水や、おもに生物多様性を意味する環境に加えて、地域住民における環境・歴史・文化の特性への意識あるいは価値観も考慮の対象にするべきであり、それも合意形成の資料とすることが肝要である。おそらく、その住民の原風景となってきた流域環境を守るとは郷土への思い入れを醸成し、国土の環境保全へのシナリオに強く直結するものなのだろう。かつて人々が体感して、その感性に織り込んできた「自然のざわめき」を、今我々は取り戻す時期にあるように思う。

農業用水の水利用特性に起因する 水利転用の制度的特徴

—ニュージーランド南島および米国カリフォルニア州の事例に基づく考察—

友正 達美¹⁾ 佐藤 政良²⁾ 藤本 直也³⁾ 吉村 亜希子¹⁾

¹⁾ (独) 農研機構 農村工学研究所
(〒305-8609 茨城県つくば市観音台2-1-6)

²⁾ 筑波大学大学院生命環境科学研究科
(〒305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1)

³⁾ (独) 国際農林水産業研究センター
(〒305-8686 茨城県つくば市大わし1-1)

水資源の効率的配分方法の一つとして、市場メカニズムを利用した水利転用が注目されている。しかしながら、農業用水は地域における水循環を形成する等、一般的な資源と異なる特徴を持っていることから、それをどのように取り扱うかが、水利転用において重要な課題となる。そこで本研究では、ニュージーランド南島の灌漑地区内農地間での水利転用と、米国カリフォルニア州の水銀行における地域間での水利転用の制度を取り上げ、農業用水の持つ特性が、水の自由な取引をどのように制約しているかという視点から分析した。二つの事例ではいずれも、自由な市場取引ではなく、地域の水資源管理を司る公的機関が主体となっており、個別の水利転用を仲介し、その際、転用の技術的な可否の検討に加え、地域経済への影響、野生生物への影響等、農業用水の持つ多面的機能の保全を要件とした審査が行われている。周辺との諸関係の発生が不可避である農業用水の転用の実現にとって、その規模の大小に関わらず、社会的受容が大きな要因となり、自由な市場取引は制限される。

キーワード：農業用水、水利転用、ニュージーランド、米国

I. はじめに

世界的に、新たな水資源の開発が困難となっている現在、既存の水資源の有効利用が重要な課題となっており、その方法の一つとして、市場メカニズムを利用して利水者間の水の需要と供給を調整し、より有効に水を利用できる利水者へ水を配分する「水利転用 (water transfer)」が注目されている。

水利転用が行われるためには、その基本的な条件として、水の転用を可能にする制度的枠組みと、水の出し手 (供給側) と受け手 (需要側) に対する経済的動機付けが必要となる。これは水に限らず、一般的な財の取引に共通する条件と言える。

しかしながら、水資源、特に農業用水は一般的な財と異なる特徴を持っている。一般に、水の供給には多くの費用をかけることはできないため、開水路

で流送され、重力に従って自然流下し、逆方向の流送には別途費用が必要となること、流送中に浸透や蒸発によりその量が変化すること等である。また、水路やその周辺の水環境が地域の生態系の一部を構成するなどの正の外部経済効果、いわゆる多面的機能を持っている。これらは灌漑の技術的特性に起因するものであり、水利転用においては、上記の農業用水の特徴を考慮せざるを得ない。

水資源の配分における市場メカニズムの機能に関する議論は、古くは安井 (1975) による原論的な考察があり、近年ではGrigg (2000) による論点整理、Brown (2000)、Postel (2000) による世界的な事例の紹介がある。また、水利転用と環境要因の関係についてOECD等による検討がある。しかし、多面的機能等の農業用水の特徴を踏まえた、具体的な制度

の詳細はわが国では十分知られていない。また、水市場の先進事例であるオーストラリアのマレー・ダーリング川流域における水利移転については、木下ら（2006）、安田ら（2007）による研究がある。これは灌漑用水と環境用水を分離し、灌漑用水には環境的要素はないものと見なして市場取引を行う制度とされる。水利権の転用には政府の決済が必要であり、その際の判断には環境面が含まれるとの報告もある。ただし、灌漑用水の持つ多面的機能については検討されていない。

そこで本研究では、ニュージーランド南島の灌漑区域内での農地間での水利転用と、米国カリフォルニア州の水銀行における広域の水利転用の事例を取り上げ、水利転用において水の特徴をどのように取り扱っているかを分析し、また、多面的機能が発揮されている場合に農業用水の水利転用が制約されているか、制度的特徴を明らかにする。

なお、ニュージーランドにおける灌漑については野村ら（2000）による概説があるが、水利転用に関してはこれまで我が国ではあまり紹介されていない。米国カリフォルニア州の灌漑制度については八木（1996）など、水銀行については遠藤（2009）などにより紹介されているが、水利転用における多面的機能等の取り扱いについては詳述されていない。

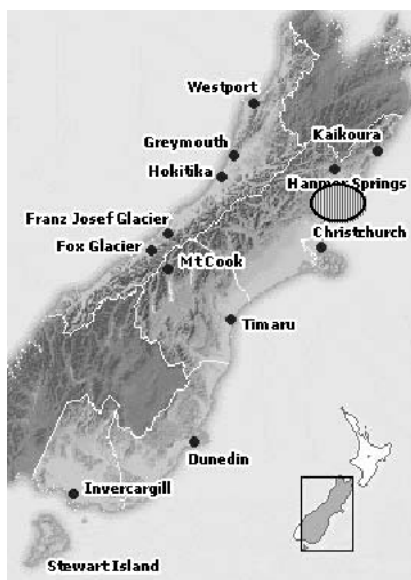


図-1 W地区の位置

Fig. 1 Location of W irrigation district.

Ⅱ. 研究の方法

灌漑地区内において水利転用を行っている事例として、ニュージーランド南島W地区を対象とした灌漑会社等への聞き取り調査を2003年2月に行い、その後の変化についてホームページの文献で確認した。

また、広域の水利転用を行っている事例として、米国カリフォルニア州の水銀行について、同州水資源管理局への聞き取り調査を2002年9月に行い、その後の変化についてホームページの文献で確認した。

それぞれの事例について、水利転用の仕組みを自由な市場取引との相違や多面的機能の取り扱いに着目して分析し、両者に共通する制度的特徴を解明する。

Ⅲ. ニュージーランド南島における灌漑地区内の水利転用の事例

1. 調査地区の概要

ニュージーランドでは、1970～80年代前半までは、政府が灌漑プロジェクトを直接実施し、維持管理も行っていたが、1980年代の行政改革以降、灌漑施設は民営化ないし地方に移管され、無償で供給されていた農業用水は有料化されることとなった（野村ら、2000）。また、河川からの農業用水の取水については、資源管理法（Resource Management Act）に基づき、広域自治体（Regional Council）が、資源利用承認（Resource Consents）と呼ばれる許可水利権を、利水者に与える制度となっている（New Zealand legislation, 2009）。

調査対象のW地区は、ニュージーランド南島カンタベリー平野北部に位置する面積約40,000 ha（うち

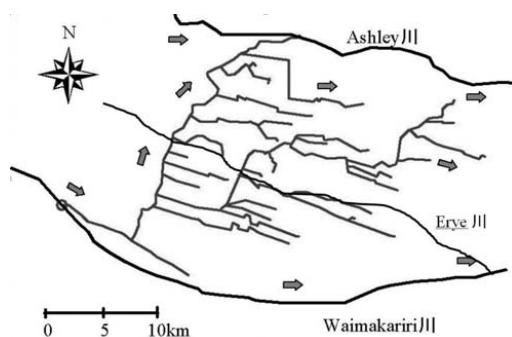


図-2 W地区の用水路組織

Fig. 2 Irrigation canal structure in W district.

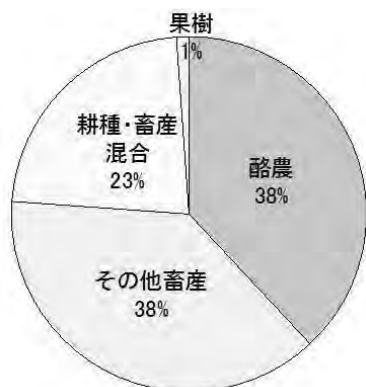


図-3 W地区の灌漑用水の用途
Fig. 3 Irrigation water use in W district.

灌漑面積18,000 ha), 受益者数275人の灌漑地区である(図-1)。水源はWaimakariri川(平均流量126 m³/s)で, W地区灌漑会社が取水し, 総延長800 kmの土水路で農家に灌漑用水を供給している(図-2)。調査時点での灌漑用水の用途は酪農38%, その他家畜38%, 耕種・畜産混合23%, 果樹1%であった(図-3)。

地区内の水路はほとんどが土水路の開水路で, 漏水による損失は全体で10%程度と見込まれている。損失が少ないのは, Waimakariri川の水にはシルトが含まれており, 水路の潤辺に目詰まりが起きて漏水が止まるとのことであった。なお, 水路系統は用水路のみで, 農業排水路は地区内に存在していない。これは用水路の末端が一般に農場の貯水池に接続しており, 灌漑水は多くの場合そこから採草放牧地にスプリンクラーで散水されることから, 余剰水の排水を想定していないためである。

2. W地区における水管理の概要

当地区の灌漑用水を管理しているW地区灌漑会社は, 1800年代末に設立された同地区の水供給委員会を, 1998年に再編して設立された。その際, 利水者に対して小口に分割した引水権 (share) が販売された。

1単位(1口)の引水権は, 灌漑期間内に毎秒 0.45 l/s の用水供給を受けることができる権利である。水源となるWaimakariri川からの取水量に引水権上の制約があるため, 引水権の数は地区全体で1,800と定められている。また, 農地1 haあたりにつき取得できる引水権は1単位までと定められている。W地区灌漑会社での聞き取り調査によれば, これは特定の利水者による「水の独占」を防ぐためとのことであった。

利水者がW地区灌漑会社に支払う水利費は, 引水権1つにつき調査時点で年間61NZドル (および消費税) である。流量に対して料金が定められているが, 実際の水の使用量に関わらず定額であり, また引水権は1 haあたり1つまでと定められていることから, 実質的に灌漑面積1 haあたり年間61NZドルの面積割課金となっている。

一般に, 面積割課金の場合水を多く使用した方が単位水量あたりの水利費は安くなるが, 当地区の場合, 主な灌漑目的が採草放牧地への散水であることから, 必要以上に水を使用してもウォーターロギングなどの問題を起すだけであり, 水を浪費する理由にはならないとのことであった。また, 水利費の水準は, 会社の経費 (水利施設の操作, 維持管理, 会社運営費) と, 1998年の会社設立以降の建設コストを賄う水準に設定されている。会社設立時に引き継いだ既存の水利施設等の建設コストについて利水者は負担していない。

3. 引水権の取引による灌漑地区内の水利転用

利水者が保有する引水権は, 原則として利水者間での売買や, 一時的なレンタルが可能である。ただし, 利水者が直接に相対で引水権を取引できるわけではなく, W地区灌漑会社に申請し, 許可された場合に限られる。

W地区灌漑会社への引水権の売買またはレンタルの申請があった場合の, 具体的な可否の判断について聞き取りを行ったところ, 引水権の売買やレンタルは, ある用水供給経路の引水権を, 従前の引水位置よりも上流側に転用する場合には許可されるが, 逆に従前の引水位置よりも下流側に転用する場合は許可されないとのことであった。これは, 引水権を従前よりも下流に転用した場合, 送水時の水路損失が増大するため, 引水権が規定する 0.45 l/s の送水が不可能になるという開水路かつ土水路での送水による技術的な問題がその理由となっている。

4. 灌漑地区内の水利転用と環境との関係

W地区では灌漑期区内の水利転用, すなわち引水権の取引について, 生態系保全等のいわゆる多面的機能は特に考慮されていない。これはW地区での農業用水路では, 利水者から送水の申請があった場合に, その都度送水される半供給主導型 (semi-demand driven) の水利システムであるため, 農業用水路内に常に水があるわけではなく, また前述のよ

うに当地区内には排水路がないため、河川から用水路に魚類が入った場合、用水路内で生存することも排水路から河川へ戻ることもできず、魚類などの生息に適していないためである。そのため、生態系保全の観点から、河川からの取水のためにW地区灌漑会社が得ている許可（資源利用承認：Resource Consents）において、取水口への魚避けスクリーン（図-4）の設置と稼働が義務づけられている。その他、W地区灌漑会社が取得している資源利用承認には、地下水涵養に関する規程が含まれているが（表-1）、これは農地への灌漑を通じた地下水涵養の多寡と関連づけられたものではない。また、農地への配水に関係しないため、水利転用の制約条件ともなっていない。



図-4 W地区取水口の魚避けスクリーン
Fig. 4 Fish protection screen at the intake gate.

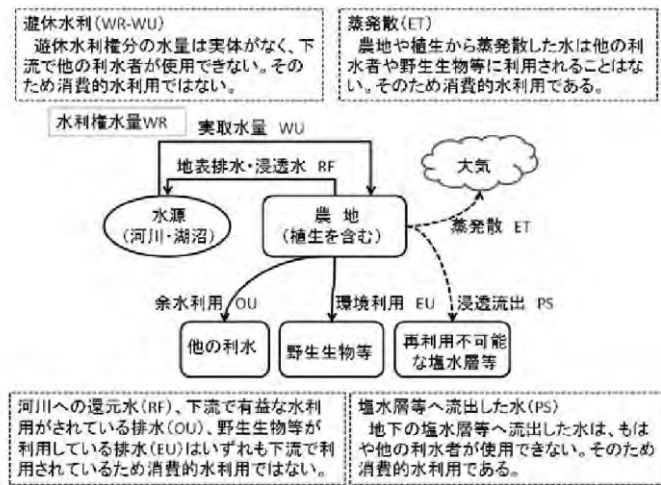
排水路系を持たず、用水路内を生物の生息環境としない灌漑地区内の水利用方式の特徴から、灌漑用水と環境用水とは取水の段階で分離され、灌漑用水に由来する浸透水等が生態系保全等の多面的機能を発揮していると見なされないことから、生態系等の環境保全は水利転用の制約要因となっていない。



図-5 カリフォルニア州の主要な利水プロジェクト
Fig. 5 Main rivers and protected waters in California.

表-1 資源利用承認における環境保全に関連した付帯条件
Table 1 Collateral conditions for environment conservation on Resource consents.

項目	承認する活動	付帯条件
河川からの取水	2つの取水口からWaimakariri川の水を10.5 m ³ /sまで取水すること。 うち9.0 m ³ /sは灌漑用水の供給、 1.5 m ³ /sはEyre川への給水に使用できる。	・ 水の利用方法を監視すること。 ・ 取水場所で魚避けスクリーンを稼働させること。 ・ Waimakariri川の流量が46.2 m ³ /s以下になった場合は取水を制限する。
取水のための構造物の設置	Waimakariri川のBrown Rock地点の河床で、提案した取水構造物の建設、使用、及び既存の取水構造物の改修を行うこと。	・ 構造物上完全な状態を維持する。 ・ 侵食を監視し、制御工事を要求通り実施する。 ・ 魚避けスクリーンと魚用バイパスを稼働させる。
地下水涵養	地下水涵養のため8月から5月までEyre川に3 m ³ /sまで注入すること。	・ 地下水位が高いときは注入の必要はない。 ・ 注入する流量を記録する。 ・ 地下水の水位と水質の変化をモニタリングする。 ・ 注入ポイントで水質を監視する。 ・ 地下水涵養試験の結果を検討しながら土地所有者との協議を行う。



図一六 消費的水利用と消費的でない水利用の区別
Fig. 6 Consumptive water use and non-consumptive water use.

Ⅳ. 米国カリフォルニア州水銀行における広域の水利転用の事例

1. 水銀行による広域の水利転用の経緯

米国カリフォルニア州は州全体にわたり、連邦政府、州政府等による多くの水利プロジェクトが実施されている (図一五)。その中で、渇水時水銀行 (Drought Water Bank, 以下水銀行と記す。) は1987年から1992年にかけての同州の干ばつに対処するために1991年に設立されたもので、干ばつ期に水銀行が仲介役となって、水の出し手から水の受け手に一時的に水利転用を行う仲介プログラムである (遠藤, 2009)。恒久的な水利権移転を行うものではないことに留意する必要がある。

1991年には、水銀行は350の出し手から 820,000 AF (エーカーフィート, 1 AF=約1,233.5 m³) の水を 125USD/AFの単価で購入した。このうち51 %は休閑農地, 32 %は地下水, 18 %は貯水池の余剰水であった。同年、水銀行は 175USD/AFで受け手に販売した。販売先の2 %は都市用水, 13 %は農業用水で、40 %は翌年に繰り越された (California Department of Water Resources, 1993)。

1992年には18の出し手から193,000 AFの水を 50USD/AFの単価で購入した。このうち84 %は地下水から、16 %は貯水池の余剰水であった。同年水銀行は72USD/AFで受け手に販売した。販売先の25 %は都市用水, 60 %は農業用水, 15 %は環境用水であった。2009年から2010年にかけて、水銀行

による仲介が進行中である (California Department of Water Resources, 2009)。

2. 水銀行における水利転用の仕組み

水銀行における水利転用は、以下の順序で行われる。①水の受け手は水銀行に対して運営費を含めた料金とともに緊急に必要な水の要望書を提出する。②水銀行は自発的な水の出し手から水を購入する。③水の出し手は水銀行に引き渡せる水を用意する。④水銀行は州の水利施設を使って出し手から受け手へ水を供給する、という仕組みで水を転用させる。

渇水時の短期間 (1年以内) の水利転用については、他の利水者だけでなく、下流での有益な水利用や野生生物の生息環境、更に農業の社会的な波及効果を幅広く保全することを基本原則としている。そのため、水の出し手は転用による負の影響がないことを文書で申し立て、州政府はそれを審査し、実施上の問題がない場合のみ、水利転用が実現する。また、水銀行は水利転用の後も実際の水利用を監視している。この水銀行における水利転用の制度的特徴についてCalifornia Department of Water Resources (1993), State Water Resources Control Board (1999, 2012), California Environmental Protection Agency (2002) 及び2002年に行った聞き取り調査の結果に基づいて以下に述べる。

3. 水利転用の対象となる水の限定

ここで水利転用の対象として認められるのは、各利水者が持つ契約上の受水権量ではなく、その内部における、利用実績があり、休耕や節水等により、実体的に減少する水量分である。減少する水量を特定するために、「消費的水利用」の概念が用いられている。

水循環における消費的水利用と消費的でない水利用の区別の概念を図-6に示す。水利権水量（WR）から実際に利用している水量（WU）を差し引いた遊休水利、農地に取水された後に、下流で水源への還元水になる地表排水および浸透水（WF）、農地から流出した後に何らかの有用な利用がなされる余水（O U, EU）は、いずれも消費的でない水利用である。この消費的水利用と消費的でない水利用の区別に基づいて、ある利水者が節水によって水利用を変化させた場合に、水利転用が可能になる水量を図-7に、また具体的な節水の方法と取水量の変化、転用可能な水量を表-2に示す。

水の出し手は、節水によって取水量を減らした場合、単純にその取水量の減少分を売却できるのではない。取水量の減少に伴う水循環の変化において、蒸発散や塩水層への浸透流出等、再利用できない消費的水利用を減少させた分だけを売却できる。例えば農地からの排水や浸透流出水であっても、水循環の中にある限りは他の利水者に再利用されている可能性があると考え、第三者への影響を防ぐために水利転用に対象から除外しているのである。こうした考え方は州の水規則として成文化されている（表-3）

4. 水利転用における多面的機能の取り扱い

表-3に示した水利転用の制限は、農業の持つ多面的機能のうち、地下水涵養機能、生態系保全機能を保全する意味を持っている。更には地域経済への影響という農業の社会振興機能をも考慮した制度となっている。水循環の中で発揮される灌漑用水の多面的機能が社会的に広く認知されており、水銀行という緊急時の水利転用においても、このような保全が制度的に図られていることは注目される。

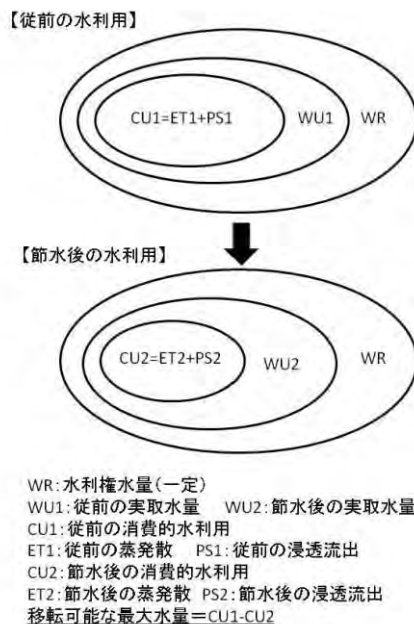


図-7 0水利転用可能な水量
Fig. 7 Volume of transferable water.

表-2 節水の方法と取水量の変化、転用可能な水量
Table 2 Method of water saving, changes of water intake, and transferable water volume.

節水の方法	取水量の変化	移転可能な最大水量	制限の理由、付帯条件等
休耕による取水の停止	WU1	$ET1+PS1-ET2-PS2$	取水量の削減から還元水、地下水涵養量の減少を相殺し、消費的水利用の変化分だけが移転可能となる。休耕中に自然植生が繁茂するとET2が増大するため農地の管理が義務づけられる。
転作による取水量の削減	$WU1-WU2$	$ET1+PS1-ET2-PS2$	上記と同じ理由から、作物の変更による消費的水利用の減少分だけが移転できる。
節水等による取水の削減	$WU1-WU2$	$PS1-PS2$	消費的水利用のうち作物からの蒸発散量が変化しないため、消費的水利用の変化はPSの削減分のみとなる。
水路ライニングによる漏水防止	$WU1-WU2$	水路部分での $ET1+PS1-ET2-PS2$	送水過程での水路からの漏水量のうち、河川に還元する水量は消費的水利用に含まれない。
塩水層への流出防止等	なし	$PS1-PS2$	再利用できない塩水層への流出分の水量は他で利用可能となる。
新たに貯留した水	なし	貯留水量	既存の貯水を譲渡するための貯水池の操作は、他の利水や環境に影響するため認めない。

表ー3 第三者への悪影響を防止するための水利転用の制限

Table 3 Restrictions on water transfer against third party injury.

