四万十・流域圏学会誌

第6巻　第2号

We Love "SHIMANTO"






2007
May

四万十川の清流を守ろう
SHIMANTO

四万十・流域圏学会誌　第6巻 第2号（2007）

目　　次

巻頭言

四国を産油国に
　　藤田正憲（国立高知工業高等専門学校・校長）……1

招待講演論文

ホタル点滅の不思議―地球の奇跡
　　大場信義（横須賀市自然・人文博物館）……3

解説

高知県の森林の再生に向けて
　　齋藤由貴（社団法人高知県森と緑の会）……7

論文(原著)

中華人民共和国・台湾の水環境問題における四万十川方式水処理技術の有用性
　　三宮秀治、大杉憲正、江鷹、高尾圭一、牛世全、石川祐一、松本聰　……11

高知県鏡川におけるアユの産卵場とその地形的特性
　　福留脩文、藤田真二、芳之内祐司、矢野孝幸（(株)西日本科学研究所）……19

アジアモンスーン地域・氾濫原沖積平野の地下水利用と保全政策　―（その 4）*海水浸入と残留塩類による水質劣化に直面する沖積平野*　―
　　辻和毅（不二グラウト工業㈱）……25

Evaluation on Workability of Japanese Basin Management Systems - From the Viewpoint of Appropriate Water-related Infrastructure Building under Rapid Urbanization -
　　Jun MATSUSHITA(Shibaura Institute of Technology)……35

Integrated Groundwater Resources Management and Policy in Western Aso Mountain Foot Groundwater Basin
　　Jun SHIMADA (Graduate school of Science. and Tech., Kumamoto University), Masahiro MURAKAMI (Kochi University of Technology), Kazuki TSUJI (Fuji Grout Co. Ltd, Japan)・……47

報告

第7回四万十・流域圏学会総会・学術研究発表会プログラム
　　……55

添付

四万十・流域圏学会・会則……59
四万十・流域圏学会・役員リスト……62
委員会……63
会員募集のご案内……64
入会申込書……65
四万十・流域圏学会誌・執筆要領（サンプル）……66
編集後記……68

巻頭言

四国を産油国に

藤　田　正　憲*

農林水産省が新エネルギー創出と関連してバイオマス・ニッポン総合戦略を発表し、そのなかで平成18年にバイオマスタウン構想を公募した。バイオマスタウン構想では、地域内の廃棄物系バイオマスの90%以上あるいは未利用バイオマスの40%以上を、安定的かつ総合的に利活用することを義務づけている。廃棄物系バイオマスでは、家畜糞尿、下水汚泥、焼酎蒸留滓などが量的にまとまっているが、その他食品系廃棄物も利用されている。建築廃材も廃棄物系と定義できる。多くはメタン発酵やコンポストに利用されているが、亜臨界水による有機酸やアルコールへの転換反応も注目される。また、廃材を酸で糖化してエタノールを製造するプロセスも実用化されている。一方、未利用バイオマスとは、食糧や木材として利用されないバイオマスで、草、間伐材、林地残材、竹などが含まれる。

TVでも報じられたように、ブラジルや米国に刺激され日本でもCO_2削減の一環としてバイオエタノールを3%混合したガソリン（E3）が販売されるようになった。将来の10%混合（E10）を視野に、今年度よりE10の実走行試験が開始される。今のところ、バイオエタノールを廃材で生産しても、量を賄えないために輸入しているのが現状である。政府は膨大な量のバイオエタノール生産を公表しているが、その原料を何に求めるかは大きな課題と言える。特に、トウモロコシから作るバイオエタノールは途上国の食糧価格の高騰を招いており、大きな批判の的となっているため、方向変換をしなければならないだろう。筆者も食料と競合するバイオマスでのエタノール生産には批判的であり、人や家畜の食べない非食糧系バイオマスこそが利用可能なバイオマスと考えている。

バイオプロセスでエタノールを生産するには、でんぷんやセルロースの豊富なバイオマスを原料として、これを糖化し、発酵しなければならない。また、発酵液からの効率的なエタノール抽出（現在は蒸留）、安価な廃液処理など克服すべき課題は多い。筆者はでんぷん、セルロース含有量の高いボタン浮草・ウオルフィアなどの水生植物の持つ旺盛な増殖を利用した汚水処理とバイオマス生産を組み合わせ、収穫した植物からバイオエタノールを生産できることを発表したが、国内で応用するには広い水面積を必要とするのが欠点である。収穫も容易であるし、熱帯・亜熱帯性気候の海外での適用は可能であると考えている。一方、広大な山間部を持つ四国4県は竹や間伐材が多く、また温暖な気候から生育も早いので、非食糧系バイオマスの宝庫といえる。先に述べた課題に加え、でんぷんやセルローズの多いバイオマスの選抜、間伐材や竹を安価に搬出する手法の開発など克服すべき課題も多いが、産官学の連携で知恵を出し合って技術的・制度的に解決し、四国の各地でバイオエタノールが生産されるようになることを夢見ている。

バイオエタノール生産はバイオマス生産である1次産業と木材への加工・エタノール生産などの2次産業の結合であり、さらに木の加工における芸術性が加わると3次産業も組み込まれる、先端産業を構築できると共に、四国の教育・研究への刺激となる。かって隆盛を誇った因幡の国のたたらによる製鉄産業を想像させる。また未利用バイオマスを核とする循環型社会の構築は、四国が温暖化防止に貢献する産油国としての地位を確保できるだけでなく、山間部の活性化が林業や自然共生型ツーリズムの復権につながり、ひいては若者の定住を誘因し、水源地の保全や自然環境を守る行動につながると信じている。

* 国立高知工業高等専門学校　〒783-8508 高知県南国市物部乙200-1

［四万十・流域