対象	水利転用の制限	州の水規則
他の利水者	<ul style="list-style-type: none"> ・地表水の還元，地下水涵養の減少または増大によって，他の合法的な利水者に損害を与える水利転用を禁止 ・有益なニーズを満たす水を奪う水利転用を禁止 ・水の移転先での目的外の使用を禁止 	水規則1215, 1702, 1706, 1727, 1736, 1810
自然環境	<ul style="list-style-type: none"> ・地表水の還元，地下水涵養の減少または増大によって，魚類，野生生物に対し不当な損害を与える水利転用を禁止 	水規則1727, 1736, 18310
地域経済	<ul style="list-style-type: none"> ・休耕や転作に伴う農業資材の需要減少，農業雇用減少，水利施設の利用低下により地域全体の経済に対し不当な損害を与える水利転用を禁止 	水規則1810

実際の制度運用においては，水利転用は州水資源管理委員会（State Water Resources Control Board）に申請するが，その申請様式には，事前に生態系保全を所管する州漁業狩猟局（California Department of Fish and Game）の意見を聞き，その意見を記入する欄があり，事実上，州漁業狩猟局の承認を得ることが必要条件となっている．なお，州漁業狩猟局は，水利移転を生態系へのストレス要因と見なしており，その影響の緩和を野生生物保全のための行動計画に盛り込んでいる（Bunn *et al.* 2007）．また，生態系保全のための水利転用における運用の事例としては，水銀行が購入した水のうち，1991年には20.1 %（約16万5千AF），1992年には17.8 %（3万4千AF）が他の利水者への配分から除外され環境用途に配分された．これはサクラメント川，サンホアキン川の河口付近（デルタ）の生態系を保全するためである．また，1992年には20万AFを越える水の出し手は，超過分の10 %を，生態系保全を所管する州漁業狩猟局に提供し，生態系への影響緩和に利用する措置がとられた．

V. 考察

1. 資源としての農業用水の特性

水は河川等で取水された後に，開水路で自然流下により流送されることが多い．この過程で浸透や蒸発散による水量の減少，場合によっては外部からの

流入による増加が起こる．水路からの浸透水は，水路周辺の植物，動物の成育を助け，量によっては地下水を涵養する．また，農業用水は最終的に農地に面的に施用され，その後，図ー5に示した通り，一部は蒸発散等の形で「消費」されるが，それ以外の水は排水として河川等に還元されるか，浸透して地下水を涵養する．更に，湧出などを通じて下流域での再利用の可能性を生む．

このような，水循環の中で他者にも便益を及ぼすという農業用水の特性から，農業用水の利用には「非排除性」が生じ，その結果として，正の外部経済効果としての多面的機能を発揮することとなる．

これは，水資源が，オープンスペースで，比較的簡便な技術で利用されていることに起因する特性である．同じ液体の資源でも，例えば石油が，一般にパイプライン等で外部環境と遮断された形で輸送されていることとは対照的であり，水が，相対的に安価な資源であることから生じている．

2. 事例における水利転用と自由な市場取引の相違

自由な市場取引においては，対象物のおし手はそれを自由に使用，収益，処分できる所有権を有していることが前提であり，その所有権とともに対象物を受け手に渡すことになる．またその取引は第三者には影響しない，独立したものであることも前提とされている．また，市場取引を行う目的として，その対象物の利用が最も効率的になることが期待されている．

ニュージーランド南島のW地区内における水利転用の事例，および米国カリフォルニア州の水銀行における広域の水利転用の事例では，自発的な水のおし手と受け手の間での水利転用が行われる点で，市場取引に類似して見える．しかし実際には，灌漑会社や水銀行という地域の水資源管理を行う公的機関が仲介した転用である点，また転用の可否についてその機関による審査と承認を要件としている点で2つの事例は共通している．

前者について見れば，水の価格は公的機関が設定しており，水のおし手と受け手の間での自由な価格交渉の結果ではない．後者について見れば，農業用水が正の外部性として多面的機能を持っていると見なされる場合，その転用水量は，その機能を阻害しない範囲に制約される．ただし，ニュージーランドの事例からわかるように，多面的機能の存在をどのように捉えるかが重要なポイントである．

この公的機関の関与は、自由な市場取引のような、自由な相対取引を前提として、それを外から監視するような関与とは大きく異なり、転用を主体として管理していることが指摘できる。

3. 水利転用の成立条件と事例の制度的特徴

1) 水利転用の成立条件

農業用水の転用が、自由な市場取引と異なる理由は、前述の農業用水の特性から、水源からの取水の権利が、水資源の変動性により必ずしも水量として確定しておらず、更に開水路での送水損失等から、所有権の及ぶ範囲や、技術的な処分の可能性が明確でないこと、また、ある水循環の中で還元水の利用を通じた正・負の外部経済効果によって第三者に影響することから、市場取引の対象物とはなり難いためと考えられる。

更に、水の利用が効率的になることそのものが、常に社会的に受容されるとは限らない。正・負の外部経済効果を通じた第三者との関係が発生することにより、社会的に望ましくない影響が発生する可能性があることに加え、経済的に最も生産性の高い水利用への資源配分の変化は、経済力のある利水者による水の独占を許容する可能性があるためである。

以上のことから、農業用水の水利転用には、完全自由市場による市場取引を直ちに適用することはできない。技術的可否の問題や、流動性という水資源の特徴から第三者への外部効果が生じる可能性が存在するためである。そのため、①水の出し手から受け手への転用する権利内容を確定し、第三者への影響なしに転用できるようにすること、また、②水利転用が社会的に受容されるための制約が必要であり、そのための公的機関による関与の仕組みが水利転用の成立条件となると考えられる。

2) 転用する権利内容の確定

ニュージーランド南島W地区の事例では、転用される水の権利は農地への引水権である。これは農家が水源の河川から取水する権利ではなく、灌漑会社に対して送水を請求できるという債権である点に特徴がある。なお、この引水権には、灌漑期に河川流量が不足した場合には送水できないとの付帯条件が設けられており、水資源自体の変動性に伴う送水の制約については免責されている。

W地区では、土水路による水の流送により流下の途中で水路損失が発生するが、これについては、引水権の転用を灌漑会社が転用を仲介し、地区内での

水利転用によって新たな送水損失が発生しないかどうか審査した上で転用を許可している。この点で、当地区の引水権は、上流と下流では、一つの引水権が契約上保証する水量は平等であるが、その転用可能性においては平等ではないことになる。

なお、水利転用による第三者への影響については、特に制度上明記されていない。これは採草放牧地へのスプリンクラーによる散水が主要な灌漑の形態であり、かつ自然河川以外の排水路網を持たないことから、ある農地に送水された水の浸透水や余水の利用を想定する必要があること、農地に送水された後のウォーターロギングによる周辺農地への悪影響は、利水者間の問題であり灌漑会社は関与しないことがその理由と考えられる。

米国カリフォルニア州の水銀行の事例では、水利転用の対象となっているのは、前述の通り水利権上の水量ではなく、実際に利用可能な実体としての水として、水利権とは別に定義している。この際に、広域での水循環を考慮して、水利転用の原資となる水を消費的水利用の減少分に限るという強い制約条件を課している。また第三者への悪影響の防止には、他の利水者だけでなく、地下水涵養機能や生態系保全機能などの、農業の多面的機能の保全も含めていることに大きな特徴がある。

V.2.で述べた農業用水の資源利用の特徴から、ある利水者が持つ水に関する権利と、実際に転用可能な水との間にずれが生じる問題に対して、ニュージーランド南島W地区の事例では、引水権をそのまま転用するものの、その転用の可否について対象となる農地の位置関係で個々に審査し確定するという方法を探り、米国の水銀行の事例では、水利権とは別に転用可能な水を確定するという方法と採っている。いずれも転用は利水者相対で行うことはできず、転用する権利内容の確定は、それぞれ灌漑会社、水銀行という専門機関の審査を通じて行われている。

即ち、水利転用によって水に関する権利を交換する場合には、それともなう水の流送時における損失等を技術的に検討する必要があることから、水の出し手と受け手の相対による自由な市場取引になじまず、専門機関による審査を行う制度になっていると考えられる。

3) 水利転用が社会的に受容されるための制約

ニュージーランド南島W地区の事例では、引水権によって得た水を灌漑以外の目的に使用することは禁止されており、他用途への転用を防止している。

また、取得できる引水権が農地1 haあたりにつき1単位までに規制されることで、特定の利水者による「水の独占」を防止している。

米国カリフォルニア州の水銀行の事例では、水利転用を仲介する水銀行が可否を審査する際に、前述のような利水上の第三者への悪影響の防止に留まらず、表-3に示したような地域経済への影響が考慮される。これは水利転用が水利利用の効率性を高めるものであっても、その波及効果が地域経済に悪影響を及ぼすものであれば容認できないという、社会的受容の観点からの転用への歯止めになっていると考えられる。

水利転用が社会的に受容されるための条件は異なるが、いずれも、既存の水循環がもたらしめている便益を保全することを原則に、水利転用に一定の制度的な制限が設け、個々の転用の可否の判断を専門機関の審査を通じて行っている。これは、自由な交換を通じて便益の最大化を図ろうとする自由な市場原理の考え方とは異なっており、既存の受益者が不利になることのない範囲で、水に関する権利を交換しようとするための制度的特徴であると言える。

VI. 結論

ニュージーランド南島の灌漑地区内農地間での水利転用と、米国カリフォルニア州の水銀行における地域間での水利転用の制度を取り上げ、農業用水の持つ特性が、水の自由な取引をどのように制約しているかという視点から分析した。二つの事例はいずれも、水の出し手と受け手が水に関する権利を直接取引する自由な市場取引ではなく、地域の水資源管理を司る公的機関が主体となって、転用の技術的な可否の検討し、個別の水利転用を仲介したものである。カリフォルニア州の事例では、更に、地域経済への影響、野生生物への影響等、農業用水の持つ多面的機能の保全を要件とした審査が行われている。これは、送水時の浸透による損失等、周辺との諸関係の発生が不可避である農業用水の転用の実現にとって、その規模の大小に関わらず、社会的受容が大きな要因となり、自由な市場取引を制限するためである。

謝辞

本研究に関して、筑波大学大学院生命環境科学研究所の遠藤崇浩准教授、(独)農研機構農業工学研究所の勝山達郎教授には、カリフォルニア州の渇水時水銀行について情報提供をいただきました。記して感謝の意を表します。

引用文献

- Brown LR. 2000. 地球白書2000-01, ダイヤモンド社: 66-98.
- Bunn D, Mummert A, Hoshovsky M, Gilardi K. and Shanks S. 2007. California Wildlife Conservation Challenge, California Department of Fish and Game, <http://www.dfg.ca.gov/wildlife/WAP/docs/report/full-report.pdf> (参照: 2012/10/01).
- California Department of Water Resources. 1993. The 1991 Drought Water Bank, http://www.water.ca.gov/watertransfers/docs/10_1991-water_bank.pdf (参照: 2012/10/01).
- California Department of Water Resources. 2009. 2009 Drought Actions, http://www.water.ca.gov/watertransfers/docs/2009drought_actions.pdf (参照: 2012/10/01).
- California Environmental Protection Agency. 2002. Water Transfer Issues in California. http://www.waterboards.ca.gov/publications_forms/publications/general/docs/watertransfers.pdf (参照: 2012/10/01).
- 遠藤崇浩. 2009. 水配分における政府の役割〜カリフォルニア渇水銀行を事例に〜, 世界の統合的水資源管理, みらい: 466-486.
- Grigg NS. 2000. 水資源マネジメントと水環境原理・規制・事例研究, 技報堂出版: 385-411.
- 木下幸雄, Crase L. 2006. オーストラリアにおける灌漑用水市場化の実態と問題点〜ニュー・サウス・ウェールズ州を中心に〜, 農業土木学会論文集244: 11-20.
- New Zealand Legislation. 2009. Resource Management Acts, <http://www.legislation.govt.nz/act/public/1991/0069/latest/DLM230265.html> (参照: 2012/10/01).
- Postel S. 2000. 水不足が世界を脅かす, 家の光協会: 253-282.
- State Water Resources Control Board. 1999. A Guide to Water Transfers, California Environmental Protection Agency, http://www.waterboards.ca.gov/waterrights/water_issues/programs/water_transfers/docs/watertransferguide.pdf (参照: 2012/10/01).
- State Water Resources Control Board. 2012. Transfers and Temporary Urgency Actions. Orders, http://www.waterboards.ca.gov/waterrights/water_issues/programs/applications/transfers_tu_orders/ (参照: 2012/10/01).
- 八木宏典. 1996. 開発至上主義から調和ある再配分へ〜アメリカ「カリフォルニア稲作地帯」の水利用一, 水資源の枯渇と配分, 農山漁村文化協会: 47-120.
- 安田成夫, 多田智和. 2007. オーストラリアの水資源管理に関する調査, 国土技術政策総合研究所資料426号: 25-77.
- 安井正巳. 1975. 水の経済学, 日本経済新聞社: 102-111.

(受付: 2011年7月27日, 受理: 2012年12月3日)

Constraints on Agricultural Water Transfer Derived from Features of Irrigation Water

— Cases of South Island, New Zealand and California, USA —

Tatsumi TOMOSHO¹⁾ Masayoshi SATOH²⁾ Naoya FUJIMOTO³⁾ Akiko YOSHIMURA¹⁾

¹⁾ National Institute for Rural Engineering, National Agriculture and Food Research Organization
(2-1-6, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8609, Japan)

²⁾ Graduate school of life and environmental sciences, University of Tsukuba
(1-1-1, Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan)

³⁾ Japan International Research Center for Agricultural Sciences
(1-1, Owashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8686, Japan)

Water transfer through market mechanisms has gained increasing attention as a means to achieve higher efficiency in water resource management. However, dealing with the transfer of irrigation water, which is characteristically different from resources of other kinds in the sense that it forms a part of a region's water cycle, presents a severe challenge. This paper presents two case studies illustrating how the special features of irrigation water constrain the free trade of irrigation water resources. One case involves the water transfer within an irrigation project on the South Island of New Zealand. The other is related to the redistribution of water between regions within the Drought Water Bank in California, USA. Both are cases in which simple market mechanisms have not been applied. Public authorities responsible for the management of regional water resources handle the entire process of individual cases of water transfer. In such cases, public authorities conduct investigations related to the technological possibilities presented by the transfer and then carry out subsequent reviews of the project's impact on regional economies and ecosystems. Social receptiveness is the strongest constraining factor of the free trade of irrigation water, which invariably creates relations among surrounding actors, irrespective of the transfer size.

Key words : irrigation water, water transfer, New Zealand, USA

通常降雨イベントにより同定されたタンクモデルを用いた豪雨イベントの再現精度

糸数 哲¹⁾ 小杉 賢一朗¹⁾ 恩田 裕一²⁾ 蔵治 光一郎³⁾
田中 延亮³⁾ 後藤 太成³⁾ 太田 岳史⁴⁾ 水山 高久¹⁾

¹⁾ 京都大学大学院農学研究科
(〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

²⁾ 筑波大学大学院生命環境科学研究科
(〒305-8572 つくば市天王台1-1-1)

³⁾ 東京大学大学院農学生命科学研究科
(〒489-0031 瀬戸市五位塚町11-44)

⁴⁾ 名古屋大学大学院生命農学研究科
(〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

地球温暖化による大雨日数の増加傾向を背景に、森林の洪水緩和機能が注目されている。本研究では、植生回復段階の異なる花崗岩流域において、総雨量150 mm以下の通常降雨イベントを対象としてパラメータを同定したタンクモデルを用いて、東海豪雨イベント（総雨量457 mm）のハイドログラフの再現計算を試みた。対象としたのは、裸地流域、裸地解消から約20年経過した植生回復流域、および森林流域の3流域である。その結果、裸地流域および植生回復流域のハイドログラフの再現精度は良好であったが、森林流域のハイドログラフはピーク流量が過小評価となった。土層の発達が進んでいない、裸地流域や植生回復流域では、通常の降雨規模においても地表流成分が卓越することが考えられ、通常降雨イベントで同定したタンクモデルで豪雨イベントのハイドログラフを精度良く再現できることが示された。一方、土層が厚い森林流域は通常の降雨規模では地表流はほとんど発生しないが、豪雨イベント時には地表流成分が増大すると考えられ、通常降雨イベントで同定したタンクモデルでは豪雨イベントのハイドログラフが再現できず、ピーク流量を過小評価することが示された。

キーワード：森林の洪水緩和機能、植生回復、タンクモデル、花崗岩流域、東海豪雨

I. はじめに

森林の有する様々な機能の中で、洪水緩和機能および流量平準化機能（いわゆる「緑のダム」機能）が近年注目されている（蔵治・保屋野, 2004）。地球温暖化に伴う大雨日数の増加傾向が認められていることから（気象庁, 2009）、これらの機能が今後ますます重要視されると考えられる。しかしながら、その定量的評価がいまだ十分になされていないことが指摘されている（日本学術会議, 2001）。

これまでに、主に森林流域を対象として、雨量データから河川流量を予測する流出モデルがいくつか提案されている（例えば、安藤, 1983；Beven *et al.*,

1984；Bathurst, 1986；福嶌, 1987；Vertessy *et al.*, 1993）。その一つであるタンクモデル（菅原, 1972）は、流出孔や浸透孔の高さや大きさを調節することにより、流域からの流出量を精度良く再現できることから、これまで短期～長期流出の解析に広く用いられてきた（例えば、石原・小葉竹, 1978；近藤ら, 1992；蔵本ら, 2010）。タンクモデルは河川流量予測だけでなく、土砂災害発生の危険雨量推定（鈴木ら, 1979a）や林内雨量の推定（例えば、鈴木ら, 1979b；鳥羽・太田, 2002）などにも応用されており、Ishihara and Kobatake (1979) が同定したパラメータセットは気象庁の土壌雨量指数算定（気象庁）に

用いられている。

タンクモデルによる流量予測に関する従来の研究は、既存の降雨イベントの雨量・流量データから流出率・浸透率等の各パラメータを同定して、既存の流量データを対象にモデルの再現精度を検証する場合がほとんどであり、通常の降雨イベントに対しては十分な再現精度を有していることが明らかにされている。しかし、パラメータ同定イベント以上の外挿域に対する再現精度についての検討が十分とはいえないのが現状（鈴木ら, 1979a）であり、地球温暖化による大雨日数の増加傾向が認められていることから、外挿域に対する再現精度の検討は重要である。数少ない研究のうち、石原・小葉竹（1978）は、森林流域を対象に行なった再現計算で、洪水災害を引き起こした豪雨イベント（昭和47年7月豪雨）の再現精度が低くなる結果を得ているが、再現精度が低下する原因は不明としており、詳細な検討は行われなかった。また、森林や裸地などの異なる植生被覆状況における再現結果を比較して上記の検討を行うことは、森林の果たす役割を明らかにする上でも重要であり、そのような研究は福嶌（1987）や Tani *et al.* (2012) の例があるものの、タンクモデルによる検討例は十分には存在しない。

そこで本研究では、植生被覆状況の異なる複数の山地小流域を対象に、総雨量が150 mm以下の通常

降雨イベントからパラメータを同定したタンクモデルを用いて、実際に洪水災害を引き起こした豪雨イベント時のハイドログラフの再現精度について検討を加えた。モデルの再現精度の検討対象とした東海豪雨は2000年9月11日～12日にかけて愛知県を中心に発生した豪雨で、アメダスデータによると、名古屋市、豊田市および岐阜県多治見市で総雨量がそれぞれ567, 413および390 mmであった。

Ⅱ. 方法

1. 観測流域

調査地を愛知県瀬戸市にある東京大学愛知演習林（現東京大学生態水文学研究所）赤津研究林内の小流域とし、植生被覆状況の異なる3流域を対象とした（図-1）。表層地質はいずれも白亜紀の風化花崗岩（愛知演習林, 2011）で、A流域、B流域およびC流域の流域面積はそれぞれ0.082, 0.060および0.056 ha、平均傾斜度はそれぞれ31.9, 31.4および39.3°となっている。

対象流域は過去に陶業燃料用のマツ材伐採および陶器用粘土の採掘によって林地が荒廃（千葉, 1991）したが、現在では一部の針葉樹林植栽を除いては天然更新によって現在の二次林が形成されている（東京大学農学部附属演習林, 1997）。調査対象流域は

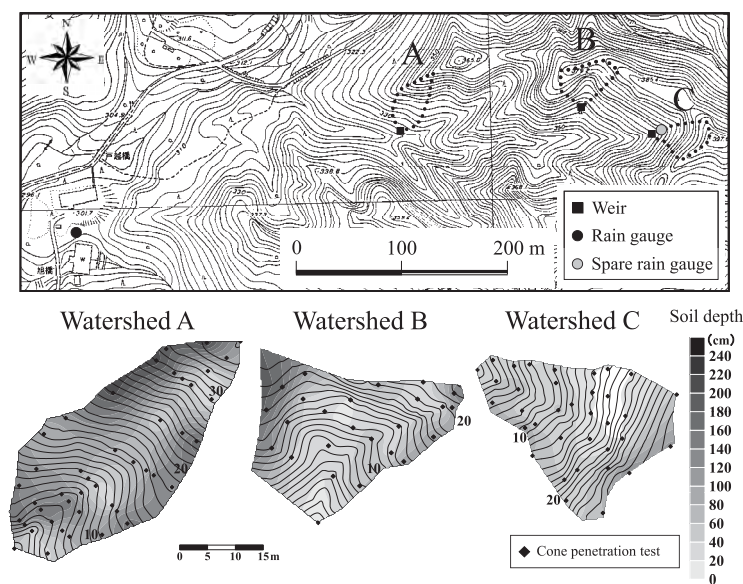


図-1 調査流域の位置・地形・土層厚

Fig. 1 Location, topography, and soil depth of experimental watersheds.

天然更新による植生回復地域に含まれるが、現在でも裸地を含む流域が残っており、C流域は裸地を含んでいる。1998年撮影の航空写真から求めた各流域の植生被覆率は、A流域およびB流域が100%，C流域は46%となっており、解析対象期間中に植生被覆率に大きな変化はなかった。調査流域一帯は、コナラ、アカマツ、ヒノキ等の天然生林となっており、A流域は流域上流部がアカマツと広葉樹の混合林、流域下流部がスギと広葉樹の混合林となっており、少なくとも1950年代から植生被覆率が100%であったのに対し、B流域は1990年代に裸地が解消し、現在はアカマツと広葉樹の混合林となっている。C流域は流域上流部がほぼ裸地となっており、流域下流部の植生被覆はアカマツと広葉樹の混合林である。各流域上流部の10 m×10 mプロットで測定したアカマツの平均樹高はA流域、B流域およびC流域でそれぞれ1,275、203および112 cmであった（糸数ら、2007）。また、植生被覆部内の4地点でLAI-2000（LI-COR社製）を用いて、2004年7月12日に計測した葉面積指数（LAI）はA流域、B流域およびC流域でそれぞれ5.6、5.1および4.0 m²/m²となっており、A流域が最も植生回復が進んでいる。なお、解析対象期間を通して、A流域のLAIが最も高く、C流域が最も低かった。

各流域の土層厚分布を把握するため、土壌貫入計を用いて土層厚測定を行った。本研究では、コーンの先端角と直径、ロッドの直径、および落錘の重さと落下距離が長谷川式土壌貫入計（長谷川、2006）と同一で、延長ロッドの継ぎ足しが可能な貫入計を使用し、Nh値100に相当する面を基岩として土層厚を計測した（図-1）。2010年4月計測時のA流域の平均土層厚は103.9 cmとなっており、土層厚が200 cm以上の地点もみられ、土層の発達が進んでいる。B流域は尾根の一部に土層厚150 cm以上の地点もみられるが、概して土層厚100 cm以下の地点が多く、平均土層厚は63.0 cmとなっている。C流域は土層厚150 cm以上の地点はなく、流域の大部分が土層厚100 cm以下となっている。特に上流の裸地部は土層厚0 cm（露岩）の地点もみられるなど、土層の発達は進んでいない。C流域の平均土層厚は32.2 cmとなっており、A流域の約3分の1、B流域の約半分となっている。2004年から2010年の間に、調査流域内において崩壊等の大規模な地形変化はなく、2001年11月計測時にも、A流域の平均土層厚が最も厚く、C流域の平均土層厚が最も薄かったことから、調査対象

期間中においても同様であったと考えられる。

これまでの観測（糸数ら、2007）で、A流域は恒常的な基底流出がみられるのに対し、B流域およびC流域は無降雨時の流出はなく、比較的強度の強い降雨時にのみ出水（直接流出）があることがわかっている。

2. 観測項目

林外雨量観測地点および流量観測地点を図-1に示す。解析対象期間を東海豪雨の発生した2000年9月11日～13日および通常降雨イベントの発生した2004年1月1日～2005年12月31日（C流域は2004年6月4日～）とした。

林外雨量は0.5 mm転倒ます式雨量計（RH-5、池田計器製作所製）を用いて5分間隔で観測を行った。また、2004年6月18日～2005年8月24日の期間には、A流域内に集水口径30 cmの貯留型雨量計を4個設置して樹冠通過雨量の観測を行った。ここでは、5日～1ヵ月間隔で貯留された雨量を計測した。流量観測は、東海豪雨イベントの観測時と通常降雨イベントの観測時では方法が異なっている。東海豪雨イベントの流量観測は3インチ幅のパーシャルフリュームおよび水位計（U6521J、Unidata社製）を用いて行い、5分間隔でデータロガー（Owl2c、EME systems社製）に自記記録させた水位から流量換算式（土木学会、1971）により流量に変換した。通常降雨イベントの流量に関しては、30°の三角堰および水位計（A流域およびB流域はコーナシステム社製KDC-S10D、C流域はウイジン社製UIZ-WL100）を用いて5分間隔でデータロガー（A流域およびB流域はコーナシステム社製KADEC-MIZU、C流域はウイジン社製UIZ3635）に自記記録させた水位から流量換算式（土木学会、1973）により流量に変換した。通常降雨イベントの流量に関しては、30°の三角堰および水位計（A流域およびB流域はコーナシステム社製KDC-S10D、C流域はウイジン社製UIZ-WL100）を用いて5分間隔でデータロガー（A流域およびB流域はコーナシステム社製KADEC-MIZU、C流域はウイジン社製UIZ3635）に自記記録させた水位から流量換算式（土木学会、1971）により流量に変換した。

3. 数値シミュレーション

1) タンクモデルの構造

本研究では、直列3段タンクを基本構造とし（図-2）、5分間雨量データから5分間流量の計算を

行った。タンクモデルの構造は、2段構造（例えば、近藤ら，1992；蔵本ら，2010）や3段構造（例えば、石原・小葉竹，1978；鈴木ら，1979a）があり、A流域は3段構造のタンクモデルとしているが、B流域およびC流域は無降雨時の流出がなく、出水が直接流出成分のみであることが確認されているため、最下段タンクを除いた2段構造のタンクモデルとした。上段タンク（Tank A）が2本の流出孔と1本の浸透孔、中段タンク（Tank B）および下段タンク（Tank C）がそれぞれ1本の流出孔と1本の浸透孔を有した構造となっている。

Tank Aの貯留量 H_A (mm)，流出量 Q_1 ， Q_2 および浸透量 Q_3 (mm/5min) は次式で表される。

$$H_A^i = H_A^{i-1} - Q_1 - Q_2 - Q_3 + R - E \quad (1)$$

$$Q_1 = \begin{cases} K_1(H_A - H_{t,Q1}) & (H_A > H_{t,Q1}) \\ 0 & (H_A \leq H_{t,Q1}) \end{cases} \quad (2)$$

$$Q_2 = \begin{cases} K_2(H_A - H_{t,Q2}) & (H_A > H_{t,Q2}) \\ 0 & (H_A \leq H_{t,Q2}) \end{cases} \quad (3)$$

$$Q_3 = K_3 H_A \quad (4)$$

ここで、 R ：林内雨量 (mm/5min)， E ：蒸発散量 (mm/5min)である。また、 K_1 ， K_2 および K_3 (/5min) と $H_{t,Q1}$ および $H_{t,Q2}$ (mm) は、図-2の様に定義されるタンクモデルのパラメータである。上付き文字 i は時間ステップを表している。なお、タンク内の水深が図-2に示す $H_{A,e}$ まで低下した場合は、Tank Aからの蒸発散を停止させた。

Tank Bの貯留量 H_B (mm)，流出量 Q_4 および浸透量 Q_5 (mm/5min) は次式で表される。

$$H_B^i = \begin{cases} H_B^{i-1} - Q_4 - Q_5 + Q_3 & (H_A > H_{A,e}) \\ H_B^{i-1} - Q_4 - Q_5 + Q_3 - E & (H_A \leq H_{A,e}) \end{cases} \quad (5)$$

$$Q_4 = \begin{cases} K_4(H_B - H_{t,Q4}) & (H_B > H_{t,Q4}) \\ 0 & (H_B \leq H_{t,Q4}) \end{cases} \quad (6)$$

$$Q_5 = K_5 H_B \quad (7)$$

ここで、 K_4 および K_5 (/5min) と $H_{t,Q4}$ (mm) は、図-2の様に定義されるタンクモデルのパラメータである。Tank Aの蒸発散停止時にTank Bのタンク内

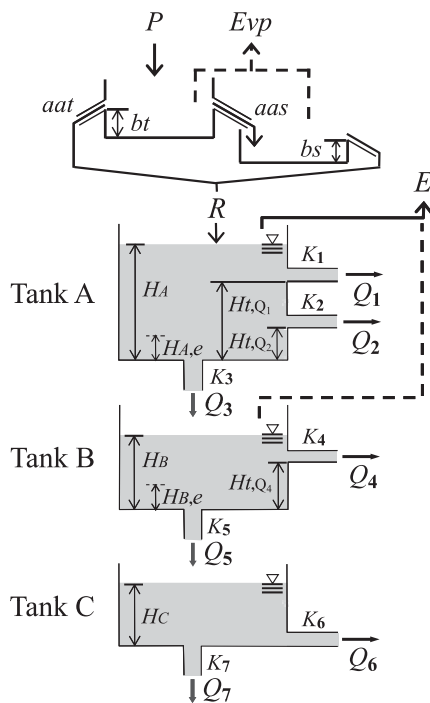


図-2 タンクモデルの構造
Fig. 2 Structure of the tank model.

水深が $H_{B,e}$ を上回っていれば、Tank Bから蒸発散損失量として差し引き(式5)，タンク内の水深が図-2に示す $H_{B,e}$ まで低下した場合は、Tank Bからの蒸発散を停止させた。

また、Tank Cの貯留量 H_C (mm)，流出量 Q_6 および深部浸透損失量 Q_7 (mm/5min) は次式で表される。

$$H_C^i = H_C^{i-1} - Q_6 - Q_7 + Q_5 \quad (8)$$

$$Q_6 = K_6 H_C \quad (9)$$

$$Q_7 = K_7 H_C \quad (10)$$

ここで、 K_6 および K_7 (/5min) は、図-2の様に定義されるタンクモデルのパラメータである。Tank CはA流域のみで観測される無降雨時の流出（基底流出）を表しているが、基底流出は基岩内に浸透した雨水の一部が涵養源になる（寺嶋・諸戸，1990；Uchida *et al.*, 2003；小杉，2007）と考えられるため、(8) 式には蒸発散損失項を含めずに計算を行った。

2) 林内雨量 R の算定方法

本研究では、流域の植生被覆状況の違いによる林内雨量の違いを考慮するために、流域毎に異なる林内雨量を入力した。ここでは、鈴木ら（1979b）の

遮断量推定モデルで求めた樹冠通過雨量と樹幹流下量の合算値を林内雨量とした。遮断量推定モデルはタンクモデルの構造となっており (図-2), 林内雨量の算定には, 樹冠タンク深さ (bt), 樹幹タンク深さ (bs), 樹冠通過量と樹幹流下量の比 (aat および aas) および遮断蒸発強度 (Evp) の各パラメータが必要となる。A流域の樹冠タンクの深さは, 雨量観測地点の雨量 (林外雨量) とA流域内において計測した樹冠通過雨量の関係 (図-3) から, 鈴木ら (1979b) の方法を用いて算定し, 1.03 mmとした。B流域およびC流域に関しては, LAIと遮断損失率には正の相関関係がある (Park *et al.*, 2000) ことから, A流域のLAIと2流域の植生被覆部のLAIとの比に基づき, それぞれの流域の樹冠タンクの深さを0.94および0.73 mmに決定した。調査流域において, 樹幹流下量を計測していないため, 樹幹タンクの深さは, 鈴木ら (1979b) が示した樹冠タンク深さと樹幹タンク深さとの比からA流域の樹幹タンク深さを0.38 mmに決定した。B流域およびC流域に関しては, 樹冠タンク深さと同様の方法で推定し, それぞれ0.34および0.27 mmとした。樹冠通過量と樹幹流下量の比については, 観測流域に隣接した流域でPark *et al.* (2000) によって実測された樹冠通過雨量および樹幹流下量から, 6.7:1とした。また, 樹体に捕捉された雨水の遮断蒸発強度は, 本研究サイトから約8 km北西に位置する, コナラ, アカマツ等の針広混交林において観測された気象データおよび摩擦速度 (Matsumoto *et al.*, 2008; Nakai *et al.*, 2008) を用いてPenman式 (式11) (鈴木, 1992) により求めた潜熱フラックス (λE) を可能蒸発量に換算して算定した。

$$\lambda E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + \frac{\rho C_p (e_s(T_a) - e_a) / r_a}{\Delta + \gamma} \quad (11)$$

ここで, Δ : 飽和水蒸気圧曲線の気温における傾き, γ : 乾湿計定数, R_n : 純放射量, G : 地中熱流量, ρ : 空気の密度, C_p : 空気の定圧比熱, $e_s(T_a)$: 気温に対する飽和水蒸気圧, e_a : 水蒸気圧, r_a : 空気力学的抵抗である。ただし, r_a は以下の式より求めた。

$$r_a = W_s / U_*^2 \quad (12)$$

ここで, W_s : 平均風速, U_* : 摩擦速度である。

流域内に裸地を含むC流域は, 上記の方法により求めた雨量を植生被覆部の林内雨量とし, 林外雨量を裸地部の雨量として, 植生被覆部と裸地部の面積

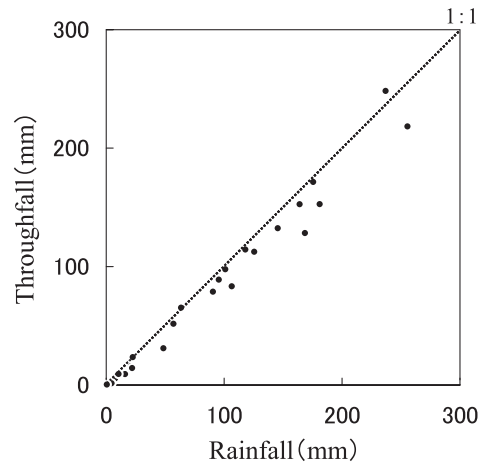


図-3 林外雨量とA流域で観測された樹冠通過雨量の関係

Fig. 3 Relationship between rainfall and throughfall of watershed A.

比から算出したそれぞれの雨量を合算してTank Aに入力した。

なお, 東海豪雨イベント時の雨量観測地点 (図-1) における林外雨量は, 1時間データとして記録されている。モデルの計算時間間隔を5分としているため, 東海豪雨イベントについては, 当時, C流域内に設置 (設置期間: 1999年5月26日~2001年3月21日) されていた予備の0.2 mm転倒ます式雨量計 (Rain collector II, Davis社製) による5分データを用いた (図-1)。ただし, 設置位置および測定精度が異なるため, 通常降雨イベントの解析とより厳密な整合を図るために予備雨量計の5分データに1時間毎に異なる係数を乗じ, 図-1の雨量観測地点における1時間雨量と予備雨量計の1時間雨量が等しくなるように補正を加えた。

3) 蒸発散量Eの算定方法

Tank AおよびTank Bからの損失成分である蒸発散量は, 植生被覆部については, 乱流変動法により求められた値 (Matsumoto *et al.*, 2008) を用いた。また, 流域内に裸地を含むC流域の蒸発散量は, 前述のPenman法により求めた値を裸地部からの地面蒸発量とし, 植生被覆部と裸地部の面積比により, 蒸散量および地面蒸発量を合算して求めた。なお, 蒸散量が未観測であった東海豪雨時およびEに欠測があった場合のデータ補完は以下の方法で行った。まず, Eと ($R_n - G$) の関係を月毎に近似した, 以下の式を用いて ($R_n - G$) からEを求められるようにした。

$$E = a(R_n - G)^2 + b(R_n - G) \quad (13)$$

(13) 式の係数 a および b は E の実測値と推定値の誤差が最小になるように月毎に決定した。

さらに、 $(R_n - G)$ に欠測があった場合は、2004年1月1日～2005年12月31日に観測された名古屋地方気象台の全天日射量(S)と $R_n - G$ を線形近似した、以下の式を用いて S から $R_n - G$ を求めた。

$$R_n - G = 0.792S - 48.394 \quad r^2 = 0.906 \quad (14)$$

その上で、これら2つの関係式を用いて E の欠測値を補完した。

4) 解析イベント

図-4に、観測期間中の主要なイベントについて、雨量と流量の関係を示す。本研究では、1降雨イベントの定義を12時間以上の連続無降雨期間で区切られた降雨イベントとしている。B流域およびC流域は降雨時にのみ出水があるため、1イベントの総流量をイベント流量とし、A流域は基底流が観測されるため、Hewlett and Hibbert (1967) による方法で流出成分を分離した直接流出量をイベント流量とした。

タンクモデルのパラメータ同定には、2004年10月15日～12月15日に観測されたハイドログラフを用いた。この期間には主要な降雨イベントが4回発生し、それぞれの総降雨量は、東海豪雨を除く23イベント中で、1番目(イベント①)、2番目(イベント②)、6番目(イベント③)および11番目(イベント④)であった(図-4)。このうち、最大規模のイベント①の総降雨量は145 mm、最大降雨強度は17.5 mm/hであった。タンクモデルの適用にあたっては、非線形最小自乗法(Marquardt, 1963)を用い、観測流量と計算流量の残差平方和が最小になるように図-2中の各パラメータ($H_{t, Q1}$, $H_{t, Q2}$, $H_{t, Q4}$ および $K_1 \sim K_7$)を最適化した。

東海豪雨では、図-1の雨量観測地点において、総降雨量457.0 mm、最大降雨強度81.0 mm/h(11日21時～22時)を記録した。Fair式(土木研究所水工研究グループ水理水文チーム, 2003)により推定した降雨再現期間は総降雨量が110.4年、最大時間降雨強度が42.2年となっている。なお、転倒ます式雨量計は強い降雨ほど雨量を過小評価することが指摘されている(鈴木, 1996)が、本研究で利用した雨量計と同じ計測方式の雨量計が大きな測定誤差を生じるのは降雨強度が150 mm/hを超える場合(宮脇・

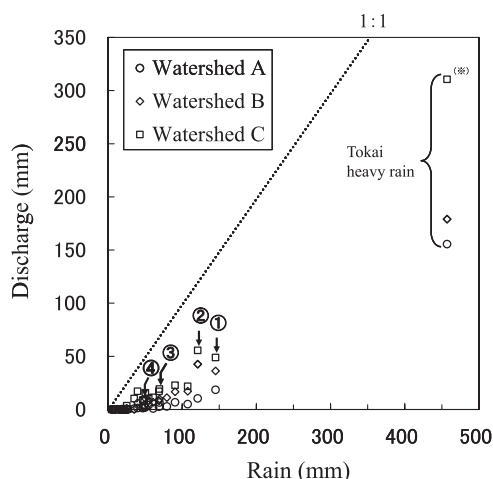


図-4 イベント雨量とイベント流量の関係
Fig. 4 Relationship between rainfall and discharge.
(※) Revised discharge.

白井, 1993)であることから、観測雨量に大きな誤差はなく、本論文の検討に支障はないと判断した。各流域のイベント流量は、A流域、B流域およびC流域がそれぞれ155.5, 179.1および310.6 mmであった(図-4)。ただしC流域については、パーシャルフリューム内への土砂流入により、最大の降雨ピークに対応する流出ピークが観測された後に、一時的に低減した水位が不自然な上昇を示した。このため、この時刻以降については観測水位から一定値を差し引くことによって、連続したハイドログラフに修正した。図-4中のイベント流量は、修正後の値となっている。なお、修正前後のハイドログラフを後出の図-9に示している。

Ⅲ. 結果と考察

1. パラメータの同定結果

図-5にパラメータ同定期間全体の林外雨量および各流域における流量の実測値と計算値を示す。A流域のみ基底流がみられるが、モデル計算では基底流の波形が良好に再現されている。一方、B流域およびC流域では降雨時にのみ流出が発生する点も良好に再現されている。全ての流域で、パラメータ同定期間に発生した異なる規模の降雨イベント(イベント①～④)に対して良好な再現結果が得られていることがわかる。特にピーク流量に関しては、図-6に示したとおり、イベント①～④の全てで良好な再現結果が得られた。

次に、図-7にパラメータ同定イベント①および②の林外雨量、林外雨量に対する林内雨量の比および各流域の流量の実測値と計算値を示す。林外雨量に対する林内雨量の比の時間的推移から、降雨開始初期は樹木による降雨遮断によってA流域およびB流域は林内雨量が発生しないが、C流域は裸地部への降雨があるため降雨開始と同時に林内雨量（地表

面雨量）が発生することがわかる。その後、連続的に降雨があれば、3流域の林外雨量に対する林内雨量の比がほぼ同程度となり、無降雨期間があれば蒸発による遮断能の回復によって降雨開始初期の状態に近づく。ただし、算定された林内雨量の流域間の差は、降雨初期や降雨強度の小さな期間に限られ、量的に大きくないことから、算定された林内雨量の

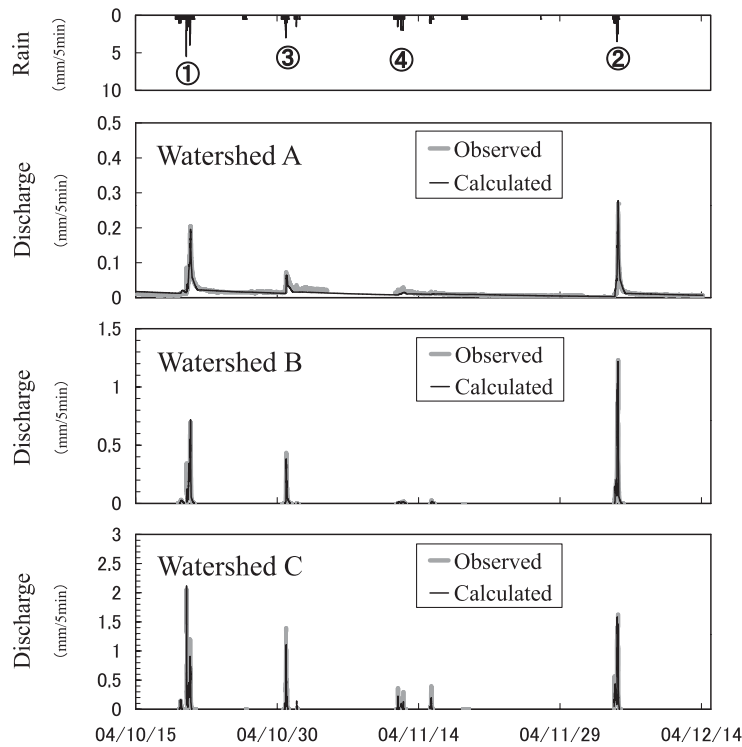


図-5 パラメータ同定期間のハイドログラフの実測値と計算値
Fig. 5 Hyetograph and hydrographs for the calibration period.

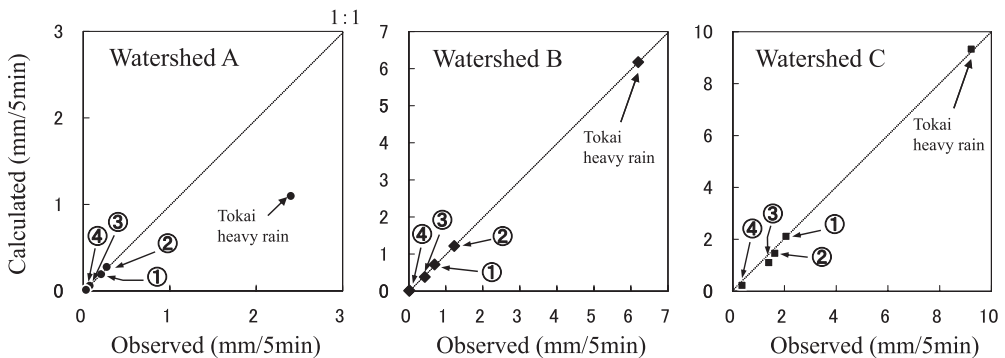


図-6 ピーク流量の実測値と計算値
Fig. 6 Comparison between observed and calculated peak discharge.

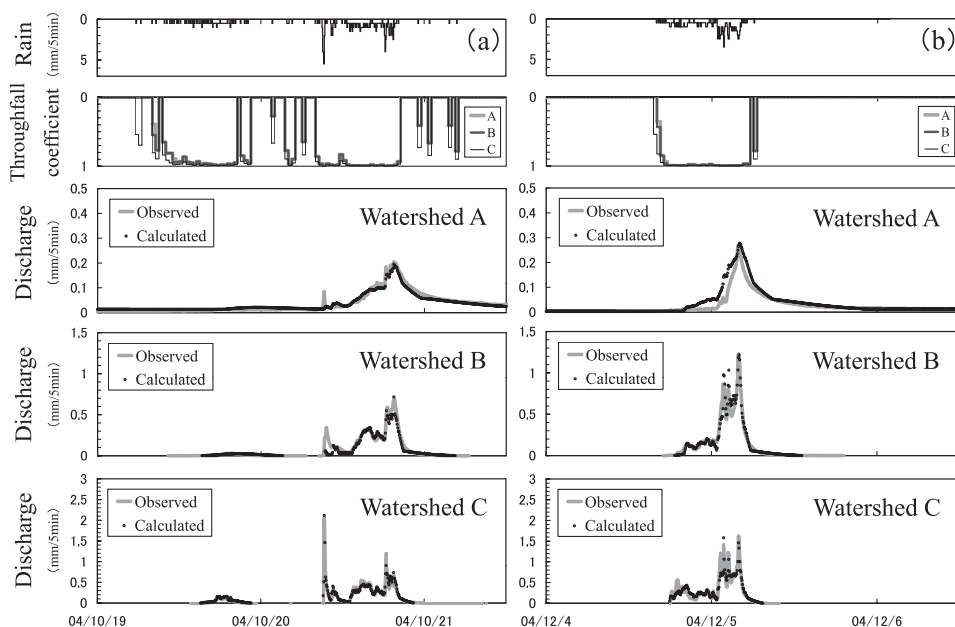


図-7 同定イベントのハyetグラフ、樹冠通過率およびハイドログラフの実測値と計算値 (a: イベント①, b: イベント②)

Fig. 7 Hyetograph, throughfall coefficient, and simulated and observed hydrographs for (a) event ① and (b) event ②.

違いが流出ハイドログラフの計算結果に与える影響は小さいことがわかった。

A流域およびB流域はイベント②の観測ピーク流量がイベント①のそれよりも大きくなったのに対し、C流域はイベント①の観測ピーク流量がイベント②のそれよりも大きくなった (図-6, 7)。ピーク雨量はイベント①、イベント②がそれぞれ5.5, 3.5 mm/5minとなっており、ピーク雨量発生までの積算雨量は、イベント①が51.0 mm, イベント②が74.5 mmとなっていた。このことから、A流域およびB流域はピーク雨量発生までの積算雨量が大きいイベントでピーク流量が大きくなったのに対し、C流域はピーク雨量が大きいイベントでピーク流量が大きくなったといえる。A流域は土層が厚く (図-1)、雨水貯留容量が大きいいため、降雨イベントの早い段階では雨水が土層内に貯留され、降雨波形が流出波形に及ぼす影響は小さいが、降雨の継続に伴って土層内の貯留効果が減少し洪水応答が速くなると考えられる。B流域は土層厚の増加による雨水貯留能の回復がまだまだ十分に進んでいないため、A流域よりも流出波形が降雨波形に敏感に反応すると考えられる。さらに、土層が薄く露岩域も存在するC流域の雨水貯留能は小さく、降雨イベントの早い段階で土

層が飽和するため流量ピークが降雨ピークに依存すると考えられる。図-7に示したとおり、タンクモデルによる流出量の計算値は、以上のような流域間の流出プロセスの差異を的確に捉えているといえる。

同定された各流域のモデルパラメータを表-1に示す。A流域はB流域およびC流域とモデルタンクの数異なるが、Tank Aの流出孔の高さ ($H_{t, Q1}$ および $H_{t, Q2}$) は概してA流域が高く、C流域が低い傾向を示し、流出率および浸透率 (K_1 , K_2 および K_3) はC流域が最も高く、B流域、A流域の順に低くなる結果となった。Tank Bの流出孔の高さ ($H_{t, Q4}$) は、A流域が最も高く、B流域が最も低くなった。流出率および浸透率 (K_4 および K_5) はTank Aと同様にC流域が最も高く、A流域が最も低いという結果が得られた。全体として、植生回復が進むにつれて直接流出の発生が遅く、量も小さくなる傾向が表れている。

各流域の流出発生機構の違いを明確にするため、各流出孔からの流出成分を分離したハイドログラフを図-8に示す。タンクモデルの流出孔は、必ずしも個別の流出経路と明確に対応付けられるものではないが、以下ではKim *et al.* (2011) と同様に、実際の流域の状況との対応に基づき各流出成分について考察を加える。A流域では流域末端付近の湧水点か

ら基底流出が観測され、その涵養源は、基岩内に浸透した雨水の一部と考えられる（寺嶋・諸戸，1990；Uchida *et al.*，2003；小杉，2007）。 Q_6 は、この基底流出成分を表している。一方、通常の降雨イベント時には湧水点付近より上流に表面流が観測されないことから、 Q_4 は土層下部に一時的に形成される飽和側方流に相当すると考えられる。降雨波形に対する反応がより敏感な Q_2 は飽和地下水面の上昇によって土層上部に発生する流れの速い飽和側方流に相当すると考えられる。 Q_1 成分は、イベント①よりイベント②が流出量が大きく、雨量の積算に伴って割合が増大している。このことから、湧水点付近の土層内の地下水位が地表面にまで達することによって発生する飽和地表流を表している可能性が高い。

C流域の Q_4 は、降雨波形に対する反応が比較的緩慢で、降雨終了後の緩やかな流量逓減部を構成しており、薄い土層内に一時的に発生する飽和側方流と考えられる。流出成分の大部分を占める Q_2 は降雨波形に敏感に反応しており、流域全体で発生する地表流（飽和地表流および露岩上のホートン流）に相当する可能性が高い。 Q_1 は、ピーク雨量の大きい場合（イベント①）や雨量の積算値が増加した場合（イベント②）に発生しており、ホートン流や飽和地表流の拡大成分を表すと考えられる。

降雨波形に対する流出波形の挙動から、B流域はC流域に類似した流出成分によって構成されている

と予想されるが、B流域内に露岩部はほとんど存在しないため、 Q_1 は拡大した飽和域からの飽和地表流に相当すると考えられる。

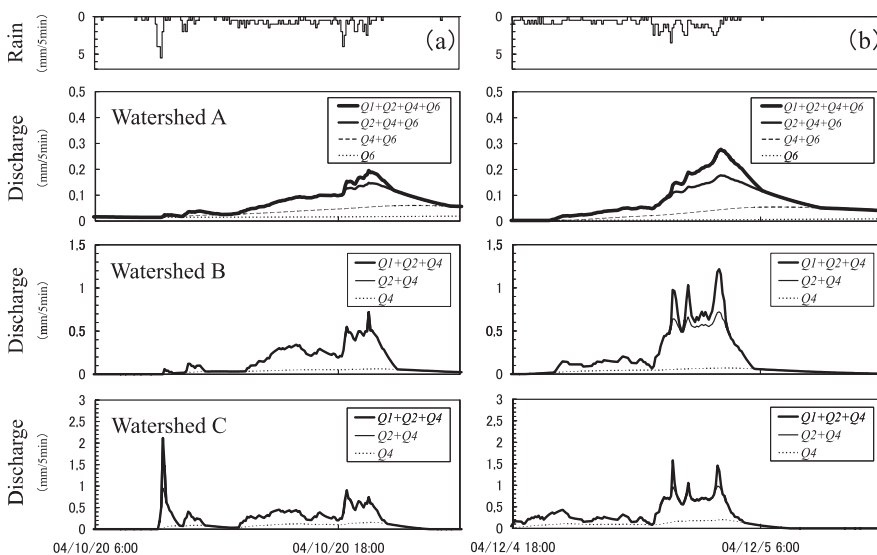
2. 東海豪雨イベントの再現結果

表一のパラメータを用いて東海豪雨イベントの

表一 各流域のタンクモデルのパラメータ

Table 1 Tank model parameters.

	Watershed A	Watershed B	Watershed C
$H_{I,Q1}$ (mm)	32.0	26.0	11.0
$H_{I,Q2}$ (mm)	17.0	17.0	4.1
$H_{I,Q4}$ (mm)	8.0	2.0	2.6
$H_{A,e}$ (mm)	1.0	1.0	1.0
$H_{B,e}$ (mm)	1.0	1.0	1.0
K_1 (5min^{-1})	0.0055	0.122	0.473
K_2 (5min^{-1})	0.004	0.05	0.1
K_3 (5min^{-1})	0.018	0.023	0.08
K_4 (5min^{-1})	0.0015	0.007	0.026
K_5 (5min^{-1})	0.012	0.044	0.056
K_6 (5min^{-1})	0.0001	—	—
K_7 (5min^{-1})	0.00015	—	—



図—8 計算ハイドログラフの各流出孔からの流出成分（a：イベント①，b：イベント②）

Fig. 8 Calculated hydrographs showing stacked lines of respective discharge components for (a) event ① and (b) event ②.

ハイドログラフを再現計算した結果を図-9に示す。なお、C流域のハイドログラフは水位修正前後の2種類を表示している。林外雨量に対する林内雨量の比は、降雨開始1時間後以降は3流域がほぼ同程度となっている。総林内雨量はA流域、B流域およびC流域でそれぞれ451.8、451.9および452.2 mmとなっており、流域間の差はほとんどなく、流出の違いに対する影響はほとんどなかったといえる。タンクモデルによる計算結果をみると、C流域の水位修正後のハイドログラフの再現精度は高く、流出波形、ピーク流量ともに良好に再現された。B流域はC流域と比べると流量逓減の再現が若干不良で、過大評価となった。ただし、ピーク流量はC流域と同様に良好に再現された。これに対して、A流域は流出波形、ピーク流量ともに再現精度が低い結果となった。ハイドログラフの計算値は概して緩慢な波形となっており、ピーク流量は大幅な過小評価を示し、降雨終了後の流量逓減部は過大に評価された。

図-6には、東海豪雨イベントのピーク流量再現結果もプロットしている。C流域およびB流域に関しては、実測値に対する計算値の比がそれぞれ、1.01および1.00となっており、東海豪雨イベントのピーク流量が精度良く再現できたのに対し、A流域ではピーク流量が再現できず、その比が0.46となり、大幅な過小評価となった。

流出成分を分離した各流域の計算ハイドログラフを図-10に示す。C流域は降雨波形に敏感に反応した地表流成分(Q_1 および Q_2)が計算され、この結果、流量ピークが雨量ピークに合わせて大きく増大するという流出波形が良好に再現できている(図-6, 9)。B流域では、C流域に比べて降雨波形に対する地表流成分の反応は鈍いが、降雨ピークに対応した増大を示し、実測のピーク流量が再現できている。これに対してA流域では、地表流の波形を形成すると考えられる Q_1 成分が実測値にみられる急激な増減を表現できていない。この結果、流出波形全体の再現性

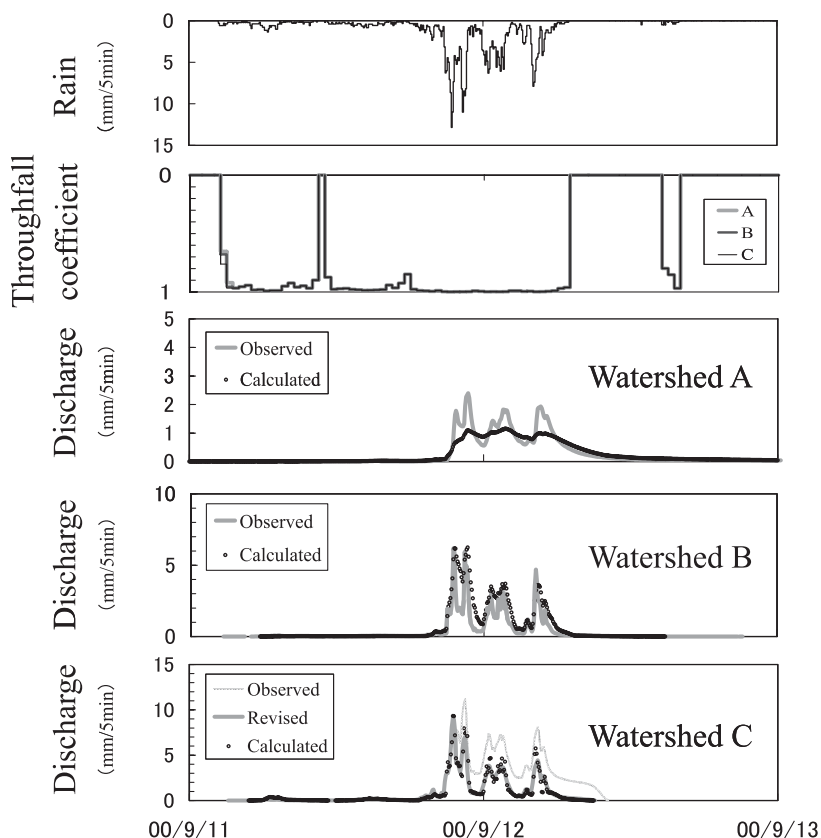


図-9 東海豪雨イベントのハイドログラフ、樹冠通過率およびハイドログラフの実測値と計算値

Fig. 9 Hyetograph, throughfall coefficient, and simulated and observed hydrographs for Tokai heavy rain.

が不良になったと考えられる。

以上のように、通常降雨時の出水の多くが地表流成分からなるC流域およびB流域は、豪雨時の流量予測においても流出波形を精度良く再現することが可能であるが、通常降雨時の出水の大部分が土層内の流れ（飽和側方流）で構成され、地表流成分の割合が比較的小さいA流域は、豪雨時の流量予測において、大幅に増大する地表流を再現できず、結果として流出波形全体の再現精度が低くなったと考えられる。A流域はB流域およびC流域に比べ土層が厚く、土層の雨水貯留容量が大きいので、通常降雨時には、林内に供給された雨水は地中に浸透し、大部分が地中流として流出する。しかし、非常に大きな豪雨時には土層が広範囲に飽和し、飽和地表流が増加すると考えられる。実際の東海豪雨時に、A流域では通常降雨時には見られない一時的な河道が生じていたことを観察している（糸数ら、2007）。このような現象をタンクモデルで表現しようとした場合、通常降雨時には機能しないが、非常に大きな豪

雨時に発生する飽和地表流の拡大成分を再現する流出孔を新たに設けることが、一つの方法と考えられる。石原・小葉竹（1978）がA流域と同じ構造のタンクモデルを安山岩・流紋岩地質の流域に適用した結果は、豪雨時のピーク流量が過小評価となり、降雨終了後の流量逓減部が過大評価となることを示している。ここでも、本研究と同様に、非常に大きな豪雨時にのみ機能する流出孔の必要性がうかがえる。

このような流出孔の存在によってA流域の東海豪雨イベント時の再現精度が向上するかを確認するため、以下の試算を行った。すなわち、図-2に示したTank Aの Q_1 成分の流出孔より高位に追加の流出孔を1本設定し、その高さ（ $H_{t, Qa}$ ）および流出率（ K_a ）を同定した。流出孔の追加によって通常降雨イベントの計算結果に影響がないようにするため、 $H_{t, Qa}$ は通常降雨イベント時の H_A の最大値以上に設定した。

図-11に追加流出孔を設置した場合の流量の計算値と実測値を示す。この図では、 Q_1 、 Q_2 、 Q_4 および Q_6 の合算値を破線で示しており、破線より上の

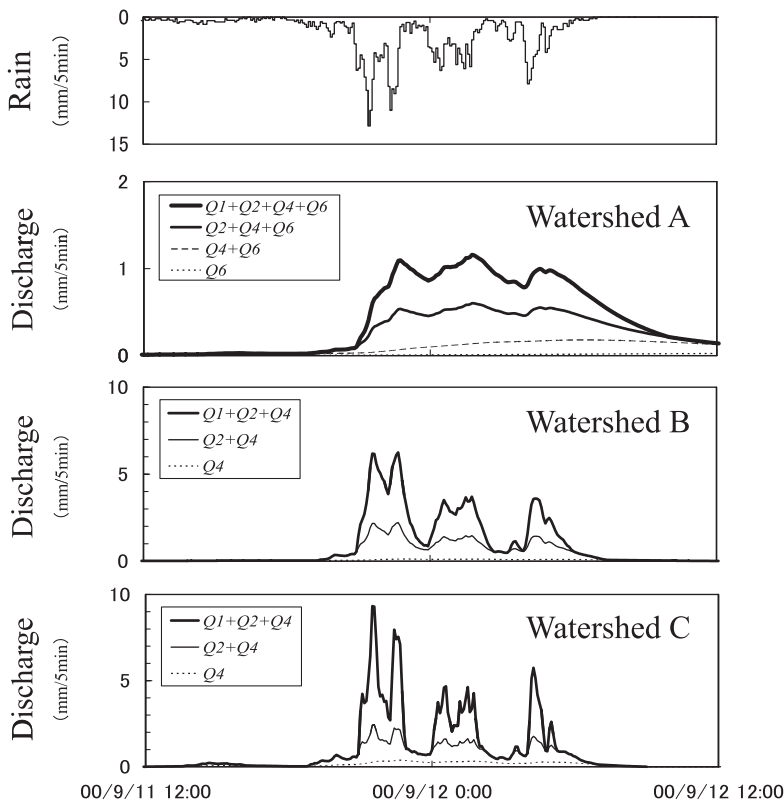


図-10 計算ハイドログラフの各流出孔からの流出成分（東海豪雨）

Fig. 10 Calculated hydrographs showing stacked lines of respective discharge components for Tokai heavy rain.

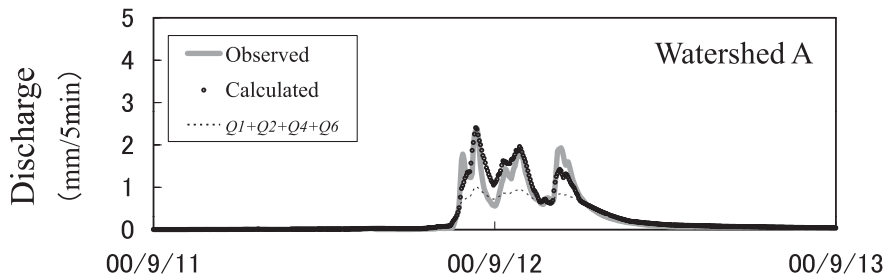


図-11 タンク構造改変後の東海豪雨イベントのハイドログラフ

Fig. 11 Hydrograph of Tokai heavy rain computed using the modified tank model.

部分が追加流出孔からの流出成分となる。 H_i , Q_a および K_a をそれぞれ80.0 mmおよび0.03/5 minにしたところ、流量ピークを再現することができた。さらに流量ピークのみでなく、通減部も含めたハイドログラフ全体の再現精度が向上した。このように、非常に大きな豪雨時にのみ機能する流出孔の設定によって、通常降雨イベントの良好な再現性を維持しつつ東海豪雨イベントの流出特性を表現できることが示された。

IV. まとめ

通常降雨イベントから同定したタンクモデルを用いて、東海豪雨イベントのハイドログラフの再現計算を行った結果、地表流成分が多くみられる流域(B流域およびC流域)の再現性は良好であるが、土層内の流れの卓越する流域(A流域)の再現精度が低いことが明らかとなった。特にピーク流量が再現できないことから、通常の降雨時には機能しないが、非常に大きな豪雨時にのみ機能する流出孔の存在が示された。

裸地流域や土層が回復途中にある、植生回復後間もない流域では、土層が薄く飽和しやすいため、通常の降雨規模においても地表流成分が卓越する。このように、通常降雨イベントと豪雨イベントで流出成分に大きな変化がない場合は、通常降雨イベントで同定したパラメータで豪雨イベントのハイドログラフを精度良く再現することが可能である。しかし、森林流域は土層が厚く、通常の降雨規模では土層全体が飽和せず、地表流はほとんど発生しないが、非常に大きな豪雨イベント時には地表流成分が増大する。このように、通常降雨イベントと豪雨イベントで流出成分が大きく変化するような場合は、通常降

雨イベントで同定したパラメータでは豪雨イベントのハイドログラフが再現できず、ピーク流量を過小評価する可能性がある。

近年、大雨日数の増加傾向が明らかになっていることから、今後、ゲリラ豪雨等による想定外の豪雨イベントが増加することが予想される。既存の雨量・流量データからパラメータ同定したタンクモデルでは、想定外の豪雨イベントに対するピーク流量を過小評価する可能性があり、森林の有する洪水緩和機能を定量的に評価する際には、この点に留意する必要があると思われる。

本研究で対象とした3流域は、植生の回復状況だけでなく、土層の発達状況も異なっている。3流域間で土層厚に差が生じている原因として、植生状況のみでなく、地形の影響も重要となろう。すなわち、A流域の基岩の縦断プロファイルは、流域下流部で緩やかになっており(糸数ら, 2007)、この緩傾斜部分に崩土が堆積しやすく、それによって土層厚が厚くなったことが考えられる。土層の存在は植生被覆を促し、それによる土砂移動の抑制(北原ら, 1996)によってさらなる土層厚の増大をもたらすという、正のフィードバックを生むと考えられる。このように、流出の比較においては、単に植生の違いに着目するだけでなく、地形等の要因を総合的に考慮することが必要である。

本研究では、非線形タンクモデルについては検討を行わなかった。非線形タンクモデルを適用した場合、豪雨イベント時の急激な流量増減を再現できる可能性がある。その一方で、通常降雨イベントで特定されるパラメータの僅かな変動が、豪雨イベントにおける流量推定値、特にピーク流量を大きく変動させることが考えられるため、その適用法について検討を加えていくことが必要である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、芝野博文教授、原孝秀元技術職員、井上淳技術専門職員および渡部賢技術職員（東京大学大学院農学生命科学研究科）には現地観測および調査の際にご協力いただきました。また、小杉緑子助教（京都大学大学院農学研究科）には蒸発散量算定の際にご指導いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

本研究の実施にあたり、科学技術振興機構CREST、科学研究費補助金（22248018、23221009）および住友財団の補助を受けた。ここに記し、深く謝意を表します。

なお、本研究の一部は平成23年度砂防学会研究発表会において発表したものである。

引用文献

- 愛知演習林 2011. 愛知演習林量水観測結果報告 (VII). 演習林 50: 49-71.
- 安藤義久 1983. 試行錯誤のない実用的な長期流出モデルに関する研究. 水利科学 154: 17-36.
- Bathurst JC. 1986. Physically-based distributed modeling of an upland catchment using systeme hydrolosique eropeen. *Journal of Hydrology* 87: 79-102.
- Beven KJ, Kirkby MJ, Schoffield N, Tagg AF. 1984. Testing a Physically-based Flood Forecasting Model (TOPMODEL) for Three UK Catchments. *Journal of Hydrology* 69: 119-143.
- 千葉徳爾 1991. はげ山の研究. そしえて; 349.
- 土木学会 1971. 水理公式集 昭和46年改訂版. 技報堂; 254-399.
- 土木研究所水工研究グループ水理水文チーム2003. 全国アメダス観測地点における確率降雨算定に関する研究報告書. 土木研究所資料第3900号.
- 福義宏 1987. 花崗岩山地における山腹植栽の流出に与える影響. 水利科学 177: 17-34.
- 長谷川秀三 2006. 根系深さの推定手法. 日本緑化工学会誌 31 (3): 346-351.
- Hewlett JD, Hibbert AR. 1967. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. *International Symposium on Forest Hydrology*. Pergamon Press: Oxford; 275-290.
- 石原安雄・小葉竹重機 1978. 洪水流出計算の総合化に関する一考察. 京都大学防災研究所年報 21 B-2: 153-172.
- Ishihara Y, Kobatake S. 1979. Runoff model for flood forecasting. *Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University* 29 (1): 27-43.
- 糸数 哲・恩田裕一・太田岳史・杉盛啓明・芝野博文2007. 植生回復程度の異なる山地小流域における土砂流出特性. 砂防学会誌 60 (3): 11-18.
- Kim K, Sidle RC, Tsuboyama Y. 2011. Modeling runoff dynamics from zero-order basins: implications for hydrological pathway. *Hydrological Research Letters* 5: 6-10. DOI:10.3178/HR.L5.6.
- 気象庁 2009. 気候変動監視レポート2008. 気象庁: 29-33.
- 気象庁: “土壌雨量指数”, 気象庁, <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/dojoshisu.html> (参照: 2012/3/24).
- 北原 曜・徳川浩一・Rodrigo Vargas・小宮忠義 1996. 表面侵食に及ぼす地被の影響—チリ半乾燥地における事例—. 日本林学会論文集 107: 331-334.
- 近藤純正・渡辺 力・中國 信 1992. 日本各地の森林蒸発散量の熱収支的評価. 天気. 39: 685-695.
- 小杉賢一 2007. 森林の水資源涵養機能に土層と透水性基岩が果たす役割の評価. 水文・水資源学会誌 20 (3): 201-213.
- 蔵治光一郎・保屋野初子 2004. 緑のダム. 築地書館; 260.
- 蔵本康平・篠原慶規・小松 光・大槻恭一 2010. 森林回復が流出に及ぼす影響. 水文・水資源学会誌 23 (1): 32-42.
- Marquardt DW. 1963. An algorithm for least-squares estimation on non-linear parameters. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics* 11: 431-441.
- Matsumoto K, Ohta T, Nakai T, Kuwada T, Daikoku K, Iida S, Yabuki H, Kononov AV, van der Molen MK, Kodama Y, Maximov TC, Dolman AJ, Hattori S. 2008. Energy consumption and evapotranspiration at several boreal and temperate forests in the Far East. *Agricultural and Forest Meteorology* 148: 1978-1989. DOI:10.1016/j.agrformet.2008.09.008.
- 宮脇保彦・臼井かつ江 1993. 二種類の新しい雨量計. 測候時報 (気象庁) 60 (5): 255-262.
- Nakai T, Sumida A, Daikoku K, Matsumoto K, van der Molen MK, Kodama Y, Kononov AV, Maximov TC, Dolman AJ, Yabuki H, Hara T, Ohta T. 2008. Parameterisation of aerodynamic roughness over boreal, cool- and warm-temperate forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 148: 1916-1925. DOI:10.1016/j.agrformet.2008.03.009.
- 日本学術会議 2001. 地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について (答申). 日本学術会議; 81-83.
- Park HT, Hattori S, Kang HM. 2000. Seasonal and inter-plot variations of stemflow, throughfall and interception loss in two deciduous broad-leaved forests. *Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources* 13 (1): 17-30.
- 菅原正巳 1972. 流出解析法. 共立出版; 275.
- 鈴木雅一・福義宏・武居有恒・小橋澄治 1979a. 土砂災害発生危険雨量. 砂防学会誌 (新砂防) 110: 1-7.
- 鈴木雅一・加藤博之・谷 誠・福義宏 1979b. 桐生試験地における樹冠通過雨量, 樹幹流下量, 遮断量の研究 (I) 樹冠通過雨量と樹幹流下量について. 日本林学会誌 61 (6): 202-210.
- 鈴木雅一 1992. 森林地の蒸発と蒸散. 森林水文学 (塚本良則編), 文永堂出版; 69-71.
- 鈴木宣直 1996. 気象研究ノート. 日本気象学会 185: 53-64.
- Tani M, Fujimoto M, Katsuyama M, Kojima N, Hosoda I, Kosugi K, Kosugi Y, Nakamura S. 2012. Predicting the dependencies of rainfall-runoff responses on human forest disturbances with soil loss based on the runoff mechanisms in granite and sedimentary rock mountains. *Hydrological Processes* 26:809-826. DOI: 10.1002/hyp.8295.
- 寺嶋智巳・諸戸清一 1990. 花崗岩山地小流域における水流発生機構. 地形 11 (2): 75-96.
- 鳥羽 妙・太田岳史 2002. 森林樹冠構造の相違による遮断蒸発特性の変動とそのモデル化. 水文・水資源学会誌 15 (4): 345-361.
- 東京大学農学部附属演習林 1997. 演習林概要. 芳文社; 23-28.
- Uchida T, Asano Y, Ohte N, Mizuyama T. 2003. Seepage area and rate of bedrock groundwater discharge at a granitic unchanneled hillslope. *Water Resources Research* 39 (1): 1018 DOI:10.1029/2002WR001298.

Vertessy RA, Hatton TJ, O'Shaughnessy PJ, Jayasuriya MDA. 1993. Predicting water yield from a mountain ash

forest catchment using a terrain analysis based catchment model. *Journal of Hydrology* 150: 665-700.

(受付：2011年12月26日，受理：2012年12月3日)

Predicting Hydrographs for an Extremely Large Storm Event Using Tank Models Calibrated by Ordinary Storm Events

Tetsushi ITOKAZU ¹⁾ Ken'ichirou KOSUGI ¹⁾ Yuichi ONDA ²⁾ Koichiro KURAJI ³⁾
Nobuaki TANAKA ³⁾ Taisei GOTO ³⁾ Takeshi OHTA ⁴⁾ Takahisa MIZUYAMA ¹⁾

¹⁾ Graduate School of Agriculture, Kyoto University
(Kitashirakawa-Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan)

²⁾ Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba
(1-1-1 Ten-nodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan)

³⁾ Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo
(11-44 Goizuka-cho, Seto, Aichi 489-0031, Japan)

⁴⁾ Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University
(Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601, Japan)

This study evaluated the applicability of tank models calibrated to an extremely large storm event using ordinary storm events. Rainfall and runoff were observed at three granitic watersheds having different forest recovery conditions: we studied a poor-vegetation watershed, a vegetation-recovered watershed, and a forested watershed. Parameters of the tank models were calibrated using rainfall and runoff data observed for ordinary storm events having total precipitation of less than 150 mm. Then those models were applied to simulate hydrographs for an extremely large storm event (Tokai heavy rain) having total precipitation of 457 mm. In the poor-vegetation watershed and vegetation-recovered watershed, which were characterized by thin soil layers, contributions of surface runoff to the total discharge were large even under ordinary storm events. In such watersheds, the tank models calibrated using the ordinary storm events reproduced hydrographs of the extremely large storm event. However, for the forested watershed, where surface runoff was rarely observed because of thick soil layers, the tank model was inaccurate for the extremely large storm event. The simulated hydrograph produced smaller peaks and gentler responses than the observations. We concluded that a large contribution of surface runoff generated only during an extremely large storm event caused underestimation of peak flows for the forested watershed.

Key words : forest flood-mitigation effects, vegetation recovery, tank model, granitic watershed, Tokai heavy rain

定常地下水流動解析に基づく 手取川扇状地における灌漑期の地下水位に 影響を与える要因の評価

岩崎 有美¹⁾ 尾崎 正志²⁾ 中村 公人¹⁾ 堀野 治彦²⁾ 川島 茂人¹⁾

¹⁾ 京都大学大学院農学研究科
(〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

²⁾ 大阪府立大学生命環境科学研究科
(〒599-8531 堺市学園町1-1)

石川県手取川扇状地の持続的な地下水利用を検討していくため、地下水位に影響を与える要因の解明及びその定量的な評価を実施した。経時的な地下水位や地下水位分布の観測から、地下水位は水田地帯特有の季節変動を示し、灌漑期には非灌漑期と比較して約5 m高くなることから、水田灌漑が地下水位に与える影響が大きいことがわかった。非灌漑期において扇頂から扇央部の地下水位分布が1993～2009年の期間で約5 m低下したことが明らかになった。さらに、地下水位と揚水量の経年的な変化傾向が概ね一致すること、手取川からの伏設水が地下水涵養に寄与することがわかった。次に、現地観測に基づき灌漑期の地下水位の経年変化を再現する地下水流動モデルを構築した。地下水流動解析の結果から、扇状地内でも扇頂部及び手取川に近い扇央部での水田面積、揚水量の変化が該当領域とその周辺の地下水位に大きく影響することを示した。水田面積が減少した場合に、現況の地下水位を維持するための揚水規制を検討し、同面積率が30 %以上減少すると揚水規制では地下水位の維持が困難であることを示した。最後に、手取川河川水位が地下水位に与える影響を定量的に明らかにした。

キーワード：地下水、扇状地、水田、揚水、伏設・還元現象

I. はじめに

石川県手取川扇状地には豊富な地下水資源が存在しており、古くから工業、水道用水等として利用され、地域の発展に寄与してきた。本地域における主要な地下水涵養源としては、灌漑期の水田からの田面浸透水、河川からの伏設水等が挙げられる。とくに、本地域は現在その50 %以上が水田として利用されており、灌漑期における水田からの田面浸透水は地下水涵養に大きく寄与しているものと考えられる。今後、転作面積の増加、耕作放棄地の増加、北陸新幹線の開通に伴う都市化の進行による水田面積の減少が地下水環境に影響するものと考えられる。また、北陸・東北地方は世界的にみても気温が比較的高いにも関わらず降雪量が多い地域であり、気候変動によるわずかな気温上昇によって降雪量が大幅に減少する可能性がある(気象庁, 2008)。この他

にも、気候変動による海面上昇や人間活動による揚水量の増減等が地下水環境に影響する可能性が高い(谷口, 2000)。このように、地下水体を増強あるいは減衰させる要素が多く予見されている。

手取川扇状地における地下水資源の持続的な利用及び効率的かつ効果的な保全管理を考えるためには、地下水流動や地下水位の変動特性を明らかにした上で、様々な社会的、自然的な要因が地下水位に与える影響を定量的に評価することが必要である。とりわけ、本地域での特徴的な地下水涵養源として考えられる水田、河川からの涵養メカニズムを評価し、これらの変化による地下水環境の変化を予測することが不可欠である。

土地利用や揚水量といった社会的要因の変化や、気候変動による自然的要因の変化の影響を定量的に評価するためには、モデルを用いた地下水流動シミュ

レーションが有効である。これまで、水田と地下水涵養の関係については、扇状地を対象にタンクモデルと地下水流動モデルを用いて解析を行い、水田からの地下水涵養を水収支に基づいて考察した Elhassan *et al.* (2001) や、汎用的なシミュレーションモデルである MODFLOW を用いて灌漑期に水田のみを湛水する条件と水田に加えて全農地を湛水させた条件を比較し、水位上昇量や貯留量についての定量的な評価を行った Anan *et al.* (2007) の研究があり、水田は重要な地下水涵養源であるとされている。また、都市化が地下水涵養に与える影響に関して、杉尾ら (1999) は、都市域でみられた地下水位低下を都市化の進行による不浸透域面積率の変化によって説明できるとしている。渡辺ら (2002) は、土地利用形態の区分ごとに独立したタンクモデルを用い、水田域に都市域が混合した場合に地下水位が大きく低下しうること示した。また、Khan *et al.* (2010) は MODFLOW を用い、水田面積が 50 % あるいは 75 % 減少した場合には、2 年間で地下水位が 1 m 程度低下すると予測している。一方、揚水量の変化が地下水に与える影響についての研究も多く行われている。Pisinaras *et al.* (2007) は、MODFLOW より揚水量シナリオを基にした 20 年後の地下水位、水収支の変化を予測した。He *et al.* (2008) は、タンクモデルを用いて地下水利用が増加した場合の予測を行い、行政の計画揚水量では地下水位が約 0.5 m 低下することを示した。

地下水流動や涵養のメカニズムは、一般に地形、地質、気象、土地利用、揚水等の地域固有の条件によって大きく異なる (長谷川, 2006)。そのため、他地域の知見、とくに定量的な情報をそのまま流用することはできない。それに加え、取得可能な地下水位、揚水量、土壌水理特性などの現地データの精度に応じたモデル構築をせざるを得ない。このように、地下水の適正管理に関する研究は事例的となる。

本地域の地下水に関する研究としては、1980 年度以降に水文地質構造解析・測水調査が実施され、石川県環境部・国際航業株式会社 (1991) は、市街地の拡大による土地利用変化及び揚水量増大、圃場整備に伴う水田の涵養機能の低下による地下水環境の変化を把握するためにタンクモデルを組み込んだ地下水流動モデルを構築し、特に降水量、揚水量変化が地下水環境へ及ぼす影響を検討した。次に、石川県環境部・国際航業株式会社 (1995) は地下水資源の総合的な管理のために、予見される土地利用、降

水量、揚水量の条件を用い、連結タンクモデルを用いた地下水流動モデルによって地下水位の変化を計算し、併せて地下水位を維持するための許容揚水量の検討を行った。これらの研究では、手取川からの地下水涵養は、動水勾配により生じるものとしてモデル化されているが、これについて妥当性を確認する実証的な調査は行われていない。その後、手取川の伏没・還元現象に関して、二俣ら (2005)、森田ら (2008) は流量観測を行っており、前者は伏没と還元が複雑に繰り返されるとしているが、後者は河口部と扇状地上流部で還元、扇状地中流部で伏没するという結果を得ている。また、辻本ら (2005) は手取川河川水位の低下に伴う扇状地地下水位の低下が見られるとしている。2010 年以降においては、土原ら (2010; 2011) が酸素・水素安定同位体比の分布から、河川水の浸透領域が扇状地の右岸側から扇端部にかけて広がることを示している。さらに、丸山ら (2012) は、手取川扇状地全体を対象として水収支を分析しており、地下水涵養等についての定量的な知見が得られている。

以上の状況を踏まえると、地下水流動モデルが構築された 1991、1995 年以降において、水田面積や揚水量など地下水を取りまく環境は大きく変化しているにも関わらず、地域の地下水位分布を把握する調査は行われておらず、今後の地下水管理のあり方を考えるためには、現在の地下水位分布や手取川の伏没・還元量の観測値に基づいた地下水流動モデルの構築が不可欠であると考えられる。

本研究では、手取川扇状地を対象とした現地での地下水位の経時的なデータや地下水位分布、地下水と河川からの水交換に関する現地観測結果を基に、まず扇状地の地下水状況及び過去からの変遷を明らかにした。さらに、将来的な地下水の管理・保全の検討を行っていくために本地域における地下水に影響すると考えられる土地利用、揚水量、河川水位の変化に応答する地下水流動モデルを構築し、灌漑期の定常地下水流動解析を行うことで、それら要因の変化が地下水位に与える影響の定量的な評価を行った。さらに、仮想的なシナリオにより土地利用変化に対応するための揚水の規制率、扇状地内の中でもどの地域での土地利用、揚水量変化が地下水位に影響するかについても検討を行った。

II. 調査概要

1. 対象地域

石川県手取川扇状地 ($36^{\circ}31' E$, $136^{\circ}34' N$) は、白山を源とする急流手取川によって形成された典型的な扇状地であり、白山市鶴来を起点として金沢市の南から能美市にかけて広がっている (図-1)。扇状地の主部は同心円状を呈し、扇頂から扇端までの距離は約13 km、扇頂の標高は約90 m、勾配は扇頂部から扇中央部にかけて1/130、扇端部で1/200であり、北陸地方特有の急勾配地形となっている。本扇状地は、金沢平野の大部分を占め、右岸域が左岸域と比較して広いという特徴をもつ。本研究では、扇状地のうち南部に位置する手取川、北東部の犀川及び同河川に合流する伏見川 (実際には犀川と伏見川が境界となるが、以下、犀川と記す)、西側の日本海、東側の白山山地で囲まれた領域を解析対象とした。その面積は約140 km²である。扇状地北東部の犀川左岸には県庁所在地である金沢市の市街地が展開している。

図-2に北陸農政局 (1977) が整理した地質ボー

リング柱状図 (領域内に約80か所) から得た図-1のI-I'、II-II' 断面における地質図を示す。北陸農政局 (1977) の区分に従うと、本地域の地質構造は、沖積世の砂礫層、洪積世の砂礫層及び第四紀洪積統～第三紀の砂礫・粘土の互層から成る。また、扇頂部付近の山地は第三紀中新世の火山岩類や火砕岩類から構成された難透水性の基盤岩であり、扇状地の水理基盤を成すと考えられる。扇端部の一部には粘土層が砂礫層の間に舌状に存在し、扇状地堆積層を二分している。

本扇状地内には、豊富な地下水を求めて食品、精密機械などの様々な業種の事業体が立地している。2008年度の資料 (石川県, 2010a) によると、手取川扇状地の関連6市町 (金沢市、旧野々市町 (現野々市市)、川北町、白山市、能美市、小松市) の年間揚水量は約 1.1×10^9 m³である。用途別にみると、工業用59 %、水道用30 %、農業用4 %、消雪用4 %、建物用3 %となっており、工業用、水道用の利用が大半を占める。2008年度の月別揚水量は、12月～3月は消雪用水が増加するため1月が最も多く (約 9.4×10^6 m³)、揚水量が最も少ないのは3月であった。

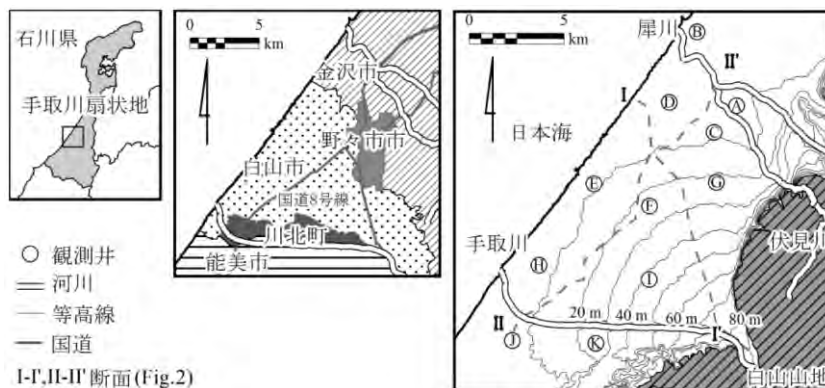


図-1 手取川扇状地の概要

Fig. 1 Outline of the study site.

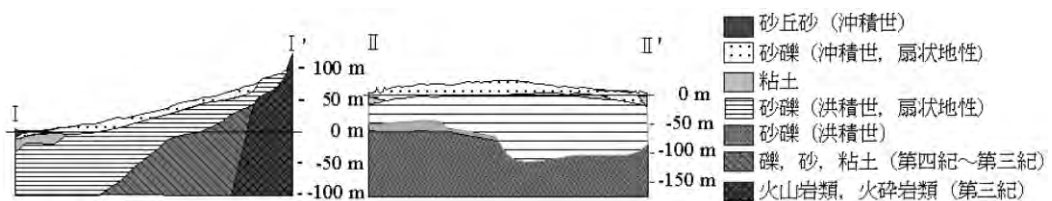


図-2 地質断面 (I-I'、II-II' 断面、図-1) (北陸農政局, 1977)

Fig. 2 Geological conditions across the study site (Line I-I', II-II' in Fig.1). (Modified from Hokuriku Regional Agricultural Administration Office, 1977).

(約 $7.4 \times 10^6 \text{ m}^3$)。さらに、2010年度の資料(石川県, 2012)によると、水道用水に占める地下水の割合は扇状地全体で約35%, 各市町単位でみると、とくに川北町と能美市では約100%であり、金沢市を除いた5市町においては水道水源の多くを地下水に依存している。また、水道の全揚水量のうち約99%を深井戸から取水している。揚水量は、1990年代初めまでは水道用水の増加に伴って増加傾向にあったが、1992年以降は工業用、農業用利用の減少により、横ばいあるいは減少傾向にある。消雪用の揚水量は降雪量が少ない状況が続いているにも関わらず増加傾向にある。

2. 観測データ

1) 地下水位連続観測

解析対象域内の7地点、さらに手取川左岸及び犀川右岸に位置する4地点を加えた計11地点(厳密には同一地点に深さの異なる井戸が2つあるため、計13地点)の井戸(図-1のA~K)において、一部例外を除き1974年から日平均の地下水位の連続観測が行われている。

2) 地下水位一斉観測

地下水流動や地下水位の分布を把握するために、非灌漑期及び灌漑期に地下水位一斉観測を実施した。非灌漑期の2009年11月16日~19日、灌漑期の2010年6月2日~7日に数地点の連続観測井を含む官民所有の既設井において地下水位計測を行った。観測地点は、それぞれ87地点と86地点である。なお、1993年12月6日~9日にも石川県環境部・国際航業株式会社(1995)により同様の地下水位観測(113地点)が行われている。これらの観測井位置は、後述の図-8に示されている。

3) 手取川流量観測

扇状地は、その形成機構から考えて地下水体と河川との間で水交換が発生しやすい。手取川は浅層地下水と水交換(伏没(河川からの地下水への流れ)あるいは還元(地下水から河川への流れ))していると考えられる(土原ら, 2010; 2011)。手取川における伏没・還元量を把握することは地下水流動を考える上で必須であるため、手取川の同時流量観測を実施した。灌漑期の2009年6月4日、非灌漑期の同年12月2日に、河口から1.1~16.4 kmの区間において流量を観測した。手取川においては、区間の上流部(河口から16.7 km)に位置する白山頭首工でのみ農業用水(七ヶ用水、宮竹用水)及び発電のための取

水が行われている。河口から12.3 km地点に位置する明島放水口からは一定量の放流(先の発電後の水の流入)が行われており、加えて手取川への流入水路が複数存在する。したがって、手取川8地点、手取川への流入がみられた10地点、計18地点において流量観測を行った。

Ⅲ. 定常地下水流動解析

1. 支配方程式

対象領域内の灌漑期における地下水流動や水収支を把握し、さらには水田からの地下水涵養、揚水、地下水体と河川との伏没・還元現象といった地下水位を変動させると考えられる要因の定量的な評価を目的とした地下水流動モデルを構築した。後述のように本地域においては、灌漑期初期を除いた灌漑期間中において地下水位の変化は比較的小さく、この期間における地下水流動の定常性を仮定しても合理性を失わないものと考えられる。定常解析で十分であれば、不確実性の高い貯留係数、地表面からの涵養量と河川からの伏没・還元量の時系列変化を推定する必要がなくなる。以上から、本研究ではMODFLOW2000(Harbaugh *et al.*, 2000)を用いた定常地下水流動モデルを構築し、灌漑期における地下水流動を求めることとした。本モデルにおける地下水流動の支配方程式はダルシー則に基づいた次式で与えられる。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = 0 \quad (1)$$

ここで、 K_{xx} 、 K_{yy} 、 K_{zz} は x 、 y 、 z 方向の飽和透水係数(L/T)、 h は地下水位(L)、 W は地下水体への水の出入り(単位体積あたりの体積フラックス、1/T)を表す。 $W > 0$ の場合は流入、 $W < 0$ の場合は流出である。 x 、 y 、 z は座標(L)である。なお、ここでは飽和透水係数の等方性を仮定した。支配方程式の離散化には空間3次元の有限差分法を用いた。すなわち、計算領域を直方体型のセルを用いて近似し、各セル中心点での水頭を計算することで、領域内の水頭分布やそれに伴う地下水流動を求めた。

2. 対象領域のモデル化

解析対象面積、地下水位観測井の数と分布、土地利用及び揚水量分布の既存資料の精度を考慮して、解析対象領域を水平面的には東西方向(x 軸方向)、

南北方向 (y軸方向) とともに400 m刻みの格子により離散化した (図-3)。本研究では、扇状地性砂礫層及び互層を帯水層になりうる地質とみなし、それぞれを浅層、深層帯水層として扱う。本研究で用いるモデルは、同一帯水層中の鉛直方向の地下水流動は考慮しない準3次元モデルであるため、鉛直方向を4つのレイヤ (層) に近似した。レイヤ1, 3が浅層 (扇状地性砂礫層), レイヤ4が深層 (砂礫, 砂, 粘土の互層 (第四紀洪積統~第三紀)), レイヤ2が沿岸部の粘土層を表す。レイヤの各セルの高さは、地質図から読み取った各層の層厚から決定した。モデルの底面 (不透水性境界) の高さについては、扇状地砂礫層は扇央部付近では少なくとも標高-130 mまで構成されているが、それ以深については対象領域全域にわたって地質を把握できるような調査は行われておらず、基盤岩までの深度は不明であるため、本研究ではモデル底面高さを一律標高-200 mに設定した。

3. モデルの入力データ

1) 土地利用

土地利用については、図-4に示す国土交通省 (2011) が提供する国土数値情報土地利用細分メッ

シュデータ (100 mメッシュ) にモデルグリッドを重ね合わせ、水田面積率を算出した。1976年のデータでは、領域の境界部分にあたる河川及び沿岸部、金沢市の市街地の一部を除き水田が多くを占めている。その後、犀川に沿った金沢市及び国道8号線沿いで経年的に都市化が進行している。畑地・樹園地は年によらず面積率が2 %以下とわずかである。領域全体の水田面積率の変化を整理すると1976, 1987, 1991, 1997, 2006年でそれぞれ、68, 61, 60, 57, 51 %となり、水田面積率は経年的に減少し、その減少分は建物用地の増加分とはほぼ等しい。

2) 揚水量

揚水量分布は、標準地域メッシュにおける第3次地域区画 (1 kmメッシュ) 毎のデータが1987, 1993, 2008年度について得られた。2008年度は、月別の揚水量分布 (石川県, 2010b) を使用し、年間の揚水量分布のみが得られた1987, 1993年度については、入手できた最も古い2005年度の月別揚水量の割合を用いて月別揚水量分布を推定した。各メッシュに含まれるグリッドの面積割合を考慮して、各グリッドの揚水量を算出した。図-5に6月の平均日揚水量の分布を示す。図より揚水量は、扇状地内でも手取川

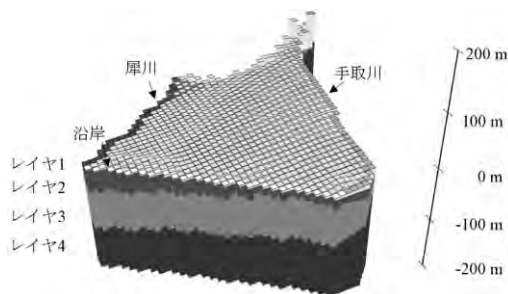


図-3 領域のモデル化
Fig. 3 Schematic sketch of the grids and layers.

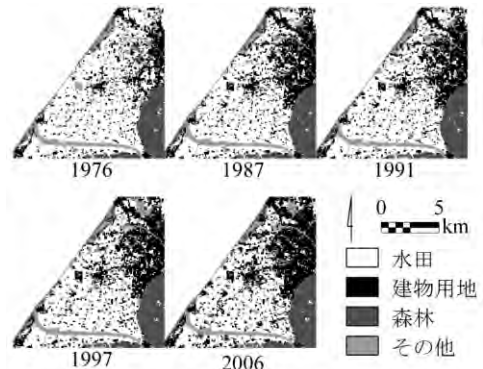


図-4 土地利用 (100 mメッシュ) の変化
Fig. 4 Changes in land use (100 m data).

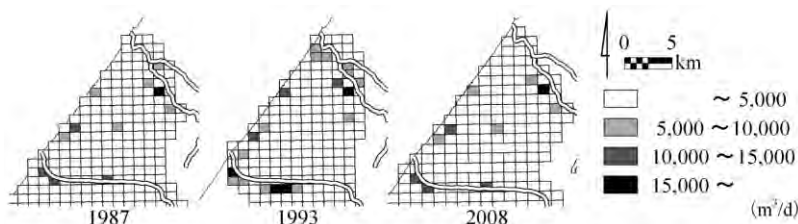


図-5 6月の日平均揚水量 (1 kmメッシュ) の変化
Fig. 5 Changes in daily averaged groundwater use in June (1 km data).

下流付近と金沢市の中心部で多いことがわかる。領域内における6月の平均日揚水総量は、1987, 1993, 2008年では、それぞれ約 2.6×10^5 , 2.5×10^5 , 1.6×10^5 m³/dである。

3) 浸透量と涵養量

村島(2009)は、手取川扇状地内の36筆の水田を対象として、2008年5月11日から8月10日の間に、毎週2~5回、12時間間隔で湛水深測定を行い、24時間換算の減水深を算定している。その結果によると扇状地内の平均減水深は、中干し前は10.9 mm/d、中干し後は24.7 mm/d、全期間の平均は15.6 mm/dである。ここで、扇頂を起点として、扇頂からの距離が5 kmまでを扇頂部、5 kmから10 kmまでを扇中部、10 kmより遠い地域を扇端部とし、各領域内における中干し前、中干し後の期間における平均減水深を算出した。中干し前の扇頂部と扇端部の平均値においてのみ有意な差が認められたが、扇端部では調査地点が4筆とデータ数が十分でないことから、減水深は扇状地内で一定とみなすこととした。減水深から灌漑期の平均蒸発散量(3.5 mm/d)を差し引き、中干し前における降下浸透量を算出すると7.4 mm/dとなった。定常状態では、この浸透量がそのまま地下水への涵養量になるとした(丸山ら, 2012)。

水田以外の浸透域としては、畑地と転作田が考えられる。畑地面積率は2%、本地域の転作率は2005年度データ(北陸農政局, 2006)によると27%であり、対象地域全面積に対する転作田の面積率は14%となる。結果として水田以外の浸透域面積率は16%となる。本地域を対象として、降水量の内、地下水涵養として寄与する割合を明らかにする調査は行われていない。丸山ら(2012)によると濃尾平野での降水量の流出率に関する知見に基づき推定した本地域における灌漑期の水田以外での降水による地下水涵養量は、水田からの地下水涵養量の約1割となる。仮にこの値を用いて、転作田における降水涵養を考慮した場合、後述する現況の地下水位の計算値は降水涵養を考慮しなかった場合と比較して地下水位の差は概ね0.3 mの範囲にとどまった。さらに灌漑期(5, 6, 7, 8月)の平均地下水位と総降水量の間には明確な相関関係が認められなかった。以上から、灌漑期間中は水田のみを涵養域として計算を行った。

各セルの涵養量は、水田面積率が100%のモデルグリッドからの浸透量(7.4 mm/d)に各グリッドの水田面積率と耕作率(1-転作率)を乗じた値とした。

4) 透水係数の同定

灌漑期における本地域の地下水位は、灌漑期初期に急上昇した後、高水位で安定的に推移する(詳細は後述する)。そこで、2010年6月(灌漑期)に実施した地下水位一斉観測結果が再現されるように、定常解析に基づいて透水係数を同定した。過去に石川県環境部・国際航業株式会社(1995)が揚水試験等から作成した透水量係数分布に基づいて浅層帯水層を北部、南部、沿岸部にゾーニングし、それぞれに異なる透水係数を与えた(図-6のレイヤ1, 2, 3を参照)。舌状の粘土層と深層帯水層はそれぞれ単一の地質と考え、ゾーニングは行わなかった(図-6のレイヤ2, 4を参照)。したがって、透水係数の異なるゾーンは計5つとなる。山地境界は非流動境界、沿岸部は一斉観測時の全国港湾海洋波浪情報網(国土交通省, 2011)から取得した金沢湾の平均海水面を基に定水頭境界を設定した。また、手取川・犀川両河川の境界については、2010年6月の地下水位一斉観測結果を空間補間により推定した地下水位から定水頭境界を設定した。ただし、犀川の河口部は、測定地点の位置が原因で内挿値が得られなかったため、海水面による定水頭境界の設定値と内挿値が得られた河口に最も近い犀川の境界セルの水頭値を線形補間して定水頭境界を設定した。領域内を通る水路は小規模なものが多く、大きな湖沼もないことから内部境界の設定は行わなかった。地下水位一斉観測は中干し前に行ったため、水田からの涵養量は中干し前の浸透量7.4 mm/dを基に各グリッドに与えた。また、揚水量には、入手できた最新の2008年6月のデータを用いた。2009年6月の地下水位一斉観測での観測井のうち、解析対象領域内にあり、ストレーナあるいは井戸深度が既知な37地点における地下水位の実測値とモデルによる計算値の残差二乗平均(RMS)を目的関数として、各ゾーンの透水係数を同定した。



図-6 透水係数のゾーニング

Fig. 6 Zoning to determine hydraulic conductivities.

5) 手取川における流量境界条件の検討

先の透水係数同定の際の河川の境界条件は一斉観測結果に基づく定水頭境界条件としたが、河川の境界条件としては、地下水位の値が未知の場合には、定水頭境界条件以外の条件を用いる必要がある。2009年に実施した手取川同時流量観測（伏没・還元量調査）結果から、手取川と周辺地下水は水交換しており、河床からの伏没水は地下水涵養に寄与していると推察される。そこで、河川境界での河川水位と地下水位に応じて相互に交換流が生じるとする流量境界条件の適用を試みた。

流量境界条件には、MODFLOW2000のRiver Package (Harbaugh *et al.*, 2000) を用いた。この境界条件では、水の交換のしやすさを表すコンダクタンスと呼ばれるパラメータを用いて河川と地下水体との水移動量が算出される。コンダクタンス C (L^2/T) は、各グリッドの河道の長さ L (L), 幅 W (L), 河床堆積物の厚さ M (L), そして河床堆積物の透水係数 K (L/T) により定まるパラメータであり、次式で与えられる。

$$C = \frac{KLW}{M} \quad (2)$$

河川境界を設定したグリッドでの河川から地下水への伏没量は、地下水位と河川水位の標高差に応じて発生すると仮定して、コンダクタンス、地下水位、河川水位を用いて式 (3) により計算した。

$$Q = C(H - h) \quad (3)$$

ここで、 Q は河川と地下水との間の流量 (L^3/T)、 H は河川水位 (L)、 h は流量境界セルにおける地下水水頭 (L) である。ただし、River Packageにおいてこの計算式を用いるためには、地下水水頭が河床底面標高よりも高いという設定でないと適用されない。したがって、河川堆積物厚さを便宜的に15 mと仮定することでこの条件を満たすようにした。前述の透水係数を同定した際の手取川からの計算流入量が、(3) 式を用いて再現されるようにコンダクタンスを決定した。河川水位及び河川幅は、灌漑期の流量観測時の実測値を用いた。河川堆積物の透水係数は (2) 式を用いて計算される。このように、コンダクタンスに物理的な意味はあるものの、河川堆積物厚さを便宜的に与えたため、河川堆積物の透水係数は実際の値を表すものではない。

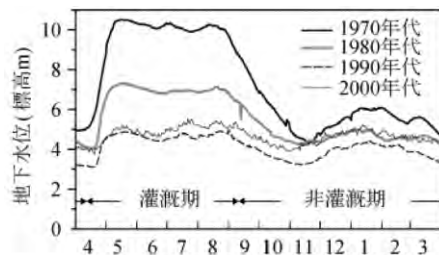
手取川の最下流の区間については、灌漑期と非灌漑期の一斉観測結果より地下水位の変化が小さいこ

とから、灌漑期一斉観測結果による定水頭境界とした。その他の境界条件としては、山地境界は非流動境界、沿岸部境界は定水頭境界とした。犀川に関しては、灌漑期の地下水位一斉観測時の地下水位（補間方法は前述のとおり）による定水頭境界とした。犀川を定水頭境界とした理由としては、実測により得られた地下水位コンターから判断して、灌漑期と非灌漑期で最大でも1 m程度と地下水位の違いが小さいためである。

IV. 結果と考察

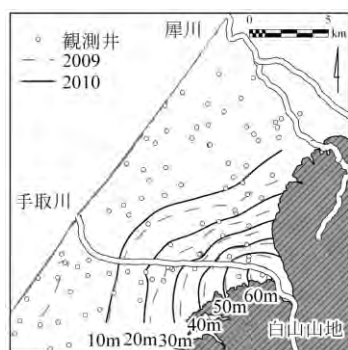
1. 地下水位の変動特性

本地域の地下水位は水田水管理を反映した明確な季節変動を示す。日平均地下水位の10年毎の平均値の経時変化を扇状部に位置するF井（図一1参照）を例に図一7に示す。地下水位は4月下旬の灌漑期初期に上昇し、灌漑期間中は非灌漑期と比較して高水位で安定的に推移し、灌漑の終了とともに緩やかに通減している。その後、非灌漑期には低水位となるが、12月から降雨、降雪の影響と思われる上昇がみられ、3月下旬から4月上旬の降水量の少ない期間になると若干の水位低下がみられる。灌漑期における地下水位上昇は、水田地帯における典型的な水位変化である（堀野ら, 1989）。また、灌漑期初期の地下水位上昇傾向は年代ごとにその程度の差はあるものの、揚水の影響を強く受けると考えられるH井を除く観測井で共通して確認された。年間を通しての地下水位を年代別に比較すると、1970年代が最も高く、1980, 1990年代に低下し、2000年代になると水位は若干ではあるが回復している。この経年的な水位変化は、年間揚水量が1990年の始めまで増加し、その後減少あるいは横ばいとなる変化と傾向として一致した。



図一7 年代別地下水位変化 (F井)

Fig. 7 Fluctuations in groundwater levels averaged for a decade observed at the F well.



(a) 灌漑期(2010年)と非灌漑期(2009年)の比較



(b) 非灌漑期の1993年と2009年の比較

図-8 地下水位コンターの比較

Fig. 8 Comparisons of measured groundwater levels during (a) the recent irrigation period and non-irrigation period (b) non-irrigation periods of 1993 and 2009.

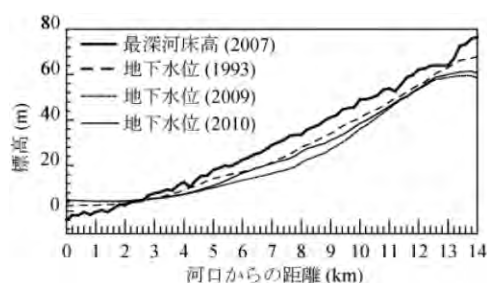


図-9 最深河床高と地下水位との関係

Fig. 9 Relation between the deepest river bed level and groundwater levels along the Tetsu River.

2. 地下水位分布と地下水流動状況

図-8(a)に2010年灌漑期と2009年非灌漑期における地下水位コンターを合わせて示す。扇頂から扇端部へ地形勾配に従う流れとともに、手取川から右岸域へ向かって（北西方向の）地下水流動が生じていることがわかる。さらに、地下水位コンターが山麓と垂直になっていることから、山麓に沿う流動が生じている一方で、山地へあるいは山地からの地下水流動はほとんど生じていないことがわかる。灌漑期、非灌漑期の地下水位コンターを比較すると、2008年の揚水量データにおいて、一斉観測の実施月である6月の揚水量は11月の揚水量より9%多いにも関わらず、水田が広く分布する扇中央部で灌漑期の方が最大5mほど地下水位が高い。扇状地に広がる水田からの田面浸透水が地下水体を涵養していると考えられる。さらに、非灌漑期の1993年及び2009年の地下水位コンター（図-8(b)）を比較すると、

2009年では扇頂部から扇中央部にかけて地下水位が概ね5m低下していることがわかる。

3. 手取川と周辺地下水の関係

手取川の同時流量観測結果を基に、手取川の流量を観測した各区間の水収支から伏没・還元量を推定した。灌漑期において上流の一部で還元区間があるものの、およそ河口から2.2~16.4 kmが伏没区間、1.1~2.2 kmが還元区間であった。二保ら（2005）は、河口部と扇状地上流部で還元、扇状地中流部で伏没すると述べており、今回の観測結果と概ね一致している。伏没区間内での総伏没量は、灌漑期では4.72 m³/s、非灌漑期では5.92 m³/sであり、還元区間内での還元量はそれぞれ1.27 m³/s、0.87 m³/sであった。

手取川での地下水位を一斉観測の地下水位分布から推定し、これと手取川の最深河床高との比較を図-9に示す。河口から2.5 kmの区間で最深河床高が地下水位よりも低く、それより上流では地下水位が河床高より低くなっている。すなわち、流量観測から推定された伏没・還元区間とはほぼ一致することが確認された。

4. 地下水流動モデルによる解析

1) モデルパラメータの同定結果

(1) 透水係数

灌漑期の一斉観測結果から同定された透水係数を表-1に示す。地下水位コンターの再現性は比較的良好であり、計算値の標準誤差は0.31 m、RMSは2.5 mであった。揚水試験から浅層南部（図-6参照）に位置する50m井の透水係数は 4.6×10^{-2} cm/s、さら

に深層帯水層に対応する150 m井では 2.0×10^{-3} cm/s, 加えて浅層北部で採取した試料の透水係数は 2.7×10^{-1} cm/sであった(奥山, 2011). 同定された透水係数は, これらの値より若干大きいものの, 地下水位コンターが再現できていることからこれらの同定値を採用した.

(2) 手取川流量境界条件の設定

2010年の灌漑期の地下水位コンターが再現されるように手取川流量観測の各区間のコンダタンスを設定したところ, 手取川から右岸側地下水への伏没量の計算値は灌漑期の手取川同時流量観測から推定された伏没量の約43 %となった. 灌漑期の地下水位一斉観測による地下水位分布からは明確な左岸域から右岸域(もしくはその逆)の流動は確認されておらず, 河川から伏没した水は右岸域, 左岸域の両方の地下水体へほぼ均等に供給されていると考えられ, 流量観測で得られた伏没量の約43 %が右岸の対象域内の地下水体を潤していると考えても矛盾はない. 計算値の標準誤差は0.31 m, RMSは2.1 mであり, 結果として, 前項で示した手取川を定水頭境

界とした透水係数の同定計算と比較して0.4 mのRMS値の改善がみられた. さらに, 地下水位コンターの再現性も良く, 図-10に示すように計算値は実測値と概ね一致している.

2) 水収支

地下水体への流入及び地下水体からの流出を把握するために, 解析対象領域, すなわち手取川右岸に展開する扇状地域を1つの地下水盆として考え, モデルを用いて水収支を算出した. ここでの水収支は, 灌漑期の定常的な状態のものであるため, 灌漑期を通した収支(丸山ら, 2012)ではないことに注意されたい. ここで述べる「流入」は地下水体への流入, 「流出」は地下水体からの流出を表す. 結果を表-2に示す. 灌漑期の全流入量は, 1.0×10^6 m³/d, 全流出量は, 8.8×10^5 m³/dとなり, モデルによる水収支はプラス12 %であった. 差分法においては, 境界条件が定水頭条件の場合, 境界部分でのフラックスはセル間の地下水位水頭の線形補間から計算されるが, 境界での実際の地下水位水頭勾配は非線形である. 海岸部や犀川における定水頭境界条件での地下

表-1 透水係数の同定値

Table 1 Optimized hydraulic conductivities.

ゾーン	透水係数 (cm/s)
浅層北部	1.0×10^0
浅層南部	5.5×10^{-2}
浅層沿岸部	8.6×10^{-1}
舌状粘土層	1.3×10^{-6}
深層	1.4×10^{-3}

表-2 解析対象域の灌漑期の水収支

Table 2 Water balances of the groundwater basin during the irrigation period.

	流入量 (m ³ /d (mm/d))	流出量 (m ³ /d (mm/d))	正味の流入・流出量* (m ³ /d (mm/d))
手取川	1.8×10^5 (1.3)	3.9×10^4 (0.3)	1.4×10^5 (1.0)
犀川	3.9×10^5 (2.7)	4.6×10^5 (3.2)	-7.0×10^4 (-0.5)
日本海	5.0×10^4 (0.3)	2.4×10^5 (1.7)	-1.9×10^5 (-1.4)
水田涵養	3.8×10^5 (2.7)	—	3.8×10^5 (2.7)
揚水	—	1.4×10^5 (1.0)	-1.4×10^5 (-1.0)

*プラス値は正味の流入量, マイナス値は正味の流出量を表す.

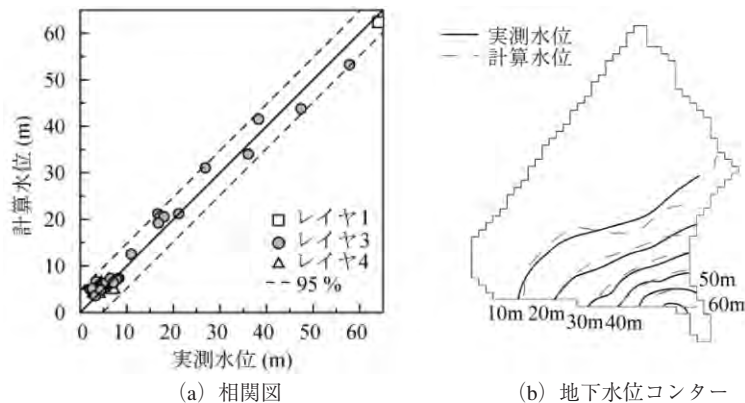


図-10 地下水位の計算値と実測値の比較

Fig.10 Comparison of the calculated and observed head: (a) correlation diagram and (b) contour map.

水位水頭の線形近似が流入量と流出量の差を生み出したものと考えられる。灌漑期での全流入量に占める手取川、犀川、日本海、水田からの涵養量の割合は18, 39, 5, 38 %であり、全流出量に占める手取川、犀川、日本海、揚水の割合は4, 52, 28, 16 %となった。ここで、犀川での流入、流出量が他の水収支成分と比較して大きくなった。犀川河口付近で海岸から犀川へ向って地下水の大きな流れが生じているが、これは犀川河口域の境界を地下水位の一斉観測結果から内挿することができず、平均海水面と一斉観測の内挿値が得られた河口に最も近い犀川の境界セルの水頭値を線形補間して設定したことによると考えられる。しかし、この海岸から犀川に向かう流れは領域全体の地下水位に影響を及ぼすものではなく、地下水位コンターが良好に再現されていることから、モデル解析を行う上で犀川に近い海岸域の水収支の取り扱いさえ留意すればモデルの運用には大きな問題は生じないと考えられる。また、各境界での流入量から流出量を差し引いて正味の流入、流出量を概算した。流入源としては手取川からの伏没、水田涵養があり、それぞれの正味の流入量は 1.4×10^5 , 3.8×10^5 m³/dとなる。その他の犀川、日本海、揚水は流出先となり、正味の流出量は 7.0×10^4 , 1.9×10^5 , 1.4×10^5 m³/dである。水収支分析の結果、灌漑期においては水田と手取川からの涵養、犀川・日本海・揚水の流出が収支成分としていずれも無視できないことがわかった。

3) 土地利用・揚水量変化の影響

これまでの結果から本地域の地下水位変化に影響する要因としては、土地利用、揚水量、河川水位が考えられる。しかしながら、手取川及び犀川の河川水位や流量には現在までに経年的な変化はほとんどみられていない。したがって、土地利用と揚水量に関する過去から現在までのデータを利用して、灌漑

期の定常的な地下水位の変化についての再現計算を行い、地下水位の連続観測及び一斉観測により確認された経年的な地下水位低下の要因について検討した。土地利用については1976, 1987, 1991, 1997, 2006年のデータ、また、揚水量については1987, 1993, 2008年のデータが取得できた。ただし、1976年の土地利用に対応する揚水量データは存在しない。さらに、1991年の土地利用については、1987年のそれと殆ど変化がないため使用しなかった。したがって、経年的な変化の状況を再現するため、1987年の両データ（ケースA1）、1997年の土地利用と1993年の揚水量データ（ケースA2）、2006年の土地利用と2008年の揚水量データ（ケースA3）の計3ケースの組み合わせを入力データとした（表-3）。水田からの涵養量は前述した7.4 mm/d、転作率は、ケースA1で23 %, ケースA2で24 %, 2006年の土地利用を用いたその他のケースで27 %とした。境界条件は、手取川流量境界条件の設定で記述したとおりである。

計算条件下で最も古いデータの組み合わせである1987年の地下水位の計算結果（ケースA1）を基準とし、各ケースのこれに対する地下水位低下量を図-11に示す。ここでは、「低下量」に注目するため、ケースA1に比べて地下水位が低い場合にプラス値、高い場合にマイナス値となるように図示した。すべての計算条件において地下水位の低下が生じ、とくに扇頂部から手取川沿いの扇中央部にかけて地下水位低下が顕著となっている。地下水位の最大低下量はケースA2において約0.9 m、最新のケースA3においては約2.4 mである。これらの領域においては、水田がかつては集中していたものの、水田面積が経年的に減少していること、山地沿いの地域では上流からの地下水流入が少ないことが地下水位の低下量が大きくなる原因と考えられる。これに対し、扇端部では揚水量が1987年と比較して、1993年及び2008

表-3 地下水位変化の計算に用いた土地利用、揚水量データ
Table 3 Combination of land use and groundwater use data for simulations.

ケース	土地利用	揚水量	ケース	土地利用	揚水量
A1	1987	1987	C1	2006 (-30 %*)	2008
A2	1997	1993	C2	2006 (-70 %*)	2008
A3	2006	2008	C3	2006 (-100 %*)	2008
B1	2006 (-10 %)	2008	D1	2006	2008 (+1.0×10 ⁴ m ³ /d*)
B2	2006 (-30 %)	2008	D2	2006	2008 (+3.0×10 ⁴ m ³ /d*)
B3	2006 (-50 %)	2008	D3	2006	2008 (+5.0×10 ⁴ m ³ /d*)
B4	2006 (-70 %)	2008			

*各ゾーン（図-14参照）内でのみ変化が生じる。

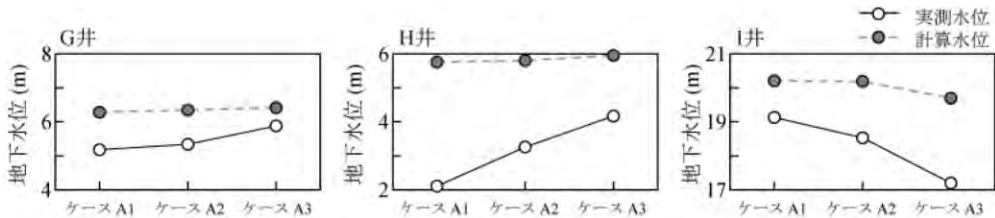


図-12 過去の土地利用，揚水量データを用いた灌漑期における地下水位の計算値と実測値の比較

Fig. 12 Comparison of changes in the calculated and observed head in the irrigation period using the past data of land use and groundwater use.

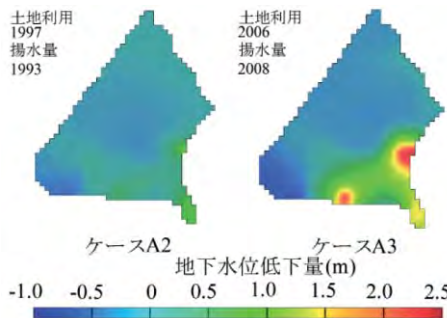


図-11 過去の土地利用，揚水量データを用いた灌漑期における地下水位低下量（ケースA1に対する水位低下量）

Fig. 11 Groundwater drawdown by the land use and groundwater use changes in the irrigation period (Drawdown from the condition in case A1).

年ともに減少しているため，わずかではあるが地下水位は上昇している．前述したような灌漑期初期の急激な上昇以降の灌漑期の定常的な水位と考えられる5月から8月の平均水位を，ケースA1，A2，A3に対応するようにそれぞれ1986年，1997年，2006年について求め，計算値と比較した（図-12）．地下水位の計算値と実測値は，完全には一致しなかった．この原因は，土地利用と揚水量データに年度の違いがあることなどが考えられる．しかし，計算値は実測された経年的な地下水位の変化傾向をおよそ再現している．また，例えば，ケースA1からケースA3にかけての実際の地下水位低下量は，手取川に近い扇中央部に位置するI井において1.9 mと最大となり，手取川に近い扇中央部において最も水位低下が大きくなるという計算結果との定性的な一致を示した．したがって，以下に示す地下水位の相対的な変化予測に基づいた地下水保全対策の検討においては，今回の解析が利用可能であると考えられる．

今後も本地域で水田面積が減少する可能性は高

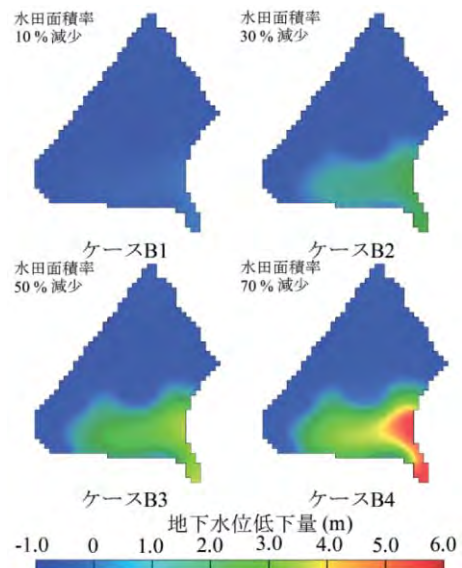


図-13 水田面積減少による灌漑期における地下水位低下量（ケースA3に対する水位低下量）

Fig. 13 Groundwater drawdown by decreasing of paddy field area in the irrigation period (Drawdown from the condition in case A3).

い．そこで，水田面積の減少が地下水位分布にどのような影響を及ぼすかを予測した．対象領域全体の水田面積が2006年時点（ケースA3を現況とする）から，分布はそのまま10，30，50，70 %（それぞれケースB1～B4）減少した時の地下水位を計算し（表-3），現況に対する地下水低下量を求めた．その結果を図-13に示す．水田面積の減少率の増加に伴い地下水位低下量は増加しており，ケースB1～B4のとき最大水位低下量は扇頂部においてそれぞれ0.5，2.0，3.6，5.2 mである．扇端部に比べて，扇頂部や扇中央部において水位低下が大きくなるのは，地下水集水面積が小さいこと，また現況の水田面積率自体が高いため，単位面積当たりの水田の減少面

積自体が扇端部に比べ大きいことが原因と考えられる。

4) 地下水保全策の検討

灌漑期の地下水位低下を抑制する方法の一つとして揚水規制が考えられる。そこで、前述の水田面積が減少した場合に現況の地下水位を維持するためにはどの程度の揚水規制が必要となるかを概算した。具体的には、現況の揚水量を減少させ、水田面積の減少による地下水位の低下から地下水位が現況まで回復するのに必要となる揚水量の規制率を検討した。規制率については、揚水量分布を2008年のままにして設定し、現況との地下水位の差の平均値が0.1 m以下の場合に現況の地下水位が維持されると判断した。水田面積の減少率が10 % (ケースB1) のときは、揚水制限を20 % 実施すれば現況の地下水位を維持できるという結果となった。しかしながら、水田面積減少率が30 % 以上るとき (ケースB2~B4) には、揚水規制では現況地下水の維持は不可能という結果となった。地下水の水収支を考えると揚水量は水田涵養量の約40 % にあたり、水田面積が30 % 減少しても揚水規制で十分に対応できると予想できる。しかし、解析において揚水規制による地下水位維持が不可能となったのは、水田が対象地域の南部に多く存在するのにに対し、揚水は北東部の地域で多く、水田涵養域と揚水量の多い地域との隔たりが影響しているものと考えられる。ただし、前

述のように畑地及び転作田からの降水涵養については無視できるものとして水田涵養のみを考慮しているため、水田面積減少による地下水位への影響を若干過大に評価している可能性があることには留意されたい。

次に、扇状地内のどの地域における土地利用、揚水量変化が地下水位に影響するのかを把握することを目的にシナリオ分析を行った。そこでまず、図-14に示すように解析対象領域を、扇頂、扇央、扇端部及び河川からの距離を基に、グリッド数がほぼ等しくなるように分割した。各分割領域をゾーンと記す。2006年の土地利用から、将来予想される水田面積の減少を考慮して、各ゾーン内における水田面積の減少率を30 (ケースC1)、70 (ケースC2)、



図-14 領域の分割

Fig. 14 Partitions of the model domain.

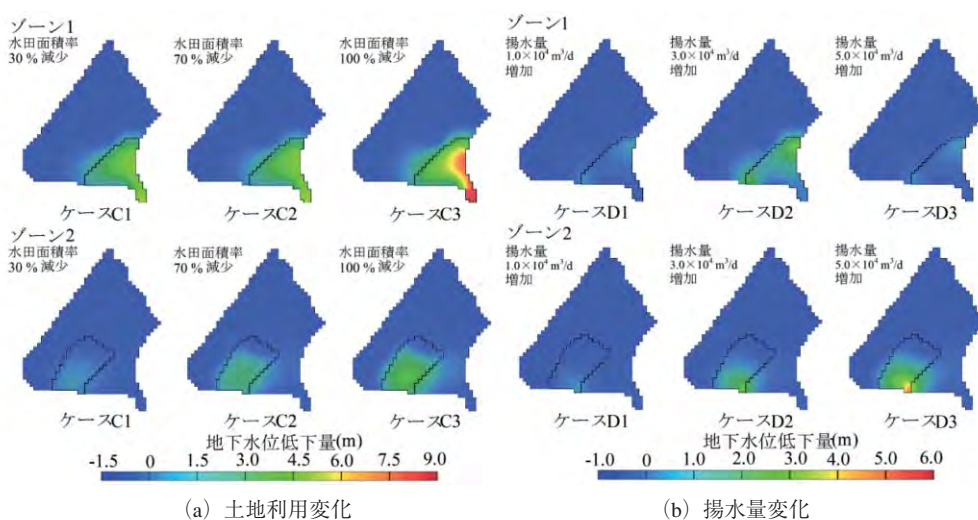


図-15 実線で囲まれた領域における仮想的な (a) 土地利用変化、(b) 揚水量変化による灌漑期における地下水位低下量 (ケースA3に対する水位低下量, 上段: ゾーン1, 下段: ゾーン2)

Fig. 15 Groundwater drawdown for hypothetical changes in (a) the land use or (b) the groundwater use at the range surrounded by the solid line in the irrigation period (Drawdown from the condition in case A3: upper, zone 1; lower, zone 2).

100 % (ケースC3) と設定した。このとき揚水量は2008年のままというシナリオ条件で計算を行った(表-3)。次に、2008年の揚水量・揚水量分布を基準にして、揚水量分布はそのままに、2008年の各ゾーンにおける揚水量が $1.3 \times 10^4 \sim 4.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ の範囲であることを考慮して、各ゾーン内での総揚水量を 1.0×10^4 (ケースD1), 3.0×10^4 (ケースD2), $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (ケースD3) だけ増強させ、土地利用は2006年のままというシナリオ条件で計算を行った(表-3)。転作率はすべてのケースで27 %とした。図-15に現況の地下水位(ケースA3)と比較した場合の地下水位低下量をゾーン1, 2の場合について示す。扇頂部に位置するゾーン1において水田面積が減少する場合に、その付近で地下水位が大きく低下し、水位低下量はケースC3のときに最大で8.6 m程度となる。また、手取川に近い扇央部であるゾーン2での、水位低下量はケースC3で約3.4 mとなる。一方、都市域に位置するゾーン3と扇端部のゾーン4~6でのケースC3での水位低下量の最大値はいずれも0.3 m以下となった。また、ゾーン1とゾーン2における揚水量増加が、その領域周辺の地下水位低下に大きく影響することがわかる。ゾーン1, 2の場合の最大低下量はケースD3のとき、それぞれ約5.1, 4.7 mとなり、対してゾーン3~6での揚水量増加による地下水低下量は同ケースで1.0 m以下となった。以上の結果より、地下水位に対する土地利用と揚水量変化の影響は、扇状地内の場所によって、その程度に差があり、とくに扇頂部と手取川に沿った扇央部において大きいことが明らかになった。扇頂部と手取川に近い扇央部での水田面積の維持と揚水量の抑制は、該当領域とその周辺の地下水位低下を抑制する上で重要であると考えられる。

5) 手取川水位変化の影響

地下水位一斉観測結果から地下水流動に手取川からの伏没水の影響がうかがえるとともに、手取川の同時流量観測から手取川の河口付近を除いた区間において概ね伏没が生じていること、地下水流動モデルによる水収支の結果からも手取川からの地下水への流入水は重要な涵養源であることが明らかになった。近年観測されているような降雪量の減少は、春先の融雪量を減少させ、河川水位の低下を引き起こすと予想される(能登ら, 2010; 2011)。そこで、手取川の河川水位低下が地下水位に与える影響について検討を行った。2009年の灌漑期に観測された河川水位(流量観測の区間ごとに設定)を基準とし、河川水位を0.1, 0.2, 0.3 mだけこの基準水位から低下させた場合をそれぞれ、ケースE1, E2, E3とした。なお、このような設定値としたのは、手取川の灌漑期に実施した流量観測時の最低水位が0.38 m, 最深水位が0.87 mであったためである。水田からの涵養量は $7.4 \text{ mm}/\text{d}$ を用いた。図-16に、現況の地下水位(ケースA3)に対する各ケースの地下水位低下量を示す。地下水位は扇頂部付近において低下が大きく、最大低下量はケースE1~E3でそれぞれ0.05, 0.1, 0.2 mとなる。また、手取川からの正味の流入量(涵養量)は、約1.3, 2.5, 3.5 %減少する。

V. まとめ

本研究では手取川扇状地を対象とし、地下水に関する現地観測及び現有の観測結果に基づいた地下水流動モデルにより灌漑期の定常的な地下水位に影響する要因について検討を行った。

灌漑期初期に地下水位が急激に上昇するという水

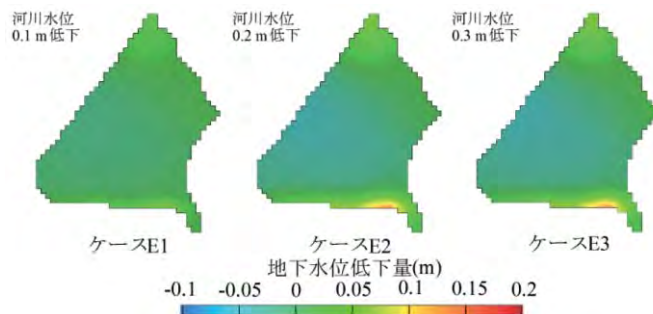


図-16 仮想的な河川水位変化による地下水位低下量 (ケースA3に対する水位低下量)

Fig. 16 Groundwater drawdown for hypothetical changes in the water levels of Tetsu River in the irrigation period (Drawdown from the condition in case A3).

田地帯特有の季節変動がみられ、また、地下水位一斉観測結果、灌漑期には扇央部で水位が約5 m高くなることから、扇状地内に多く分布している水田からの田面浸透水が地下水涵養に大きく寄与していることがわかった。さらに、非灌漑期の地下水位一斉観測の結果、1993～2009年の17年間で扇頂部から扇央部にかけて約5 m地下水位が低下していた。手取川同時流量観測により手取川と周辺地下水は水交換しており、最下流部は還元区間、それより上流側は伏設区間となった。

灌漑期の定常的な地下水分布を再現する地下水流動モデルに過去からの土地利用と揚水量データを用いた計算結果から、水田面積及び揚水量変化が共に灌漑期の地下水位変化に影響していることが示された。また、モデルを用いたシナリオ分析から扇状地全体で水田面積が減少するとき、地下水位低下は扇頂部から手取川に近い扇央部において大きくなった。また、水田面積の減少率がおよそ30 %以上になると揚水規制だけでは地下水位低下を抑えることはできないことが明らかになった。本地域において、1987年から1997年の水田面積の減少率は6.5 %、1997年から2006年の同減少率は10.5 %であり、今後さらに水田面積の減少が進行すれば、地下水環境を保全するためには揚水規制に加えて積極的な対策が必要となる。扇状地を分割して、水田面積の減少、揚水量の増加というシナリオを用いて計算した場合、扇頂部及び手取川に近い扇央部での水田面積の減少、揚水量の増加が、該当領域とその周辺の地下水位低下に大きく影響した。このことから、これらの領域における水田面積の維持や、揚水規制が効果的、効率的な地下水保全策となる可能性がある。手取川の河川水位が0.3 m低下すると、正味の流入量が3.5 %程度減少し、手取川に近い扇央部において地下水位が若干低下した。

今後は、本研究の結果を踏まえた非定常解析を実施し、非灌漑期の影響も考慮した地下水位に影響する要因について、より詳細な定量的評価を行う必要があると考えている。

謝辞

本研究は地球温暖化を前提とした手取川扇状地における「農業用水を核とした健全な水循環に関する研究」(代表:丸山利輔)の一環として行ったものであり、共同研究者の各位には有益な助言をいただいた。また、資料の提供や調査にあたっては石川県

農林水産部に大変お世話になった。ここに、記して感謝の意を表す。

引用文献

- Anan M, Yuge K, Nakano Y, Saptomo S, Haraguchi T. 2006. Quantification of the effect of rice paddy area changes on recharging groundwater. *Paddy and Water environment* 5: 41-47. DOI: 10.1007/s10333-006-0059-1.
- Elhassan AM, Goto A, Mizutani M. 2001. Combining a tank model with a groundwater model for simulating regional groundwater flow in an alluvial fan. *IRRIGATION, DRAINAGE AND RURAL ENGINEERING JOURNAL* 215: 21-29.
- Harbaugh AW, Banta ER, Hill MC, McDonald MG. 2000. MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey modular ground water model - User guide to modularization concepts and the Ground-Water Flow Process. *U.S. Geological Survey Open-File Report* 00-92: 121.
- 長谷川琢磨 2006. 地下水流動解析のガイドラインに関する調査. 地下水学会誌48 (2) : 75-86.
- He B, Takese K, Wang Y. 2008. A semi-distributed groundwater recharge model for estimating water-table and water-balance variables. *Hydrogeology Journal* 16: 1215-1228. DOI: 10.1007/s10440-008-0298-x.
- 北陸農政局 1977. 石川県の水利地質と地下水; 58.
- 北陸農政局 2006. 石川県農林水産統計年表(農林編)平成16-17年: 12-13.
- 堀野治彦・渡辺紹裕・丸山利輔 1989. 農業用水利用における地下水の役割に関する実証的研究. 農業土木論文集144: 9-16.
- 石川県 2010a. 平成21年度版石川県環境白書; 23-24.
- 石川県 2010b. 平成20年度石川県地下水保全対策調査報告書; 51.
- 石川県 2012. “水道施設別取水量(実績)一覧表”, 平成22年度水道統計調査データ, <http://www.pref.shikawa.lg.jp/mizukankyo/shiryo/suidou/h22.html>. (参照: 2012/02/19).
- 石川県・国際航業株式会社 1991. 手取川扇状地域適正揚水量調査委託報告書; 86.
- 石川県・国際航業株式会社 1995. 手取川扇状地域地下水調査委託事業報告書; 145.
- Khan S, Rana T, Corroll J, Gabriel. 2010. Assessment of rice hydraulic loading impacts on groundwater and salinity levels. *Paddy and Water Environment* 8: 23-29. DOI: 10.1007/s10333-009-0171-0.
- 気象庁 2008. 地球温暖化予測情報第7巻; 59.
- 国土交通省 2011. “国土数値情報土地利用細分メッシュデータ”, 国土数値情報ダウンロードシステム, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/jpgis/datalist/KsjTmplt-L03-b.html>. (参照: 2011/04/04).
- 国土交通省 2011. “全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)”, 国土交通省港湾局, <http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>. (参照: 2011/04/04).
- 丸山利輔・能登史和・吉田 匡・堀野治彦・中村公人・瀧本裕士 2012. 手取川扇状地における水収支分析. 水文・水資源学会誌 25 (1) : 20-29.
- 森田賢治・本田敏也・西村友之 2008. 手取川の正常流量設定に向けて一白山と手取川の恵みをつたふるさとづくり. 北陸地方整備局管内技術研究会論文集 http://www.hrr.mlit.go.jp/library/kenkyukai/h20/pdf/c/cj_15kanazawa.pdf (参照: 2012/09/25)
- 村島和男 2009. 農業用水を核とした健全な水循環に関する研

- 究. 2008年度報告書. 石川県立大学: 35-38.
- 二俣 秀・高橋 至・井上美嶺 2005. 手取川扇状地における地下水・伏流水に与える河道の影響について. 北陸地方整備局管内技術研究論文集. 2005年度: 209-212.
- 能登史和・丸山利輔・早瀬吉雄・瀧本裕士・中村公人 2010. 手取川山地流域におけるタンクモデルを用いた積雪水資源量の評価. 農業農村工学会論文集268: 31-37.
- 能登史和・丸山利輔・早瀬吉雄・瀧本裕士・中村公人 2011. 手取川山地流域における積雪当水量の長期予測と地球温暖化による影響評価. 農業農村工学会論文集274: 1-7.
- 奥山武彦 2011. 農業用水を核とした健全な水循環に関する研究. 2010年度報告書. 石川県立大学: 84-87.
- Pisinaras V, Tsihruntzis VA, Zagana E. 2007. A groundwater flow model for water management in the Ismarida plain, North Greece. *Environmental Modeling and Assessment* 12: 75-89. DOI: 10.1007/s10666-006-9040-z.
- 杉尾 哲・衛藤美佳・今山 清・出口近士・Suharyanto A. 1999. 宮崎市における地表面の被覆状況変化に伴う不圧地下水位の低下. 地下水学会誌41(4): 253-262.
- 谷口真人 2000. グローバルな観点からの地下水研究の現状と課題. 水文・水資源学会誌13(6): 476-485.
- 土原健雄・吉本周平・石田 聡・皆川裕樹・増本隆夫・今泉眞之 2010. 環境同位体からみた手取川扇状地における地下水涵養・流出特性. 応用水文22: 11-20.
- 土原健雄・吉本周平・石田 聡・今泉眞之 2011. 水質及び同位体分布特性からみた手取川扇状地における地下水涵養源の分類. 農業工学研究所技報211: 21-34.
- 辻本哲郎・二俣 秀・萩 慶・鷺見哲也 2005. 手取川河道整備課題と関連した扇状地の河道流れと伏流水の関係. 河川技術論文集11: 529-534.
- 渡辺仙州・米田 稔・森澤眞輔・横山卓雄 2002. 岐阜県各務原地域における地下水シミュレーション. 地下水学会誌44(3): 199-211.

(受付: 2012年6月14日, 受理: 2012年12月3日)

Assessment of Factors Influencing Groundwater Level Changes During Irrigation in the Tedor River Fan Based on Steady State Groundwater Flow Analysis

Yumi IWASAKI¹⁾ Masashi OZAKI²⁾ Kimihito NAKAMURA¹⁾
Haruhiko HORINO²⁾ Shigeto KAWASHIMA¹⁾

¹⁾ Graduate School of Agriculture, Kyoto University
(Kitashirakawa Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan)

²⁾ Graduate School of Life and Environmental Sciences, Osaka Prefecture University
(1-1 Gakuen-cho, Naka-ku, Sakai, Osaka 599-8531, Japan)

Quantitative assessment of groundwater-level influencing factors such as land use and pumping schemes is important to achieve sustainable groundwater use. This study examined the Tedor River Alluvial Fan in Ishikawa Prefecture, Japan, where groundwater levels have long been declining. Observations and numerical simulations using MODFLOW reveal some remarkable results. Comparisons of groundwater level observations during the irrigation and the non-irrigation periods revealed that groundwater levels during the irrigation period are about 5 m higher than during the non-irrigation period, which implies that paddy irrigation water contributes significantly to groundwater recharge. Furthermore, groundwater levels during the non-irrigation period have declined 5 m during 1993-2009. Discharge observations of the Tedor River confirm that much river water infiltrates into shallow groundwater. A groundwater simulation model was developed considering the observed data. Steady state groundwater flows in the irrigation period for several scenarios of land use and pumping schemes were set based on past, present, and predicted future human activities. Simulated results indicate that groundwater flows in the upper and middle parts of the fan are affected considerably by paddy area and pumping discharge. Especially, in cases where the paddy field area is smaller by more than 30 % from the present condition, the groundwater levels were not maintainable by pumping regulations. Drawdown of the water level of the Tedor River also causes a slight groundwater level decline along the river.

Key words : groundwater, alluvial fan, paddy field, pumping, exchange process between groundwater and river.

水文・水資源に関する実務・技術部門交流会 ワークショップ

「2011年タイ水害から1年
ー我が国は何を学び、どう貢献すべきかー」

開催報告

企画事業委員会

1. はじめに

企画事業委員会および同実務・技術部門小委員会（当時）では、表記のワークショップを2012年の水文・水資源学会研究発表会にあわせて9月26日に広島市西区民文化センターにおいて開催した。2011年9月から12月にかけてチャオプラヤ川中下流域を襲った未曾有のタイ水害から1年が経過し、この1年の間に分かったこと、これから取られようとしている対策、それに対する日本の取り組み、さらに日本における水害対策事例について情報を提供いただき、その共通点や相違点等を議論することで新たな知見を共有することを目的として、4名の方に講演いただいた。司会進行は、企画事業委員長長の深見（当時）が担当した。研究発表会終了後の遅い時間にも拘らず44名の方に参加いただき、活発な討議が行われた。ここではその概要について報告する。

2. 講演概要

(1) 2011年チャオプラヤ川大洪水の顛末について

小森 大輔 氏（東京大学生産技術研究所）

小森氏からは、チャオプラヤ川の流域・流況に関する特徴や2011年の大水害の原因について解説いただいた。2011年洪水はタイを襲った観測史上最大の洪水であり、100年に1度、平年の1.4倍という雨期全般に渡る多雨が基本的な原因である。雨量が平年の1.4倍に対して蒸発はほぼ変わらないため、川に流れてくる量は平年の2倍以上になったと推定される。被害は、2012年1月20日時点で死者813人、行方不明者3人、農地被害面積はピークの



小森 大輔 氏

2011年11月14日で2万 km²、工業部門では7工業団地804企業が浸水被害を受け、そのうち日系企業は449社である。チャオプラヤ川は下流域が非常に緩やかで勾配は1/15,000であり、下流のアユタヤで流下能力が小さくなっている。洪水を上中流部で自然的に氾濫させることでタイは治水を行ってきた。ダム運用については、2大ダムであるプミボンダムおよびシリキットダムは10月初旬までに総氾濫量の半分に相当する約100億 m³を貯留し、本洪水を効果的に緩和した。より洪水を軽減するためには、ダム下流で洪水が発生する8月以前に事前放流を行う必要があるが、降雨量の季節予報は未だ最先端研究課題の一つとされており日本の技術をもってしても難しく、下流河川の洪水疎通能力と現にダム下流が氾濫した条件の下での貯水操作は許容限界の極限のタイミングであったと考えられる。チャオプラヤ川のように流域面積が広くて勾配が緩やかな河川では日本とは時空間スケールが大きく異なるの

で、季節スケール、2～3ヶ月スケールの予警報システムや水防を考える必要がある、等を指摘された。



安岡 健 氏

(2) 2011年秋の大洪水を省みて

安岡 健 氏(Fujikura Electronics [Thailand] Ltd.)

安岡氏からは、フジクラの概要と昨年に現地で経験されたことを紹介いただいた。フジクラではタイにある12の工場のうち10の工場が浸水した。10月4日にSaha Ratana Nakornの工場に不意打ち状態で洪水が来て、10日にRojana, 13日にHi-tech, 17日にNavanakornの工場が浸水した。毎年、洪水は発生していたが、工業団地に水が来たことはなかったので設備避難の決断に至らなかった。結果的には、製造設備が2 m前後の水に浸かり、生産能力喪失とそれに伴う顧客喪失、長期生産停止に伴う事業規模縮小や人材流出、設備再立上げに伴う膨大な費用の発生等が生じた。今後、対策実施状況を監視し政府等に要求すべきことは要求する一方で、工場敷地周囲への防水壁構築、機械設備の二階への移設、受電設備等の嵩上げ、生産能力の非洪水地域への分散、洪水時期前の在庫増進といった自らできる対策は実施していく。また、ビジネスの再構築を行う必要があることが説明された。また、日本の皆様へのお願いとして、日本での豊富な洪水関連の知見に基づくタイ政府への指導、特に長期的な治水計画を地道に進める活動等を行ってほしい、と述べられた。

(3) 2011年タイ国チャオプラヤ川の洪水と今後の治水対策～日本による技術支援の観点から～

竹谷 公男 氏(独立行政法人国際協力機構)

竹谷氏からは、日本による技術支援の取り組みや治水対策の検討状況について講演いただいた。日本



竹谷 公男 氏

による技術支援については、洪水対策を決めるタイ国家水資源管理戦略委員会の唯一の外国人顧問に就任し、タイの首相、副首相と話をし、国王が考えている上流の森林保護、ダム、下流の放水路等の全体についてアイデアのすり合わせを行い、それを持ってタイ政府のマスタープランの基本方針と予算を決定し、その後JICAでその技術的検討・見直しを行っている。タイ政府のスケジュールに間に合わせるために東大沖研究室のストックを活用して流出解析・分析を行い、ICHARMの知見を動員して氾濫解析を行った。こうした官側の動員をフェーズ1、コンサルタントの動員をフェーズ2として、その間にレーザープロファイラーにより地形データを取得した等の具体的な内容を報告いただいた。また、治水対策については、上流の植林、既存ダムの運用改善、新設ダムをつくり、洪水予測による制御された氾濫を上流域で起こし、それでも足りないので放水路をつくる。また、氾濫水の排水対策が重要である。高い安全性を担保する首都を中心とする下流域のエリアと氾濫を許容する農業地域のエリアの2つに分けるのが99年のマスタープランと大きく違うところである等を説明いただいた。

(4) 平成23年新潟・福島豪雨水害を教訓とする今後の治水方策について

～信濃川下流域における取り組み～

中平 善伸 氏(国土交通省北陸地方整備局)

中平氏からは、平成23年新潟・福島豪雨水害における信濃川下流域の取り組みを紹介いただいた。信濃川下流域では平成16年豪雨において大きな被害を受け、その後、堤防整備、河道掘削、遊水地整備等の治水対策を流域の上流下流一体となって進めてきた。約1,200億円の激甚災害対策特別緊急事業等を



中平 善伸 氏

5～6年間かけて整備を行った直後に平成23年の豪雨を経験し、その効果は直ちに現れた。すなわち、計画規模を大きく越える既往最大の降雨を記録し、本川では計画高水位を20 cm以上上回る水位を記録したが、堤防嵩上げの効果により破堤を免れた。支川で整備した遊水地も貯留効果を発揮して下流への洪水流量の軽減に大きく寄与した。このように平成16年豪雨と比べて被害を小さく抑えることができた一方で、本川に比べ支川等が非常に危険な状態となったことや関係機関との危機管理連携など改善すべき点が明らかとなった。こうした今般の豪雨水害を教訓とした今後の治水方策としては、水害リスクを上中下流で分かち合う対策が必要であり、そのためには流域における水害の危険性の分析とその情報の共有を図ることが重要である、等を解説された。

3. 総合討議

4名のご講演後、深見をファシリテーターとして、講演者と参加者による総合討議が行われた。討議内容の一部を以下に記す。2011年はタイの地方行政と中央行政がばらばらに治水を行った結果、工業団地

がある左岸側を中心に氾濫し全体としての被害を大きくした。流域全体としての治水整備を考えていくのが今後の課題である。工場の浸水による顧客の損失等の間接被害も金銭換算した被害額を公表してもらえると被害実態が把握でき何らかの役に立つのではないかと、日本においても上下流でバランスのとれた治水整備を行う視点が重要である。下流側で受けている便益を上流側に還元することについて議論する必要がある、等の意見交換が行われた



4. おわりに

実務・技術部門交流会は、学会として現場技術者の貴重な実務の成果を広く知ることを目的として2001年度から昨年度までに8回のワークショップと1回の現地見学会を行ってきており、今回で10回目の節目を迎えることとなった。今回は2011年のタイ洪水および平成23年新潟・福島豪雨水害という国内外の大規模水害にテーマを絞ることで、総合討論を含めてきわめて活発な意見交換・議論が行われ、非常に有意義な交流会とすることができた。

(文責：企画事業委員会 高崎忠勝, 深見和彦)

シリーズ「発想のたまご」

地球観測データについて思うこと

千葉大学環境リモートセンシング研究センター

准教授 樋口 篤志

私はモノを捨てられないタイプではなく、勢い余って必要なものまでバサバサ捨てるタイプの人間である。しかし、どうしても捨てられないのが過去の観測データである。卒論で使った観測井柱状図に始まり、読むためのドライブが既に無いメディアに入った衛星・観測データ、果てにはVHSビデオ等、見ることは無いと思うが、捨てる踏ん切りの付かないものがそれなりにある。観測データを使い研究する人達に共通する特性だと思うが如何でしょうか？

…という書き出しをしたが、恥ずかしながら最近現場観測を一切していない。千葉大に異動し暫くして複数の大型観測プロジェクトが終わると同時に4大学研究センター連携事業(通称VL)にどっぷり関わってしまい、観測どころでは無くなってしまったのが実状ではあるが、VL立ち上げ時のキャッチフレーズの一つが「観測をやりっぱなしにしない」というのは皮肉的ではある。今回執筆依頼を受け、懺悔の意味も込めて、今観測データについて考えていることをつらつらと書いてみようと思う。

現場観測に限らず、広い意味での地球科学では観測データは地球そのものを理解する上で必要不可欠…というか、ぶっちゃけ「飯の種」である。私はモデル研究を基本しないため、データが無いと研究行為そのものが始まらないため、頭の上がらない存在でもある。そんな頭の上がらない「観測データ殿」を流石に神棚に祀ったりはしないが、案外ぞんざいに扱ってはいないだろうか？というより、こういう話を書くとき古傷が痛むような感覚も持つ人はきっと私だけではあるまい(と信じていたい)。

恥を覚悟で自白するが、現場観測を行ったモノできっちりと論文まで持ち込んだものはひいき目に見ても半分で、うちもっと絞り出せるはず、と執筆時におもったものもその半分あるため、データ有効利用打率は2割5分であり、我ながらひどいと思う。ただし、打率10割という研究者もいないだろうし、意外と野球の打率に近いところに収まるのではないだろうか(そんなわけない?)。前に頭の上がらない存在と書いていながら、うち7割が日の目を見ないことになる。陰でオヨオヨ泣くデータの

姿が目に見え浮かぶ。

では(結果として)日の目を見ないデータはなぜ存在してしまうのだろうか？想定されるシナリオを考えてみる。

a. 観測デザインがそもそも悪い、b. 信頼し得るデータが取れなかった、c. 測った人が単に多忙で解析に手が回らない、d. データの本当の価値を所有者(あるいは評価者)が正しく認識していない。

他にもありそうだが、こんなもんだろうか。a.とb.は根が同じ時もあるし、アクシデントやc.と絡んで単に「信頼し得ない」と取った側が思い込んでいるだけかもしれない。ややこしいのがd.で、これは個人研究のみならず、組織研究レベルに置き換えると容易に「データクライシス」に陥る(〇〇評価で評価が低いという理由で継続性が切られる)。さて、こうした状況を減らすために我々はどうすれば良いのだろうか？

一つはトップダウン的なアプローチであり、これは組織～プロジェクト研究レベルでは有効であろう。法令化、あるいはそれに準ずる扱いで総額〇〇千万円以上の観測研究では成果公表に加え、観測終了後〇〇年後には必ずデータを公開する義務を持たせるという方法である。公開先としては自前、又は文科省・東大主導で開発しているDIAS(あるいは準ずるデータセンター機能)が受け皿となるだろう。

もう一つはボトムアップ的なアプローチである。自発性・ボランティア精神に基づく、データ共有ポリシーで観測データを公開・ブラッシュアップしていき、コミュニティに貢献する、というものである。私は研究ツールもオープンソースを使うため、こちらの方がしっくり来る。ただ拘束力が無いため継続が難しい側面がある。例えば学会がこうした活動をエンドースする仕組みを設けたらどうだろうか？「あなたの使わなくなったデータ、譲り受けます」の会(冗談です)とか、観測原理で所属を超えたグループを作りデータ処理、共通化する仕組みを作るとか(例:「対象を限定しないレーダ友の会」)、状況を変えるきっかけはいくつかある気がする。

ボトムアップ的な活動のオフ会？として、JpGUでここ数年「地球環境関連データセット博覧会」なるセッションを協同で開催している。学会セッションとは思えぬゆるいノリでやっているが、それなりに幅と価値は上がってきているように思える。「タンス、じゃなかったデータ書架やHDDで眠っているデータ、見せてみませんか？」そして「観測をやりっぱなしにしないでデータを有効活用する方法」をみんなで考えてみませんか？きっと新たな出会いがあると思いますよ！

シリーズ「若手のページ」

弥山試験流域で体験した多くのこと

名古屋大学地球水循環研究センター
研究員 齋藤 隆実

私はこれまで主に樹木の個葉の水分生理を研究してきました。植物体内で葉という器官は、樹木の体内を流れてきた蒸散流の出口になります。また、葉肉細胞では10気圧以上にもなる膨圧によって生理活性が維持され、光合成生産が行われる場となっています。樹木の葉の水分状態は、湿潤な日本でも真夏の日中になると悪化します。この水欠乏にどのように対処しているか？を調べると樹種ごとの個性が見えてきます。また、水の供給を止めると葉の細胞が水不足に苦心する様子が観察され、細胞にとって必須の物理的制約は何か？その制約を克服するためにどんな手を打っているのか？ということを考えさせられます。このようなことを調べれば調べるほど未知の世界が広がり、物理学を手がかりとして植物を理解することがますます面白くなっていきます。

一方で、我々の日常生活は意識なくとも植物に大きく依存しています。たとえば「紙」。日本の製紙原料の約4割を占めるパルプ材は、約6割が輸入した広葉材で、そのうち約3割がオーストラリアからです。私は2006年から西オーストラリア州で乾燥に強いユーカリの品種を研究していました。この経験からわかったことは、育種という実用的な課題に取り組むためには葉だけでなく植物個体全体を調べる必要があるということ、もう一つは、樹木の存在がその土地の水収支に大きな影響を及ぼしているということでした。西オーストラリアの沿岸部では約200年前に西欧人が入植し森林を牧場に転換しました。すると地下水位が上昇し、地下の塩分が地表面に蓄積してしまったということです。そこで牧場に再び植林したところ、地下水位がまた下がってきたというではありませんか。このような樹木群の蒸散活動による土地の水収支への具体的な影響は、個葉の水関係だけを見てきた私にとっては驚くべきことでした。

さて、「弥山試験流域」とは福岡県飯塚市の県営林内に2010年6月に設置された調査地です。面積は約3.6 ha、標高は約400 m、年間降水量は2500 mm以上あり、林内は1969年植栽のヒノキとスギの人工林です。私は「樹木群による蒸散活動が土地の水収支にどのくらい影響しているのか？」という疑問について、ここで実際に

調査する機会に恵まれました。私は職場から車で片道一時間のこの調査地に2年2ヶ月間に合計192日通いました。弥山試験流域では水収支はもちろん、地下水位、水質分析、土砂など主な水文観測はほとんど網羅しています。

観測を始めて最初に興味を持ったことは量水堰での流量観測でした。さらさらと流れ去っていく渓流水をどうやって精度よく、しかも長期間測定し続けるかという課題は実際にやってみるとなかなか大変でした。なにしろ水と一緒に土砂も流れてきて堰に貯まります。それをせっせとかき出しても次の時にはまた貯まっている。根本的に解決しようと思うと堰の上流にある山体が巨大な土砂になって迫ってくるように思えました。量水堰の設計に携わる方にはぜひ土砂を簡単に除去できるような工夫をお願いしたいと思います。次に、福岡の梅雨時の降水量の大きさにも驚きました。6、7月中旬に1000 mmも降ります。2010年7月に4日間で575 mm降ったことがあり、大雨の中行ってみると大変なことになっていました。量水堰では普段使っていた三角堰はあふれてしまい、大流出用の特別な堰で何とか観測できました。吹き飛ばされず残ったのが不思議なくらいです。井戸では地下水位が急上昇、地上1 mの入り口から水があふれてくるではありませんか。ということはつまり、地下水層には0.1気圧以上の陽圧があるわけで・・・急に自分の立っている地面が不安に感じてきて、そおと井戸を後にしたのでした。

試験地では2011年2月に間伐を行い、現代の木こりとも言うべき森林組合の方々に大変お世話になりました。若くて頼もしい方が多く日本の林業の未来も明るいなと思いました。しかし、仕事はやはり大変なようで、何しろ斜面が急で大型機械が入れない。キャタピラー足の「高性能林業機械」は斜面上の林道に陣取り、作業員がワイヤを持って斜面を降りて伐採した木に引っかける。それを機械がずるずると引き上げ掴んで玉切りにする。作業員はまたワイヤを持って斜面を降り・・・ということを繰り返しておられました。西オーストラリアでは大型機械がまるで稲刈りのように木を摘み取っていたことを思うと、日本の急斜面でも利用できる効率のよい方法はないものかと思いました。

この他にも水文学の観測を始めて、調査地では思いがけない貴重な体験をたくさんすることになりました。観測を楽しく続けられたのも仲間の助けがあってこそですし、このような機会を与えて下さった大槻先生と恩田先生には感謝をいたしております。

2013年度水文・水資源学会研究グループの募集について

学会をより活性化させるための方策のひとつとして、研究調整委員会では研究グループ活動の支援を行っています。2000年5月9日版の「水文・水資源学会研究グループ支援策」(学会誌第13巻4号, p.331)に基づき、2013年度の研究グループの募集をいたします。下記の日程で募集し、9月の総会で審議される次年度の予算案にむけて開催する研究調整委員会で審議・検討を行う予定です。なお、申請にあたっては、上記の「支援策」および学会誌第14巻6号, p.535-537に掲載の「研究グループの支援と活動紹介」をご参照ください。

締め切り：2013年5月31日(金)

申請先：研究調整委員会委員長 飯田俊彰 宛に、申請書PDFファイルをEメールに添付して送信してください。なお、Eメールの件名には「水水研究グループ申請」と記載してください。

Eメールアドレス：atiida@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

申請書式：下記のような申請書式で申請してください。継続の場合も同様に申請してください。

申請書式は、学会Webページ <http://www.jshwr.org/> から入手できます。

問い合わせ先：研究調整委員会委員長 飯田俊彰

東京大学大学院農学生命科学研究科

電話：03-5841-5347 Eメールアドレス：atiida@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

水文・水資源学会研究グループ登録申請書

申請日		年	月	日
研究グループ名				
代表者名および所属				
住 所				
電 話	Eメール			
設立背景と目的				
活動計画の概要				
助成金額 (年額)				
研究計画全体の中での本助成金の使途と積算根拠				
その他必要な学会の支援内容				
主なメンバーの氏名および所属				

Hydrological Research Letters Guidelines for Authors

Revised on 7 June, 2012

General

Japan Society of Hydrology and Water Resources (JSHWR <http://www.jshwr.org/e/modules/news/>) publishes journals for the purpose of encouraging debate on a wide array of investigations in hydrology and water resources issues amongst academic researchers, students, practicing engineers and the general public. It also publishes critical reviews of various fields in hydrology and water resources and other information of interest to scientists to encourage communication and dissemination and wider utilization of scientific results.

The defining theme of Hydrological Research Letters (HRL, Publisher's site <http://www.jstage.jst.go.jp/browse/hrl>) can be encapsulated in the abbreviation TOP: Transdisciplinary, Open Access, and Prompt publication. Manuscripts submitted to HRL may cover all aspects of hydrology and water resources, including physical and biological science, engineering, and social and political sciences.

The HRL Editorial Board welcomes contributions from authors throughout the world. Whether to accept a contribution for publication or not is decided by the journal editors on the basis of the suitability of subject matter to the focus of the journal, originality of the contribution, potential impacts on society and scientific merit. The corresponding editor assigned to the submitted article ("the Editor") has complete responsibility and authority on behalf of the Editor-in-Chief to accept the submitted article for publication or to reject it. The Editor may confer with other editors or reviewers for an evaluation to arrive at a decision.

Submission

The submission process can be initiated from Top page (<http://www.editorialmanager.com/hrl/>). In the process authors are requested to upload two files (mandatory) along with manuscript files : (i) Copyright Transfer Agreement (CTA) signed by all authors

(<http://www.hrljournal.org/data/CTA0909pdf.pdf>), and (ii) "Layout file" that shows total space of all Tables and Figures for publication does not exceed the limitation, i.e. one page of A4 size. Each individual Figure and Table must be shown in one page in the manuscript (see Presentation of Manuscript section below), and in addition to the Figures and Tables authors are requested to upload Layout file, separately. Generally, the sizes (the occupied areas) of Figures and Tables in Layout file are smaller than those shown in the manuscript. Specifically, author(s) should upload a portrait mode page of the file, e.g. MS-Word, MS-PowerPoint or PDF file, on which all Tables and Figures with the final size for publication are displayed. Upper, lower, right and left margins of Layout file are 33 mm, 22 mm, 17 mm and 17 mm, respectively. If all Tables and Figures do not fit into one page, authors must either reduce the number and/or the size of Tables and Figures or move them to Supplement(s). Details of the manuscript format are described below.

If the study has conducted by a large group, the group can be an author with prior approval of Editor-in-Chief and all the members of the group. One or more persons' name can be added as author(s) if necessary. Upon submitting a group author manuscript, the corresponding author has to list the other members' names of the group that are indicated in supplemental material.

If authors resubmit the manuscript, it is requested to select "Original (Resubmission)" as Article Type in the submission system and the pervious manuscript number must be shown in Author Comments. It is mandatory to reply all reviewers' remarks for the previous manuscript and to clarify how and where authors revised the manuscript, e.g. changes are highlighted or noted. Resubmitted manuscript will be handled as a new submission.

Submission of an article to this journal is understood to imply that the article has not been published previously.

Contribution Categories

Contributions to HRL in the form of a Letter are intended to comprise the main category. A second category consists of contributions in the form of a Comment and/or of a Reply.

A. LETTERS

Publication Cost

Authors are requested to help support the cost of publication. The publication charge for the "Letter" is 55,000 JPYen per manuscript, which does not include reprints. Those who need reprints, please refer to the Reprints section.

We cannot publish the accepted manuscript unless the publication charge is paid.

A member of Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources may request the publication charge waiver. The waiver request should be made upon submission of the manuscript by the corresponding author and cosigned by an institutional authority to authenticate that no institutional or grant funds are available for the payment of the publication charge. The waiver request should be sent to Editor-in-Chief via an e-mail (<http://www.hrljournal.org/contact-us>) with an attached file. Normally, a decision on the waiver will be made within two business days. The authors of the paper published with the waiver should acknowledge that the publication charge is supported by the Japan Society of Hydrology and Water Resources.

Manuscript Preparation

Manuscripts should be written in English and prepared in 12-point type using a standard font, preferable Times, Helvetica, or Courier, and double spacing. The text should be in single-column format with the page and the line numbers. The line numbers should be shown at least every 10 lines. Units should comply with the SI Unit system. Composed units should be written without " / ". For instance, m/s should be m s^{-1} . Authors whose native language is not English are recommended to engage an English editor.

Tables and Figures must be on separate pages after the reference list, and they should not be incorporated into the main text. Besides Figures and Tables in the manuscript authors are requested to upload Layout file

(see the Submission section). No changes to the accepted version are permissible without the explicit approval of the Editor.

Paper Length

The manuscript cannot exceed 4000 words (including title, authors' name, affiliations, abstract, keywords, the body of the article, equations, acknowledgements, references, table captions and figure captions), and the total space occupied by Tables and Figures for publication must be within one page (authors can check this by Layout file described in Submission section), corresponding to about 5 printed pages with single-spaced 10-point double column. Estimating word-equivalents of equations: every single-line equation within one-column (two-column format) takes 30 (60) word-equivalents. Word-equivalents of a multiple-line equation can be obtained by a factor of the number of the lines used. Repeat the same estimation for all equations, and sum up the total word-equivalents. If you feel it difficult to hold the word count less than 4000, it would be helpful to move a part of the text to Supplement(s).

The word count limitation upon acceptance is 4500 (corresponding to 6 pages including Figures and Tables), because the manuscript tends to become longer as a result of review processes. Five pages or less is the norm for publication with the maximum of 6 pages. Author(s) can confirm the total number of pages for publication referring to Template (<http://www.hrljournal.org/data/template.doc>).

Presentation of Manuscript

Author(s) can upload Word, Excel, PowerPoint, RTF, JPEG, and other major format files which are automatically converted to one PDF file. Alternatively, including a malfunction of automatic PDF building system, authors are allowed to upload PDF file that include some or all of the contents. As Supplements movie file(s), e.g. MPG, QT, AVI and other popular formats, can be uploaded to which the link(s) are provided on the PDF that is automatically build. The manuscript should be arranged in the following order.

1. Title
2. Abstract
3. Keywords
4. Body of the article

5. Acknowledgments
6. References
7. Figure captions
8. Table captions
9. Figures
10. Tables
11. Supplements (as attached files / movies / excel sheets / high-resolution images, etc.)

1. Title

Title should be concise and informative. Words in Title should be in lower case letters except for the first character at the beginning of Title and the proper nouns. Title page must include authors' names and affiliations.

2. Abstract

Abstract should contain fewer than 200 words. A concise and factual abstract is required. Do not include references in the Abstract.

3. Ke ywords

Immediately after the Abstract, provide up to six keywords in lower case letters.

4. Body of the Article

The text should be divided into clearly defined sections, each with a separate heading. Section headings should be written on a separate line in uppercase with centering, e.g., SECTION.

Subsection headings should be left-justified and written in italics font, e.g., *Subsection*.

Any additional headings should be in standard font with no italics or capital letters, e.g., *subsubsection*.

5. Acknowledgements

Acknowledgments should be limited to collegial and financial assistance and are not meant to recognize personal or manuscript production support.

6. References

Each reference must be cited in the text as name and year within brackets: for example, (Brutsaert, 2006) or Brutsaert (2006). In case reference is made to more than one work by the same author published in the same year, specify each citation in the text as follows: (Yasunari, 2000a), (Yasunari, 2000b). In case three or more authors are listed in the reference list, the reference must be cited in the text as Oki *et al.* (1995). Digital Object Identifiers (dois), unless it is not provided, must be added in the reference list. Referring to Internet page requires

descriptions of URL and the date of access. References should be alphabetically listed in the following style:

Journal

Kitoh A, Yatagai A, Alpert P. 2008. First super-high-resolution model projection that the ancient "Fertile Crescent" will disappear in this century. *Hydrological Research Letters* 2:1-4. doi: 10.3178/HRL.2.1.

Chapter in book

Oki T, Musiake K, Matsuyama H, Masuda K. 1995. Global atmospheric water balance and runoff from large river basins. In *Advances in Hydrological Processes*, Kalma JD, Sivapalan M (eds). Wiley: Chichester; 411-434.

Book

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate Change: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 996 pp.

Proceedings

Yasunari, T. 2005: A possible collaboration/coordination between WCRP and GWSP in Asia -suggestions from GAME (GEWEX Asian Monsoon Experiment)-. *Proceeding of GWSP Asia Meeting August 29-31, 2005 Kyoto, Japan*, 38-39.

Internet page

Shuttle Radar Topography Mission.
<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Last access June 24, 2010.

7. Figure captions

Figures should be consecutively numbered in accordance with their appearance in the text. Each Figure must be entitled and cited in the text. A self-explanatory caption can be given if necessary.

8. Table captions

Each Table must have a title. Tables should be consecutively numbered in accordance with their appearance in the text, and can be captioned. All Tables must be cited in the text.

9. Figures

Each Figure should be displayed on one page. In the final Figures for publication, the font size should be at least 8 pt. Authors can check the font size upon producing Layout file (see Submission section) by

shrinking Figures in the manuscript. Figures are to be uploaded upon the initial submission, but the Editorial Office might require the authors to submit high-resolution file upon approval of the manuscript. If this is the case, the files should be provided in prevailing formats (e.g. EPS, TIFF or JPG) with the resolution of more than 600 dpi.

10. Tables

All columns must have headings. Vertical rules should be avoided. Each Table should be shown on one page. The final font size for publication must be 8 pt or larger as mentioned above.

11. Supplements

Up to 4 items may be added as supplements in electronic form; for example, high-resolution Figures, pictures, data tables, animations, detailed support documents, and source codes. Acceptable file formats are PDF, Word, Excel, PowerPoint, JPEG, Text, MPG, QT, AVI and other major formats. Supplements are subject to peer review since they are equally considered as an integral component of the published article. Any link to external source data may be provided from the supplement by links to appropriate web sites.

Figure or Table in supplements should be shown by adding "Supplement" in front of "Figure" or "Table" and "S" in front of the number, respectively, e.g. Supplement Figure S1 or Supplement Table SI. The other rules on References including dois, Figures and Tables including their captions are the same with the standard References, Figures and Tables described above.

B. COMMENT AND REPLY

Publication Cost

The publication charge for "Comment and Reply" is 15,000 JPYen per manuscript.

The waiver rule described in A. LETTERS holds true for the publication cost of Comment and Reply.

Details

The Editorial Board will consider a Comment for publication, provided it is submitted within six months from the publication of the original letter. The Comment must concisely address one or more meaningful aspects of the original letter and cannot introduce any new issues. The Reply by the author(s) must directly respond only to the Comment. All procedures for submitting the

Comment and Reply and for preparing these manuscripts are the same as in A. LETTERS except for publication cost, paper length, title, abstract, and keywords. The specific guidelines to be followed in preparing a Comment and its Reply are described below.

The editor, who handled the original letter, will proceed with the editorial process of the Comment, regardless of whether the original authors of the letter submit a Reply or not. Authors of a Comment are recommended to send their Comment to the authors of the Letter in question prior to the submission for a direct response, although this is not obligatory. The editor will make the decision to accept or reject, and, if necessary, can assign one reviewer who takes charge of both the Comment and the Reply. The Comment and the Reply will be consecutively published in the same volume, i.e. uploaded at the same time, but the Comment can be published by itself if there is no Reply.

Page Length

Manuscript cannot exceed 1000 words (including title, authors' name, affiliations, the body of the article, references, table caption and figure caption) with one Figure or one Table if necessary, corresponding to 1 or 2 printed page(s) with single spaced 10-point double column. The final word count after the review processes tends to increase in comparison with the original manuscript. The final word count for publication must be 1200 words or less with one Figure or one Table that occupies a half-page at a maximum. Author(s) can confirm the total number of pages for publication using Template (<http://www.hrljournal.org/data/template.doc>).

Title

The title for the Comment and Reply must start with "Comment on" and "Reply to comment on", respectively.

Abstract and Keywords

Neither Abstract nor Keywords are required in contributions of the Comment and Reply type.

Copyright and Permissions

The copyright of papers published in the Journal belongs to the Japan Society of Hydrology and Water

Resources. A Copyright Transfer Agreement (CTA) with original signature(s) is needed prior to the review process. Without this the submission cannot be processed.

If the manuscript contains extracts, including illustrations, from other copyright works (including material from on-line or intranet sources) the author must obtain written permission from the owners of the publishing rights to reproduce it. The permission should be scanned using a scanner and should be uploaded upon submission of the manuscript.

Language Editing

The author(s) are responsible for final English language quality. Only accepted manuscripts written by non-native English speakers will be edited at no cost to the authors if necessary.

Author's Proof

The author(s) can proofread the final form of their manuscript before it is uploaded on the Journal's web site. This will be the only opportunity to review the proofs. Authors are responsible for the accuracy of their manuscript's content after proofreading.

Reprints

Paper reprints with the Journal cover (minimum quantity 50 copies) are available on publication to the authors.

Reprints can be obtained by submitting a completed order form on the publication charge certificate (<http://www.hrljournal.org/data/publicationcharge.pdf>) upon acceptance. The cost of the reprints is found in the order form.

Additional Remarks for Authors

1. The manuscript should be written in clear, concise English in order for its contents to be understandable by a wide range of readers. Therefore, technical words, which may not be generally recognized, should be given with a brief explanation.
2. Authors must reply to the Editor within two weeks. If authors do not reply to the Editor in four weeks without prior approval for a delay, the manuscript will automatically be rejected.
3. Authors should have the English content of their manuscript edited before submission to the Editor-in-Chief. If the Editor encounters difficulty reading a submitted manuscript, it will be returned to the author(s) for English editing.
4. Before submission we strongly recommend author(s) to check the manuscript using Manuscript Check List (<http://www.hrljournal.org/data/MCL.pdf>).
5. Author(s) are requested to input Short Title (5 words or less) and potential reviewers (5 or more) during the submission processes.

Hydrological Research Letters

第6巻 12月 目次と要旨

<http://www.jstage.jst.go.jp/browse/hrl>

<http://www.hrljournal.org/>

Takanori Sato, Tomoki Oda, Yasunori Igarashi, Masakazu Suzuki, Yoshimi Uchiyama

Circumferential sap flow variation in the trunks of Japanese cedar and cypress trees growing on a steep slope

104-108

Abstract: In this study, we conducted sap flow measurements in Japanese cedar and cypress trees growing on a steep slope to examine circumferential variation. Sap flow measurements were conducted for upper and lower slope aspects and in four directions (north, east, south, and west). We also measured the width of the tree crown to examine the effect of sunlight. Japanese cedar and cypress growing at this site extended their crowns toward the lower slope. Individual trees displayed circumferential variation in sap flux density (F_d). For Japanese cedar and cypress, the maximum daily F_d were 1.92 and 3.80 times as large as the minimum, respectively. However, the circumferential variation in F_d did not appear to be dependent on direction or slope aspect. These results suggest that large errors are produced when circumferential variation in F_d is ignored during the estimation of whole tree transpiration. Therefore, it is necessary to use sensors to capture circumferential variation in F_d , but sensors can be inserted randomly without the need to consider the shape of the tree crown or the direction of the tree trunk.

訂 正 文

水文・水資源学会誌 Vol.26 No.1 の目次の一部，およびp.61の見出しの一部に誤りがあったため，以下のとおり訂正します．

（誤） Hydrological Research Letters 第6巻 10-12月

（正） Hydrological Research Letters 第6巻 10-11月

総務委員会報告

水文・水資源学会 第13期第1回総務委員会 議事録

開催日時：平成24年12月15日（土） 15：00～17：30

開催場所：首都大学東京 秋葉原サテライトキャンパス 会議室C

出席者（順不同・敬称略）：

会長：谷，委員長：河村，アドバイザー：窪田

委員：飯田，葛葉，中津川，檜山，松島，村上，陸

議 事：

1. 総務委員会関連
 - 1) 共催・後援・協賛の承認プロセスについて
 - 2) 総会・研究発表会の開催地（実行委員長）の件
 - 3) 理事会での配付資料の作成について
 - 4) 研究発表会の構成について
2. 財務委員会関連
 - 1) 2012年度業務委託契約の件
 - 2) 国際誌などの未回収投稿料・別刷代の件
3. 編集出版委員会関連
 - 1) 不適切な投稿への対処について
4. 企画事業委員会関連
 - 1) 25周年の企画について
5. 研究調整委員会関連
 - 1) 法人化にあたっての会計関係手続きの整理
6. 国際誌編集委員会関連
 - 1) 国際誌ホームページ管理業務委託の件
 - 2) 英文校閲料の件
 - 3) 国際誌編集委員会からの国際文献社への委託業務内容の件
7. JpGU関連
 - 1) 大型研究計画に対する学会の対応
 - 2) 統一英文ジャーナルの可能性
8. その他
 - 1) Japan-Water での検討の今後
 - 2) ホームページの更新について

（総務委員長：河村）

編集出版委員会報告

水文・水資源学会 第26巻1号（第13期 第1回）編集出版委員会 議事録

開催日時：平成24年12月3日（月） 14：00～16：45

開催場所：(株)大應 会議室

出席者（順不同・敬称略）：

委員長・檜山，副委員長・松島，幹事長・白木，委員・鼎（東京G），鷺見（中部G），松山（東京G），小宮（(株)大應）

議 事：委員長報告／副委員長報告／幹事長報告／26巻1号の進捗／26巻2号について／翻訳論文の掲載許可について／不適切論文の取り扱いについて／編集出版委員会名簿の表記について／査読審査経過に遅れがみられる時の手順について／論文タイトル，著者名表記等の体裁について／英文アブストラクトのある原稿の英文校正について／その他（書記：鷺見／中部G）

水文・水資源学会誌の発行計画 （定期的記事の掲載号と担当グループの表）

巻 号 数 (発行日) 原稿締め切り日 担当グループ 編集責任者			26巻 3号 (5/5) 3月31日 関西 萬	26巻 4号 (7/5) 5月31日 西日本 猪迫	26巻 5号 (9/5) 7月31日 東北 川越	26巻 6号 (11/5) 9月30日 関東甲信越	27巻 1号 (1/5) 11月30日 北海道	27巻 2号 (3/5) 1月31日 筑波
(記事項目)	(執筆責任者)	(入稿責任者)						
目次	各号責任者	各号責任者	○	○	○	○	○	○
編集出版委員会名簿	副委員長	副委員長	○	○	○	○	○	○
巻頭言 (2p.弱)	著者	委員長	○	○	○	○	○	○
受賞記念寄稿	受賞者	副委員長					○	
総会報告	総務委員長	副委員長				○		
研究発表会報告 (1～3p.)	大会実行委員長	副委員長				○		
表彰報告	表彰選考委員長	副委員長				○		
発想のたまご	担当者	副委員長	○	○	○	○	○	○
若手のページ	担当者	副委員長	○	○	○	○	○	○
総会研究発表会の案内	大会実行委員長	副委員長					△	◎
総会研究発表会プログラム	大会実行委員長	副委員長		●				
学会賞公募告示	表彰選考委員長	副委員長					○	
研究グループの募集	研究調整委員長	副委員長						○
HRL投稿要領	国際誌編集委員長	副委員長						○
HRL目次と要旨	国際誌編集委員長	副委員長	○	○	○	○	○	○
査読者等の心得	幹事長	幹事長					○	
各種委員会報告・議事録	各種委員会委員長	副委員長	○	○	○	○	○	○
発行計画	副委員長	副委員長	○	○	○	○	○	○
国内関連行事カレンダー	総務委員長	副委員長	○	○	○	○	○	○
各巻総目次	制作会社	副委員長				○		
査読者名簿	委員長	委員長				○		
入会の要領	副委員長	副委員長	○	×	○	×	○	×
入会申込書	副委員長	副委員長	○	×	○	×	○	×
投稿要領	幹事長	幹事長	○	×	○	×	○	×
賛助会員名簿	学会事務局	副委員長	×	○	×	○	×	○
編集後記	各号責任者	各号責任者	○	○	○	○	○	○
電子ジャーナル	幹事長	幹事長	○	×	○	×	○	×
「Q&A」	委員長	委員長	○	○	○	○	○	○

◎：重要， △：案内の簡単な予告， ●：版下を6月15日必着にて出版社に送付のこと， ×：掲載しない。

「発想のたまご」，「若手のページ」（各1ページ）は投稿があった場合のみ掲載。

担当者は，相馬，中村，金森，五名（発想のたまご），浜田，平岡，萬，渡部（若手のページ）。

「Q&A」も投稿があった場合のみ掲載。

たまご・若手・Q&Aの投稿先は<jshwr.ed@gmail.com>。

役員改選年度の6号には，新役員，新委員会名簿を掲載する。執筆責任者は新総務委員長，入稿責任者は副委員長。

賛助会員名簿

いであ(株)	(財)電力中央研究所 地球工学研究所
(財)河川環境管理財団	(株)東京建設コンサルタント
(財)河川情報センター河川情報研究所	(株)ドーコン
(株)環境モニタリング研究所	内外エンジニアリング(株)
関西電力(株)	(株)日水コン
(株)ケネック	(財)日本気象協会
(株)建設環境研究所	(株)日本建設技術社
(株)建設技術研究所	日本工営(株)中央研究所
(財)国土技術研究センター	日本工営(株)首都圏事業部
サンスイコンサルタント(株)	(株)ニュージェック
四国電力(株)	(株)ハイドロテック
(株)拓和	パシフィックコンサルタンツ(株)
(財)ダム技術センター	一般財団法人 北海道河川財団
(財)ダム水源地環境整備センター	北海道電力(株)土木部
中国電力(株)	三井共同建設コンサルタント(株)
(株)鶴見精機	横河電子機器(株)

編集後記

学会誌の編集担当者は2回目。1回目の当時（村上委員長の時）、「恐いお兄さま」方とまったく上の「恐いおじさま」方が、学会誌のステータスをいかに維持し高めるかを議論するその圧倒的な印象だけが記憶に残っている。右も左もわからない私は小さくなってハイハイと言われるままで、当時何をしたのかは綺麗に忘れていた。

その後もしばらく編集出版委員として査読担当委員を経験する中で、歴任された執行部の改善活動（手引き類や査読システムの整備など）により論文の査読審査過程の負荷・時間の節減は進んだと感じる。その一方で、編集出版委員会執行部（特に委員長と幹事長）には、神経を使うような負荷がさらに高まってきているのではないかとも感じた。網渡り的な採択原著論文数の前に査読進捗を神経質にモニタしなくてはならず、また、引用文献記載など種々ルールの順守、英語関係など、多くのチェック項目を求められるようであり、自分のように事務処理能力やチェック能力が低い者にはとても務まらないのではと思う。12月委員会での幹事長引き継ぎの場面に同席してますますそう感じたのだが、ト

ラブルが発生する度に「チェックをしましょう」項目が増え続けてきたに違いなく、幹事長や委員長の負担が高まってきたものと、担当したことのない自分は想像する。

1月の委員会でも「ああまた一つ仕事が増えてしまう」という案件があった。「こんな問題があったので、それに該当しないかどうか今後は委員会（＝結局執行部）でチェックすることにしましょう」というゴールキーピングも大事だが、事前のディフェンスで仕掛ける（著者に自分で確認させるしくみ）などの方法も考えてゴールキーパーの負荷を減らす方向に、ということを提案させていただいた。

そんな場にいると、号の目次をまとめているだけの編集担当者は何もやっていないのと同じに思えてしまう。歴任された方々も含め、編集出版委員会執行部の働きに改めて敬意を表したい。

（今号は、中部グループの鷺見哲也が担当しました。）

水文・水資源学会誌 第26巻2号（通巻第136号）

発行 平成25年3月5日

◇学会ホームページ：<http://www.jshwr.org/>

編集・発行人 水文・水資源学会編集出版委員会
発行所 水文・水資源学会

◇「学会事務局、編集出版委員会、情報基盤特別委員会へのメールでのお問い合わせ・ご連絡は上記学会ホームページの「お問い合わせ」のフォームで入力してください。」

〒162-0801 東京都新宿区山吹町358-5
(株) 国際文献社内

Tel.03-5389-6208 Fax.03-3368-2822

e-mail:jshw-post@bunken.co.jp

制作/印刷 (株) 大應
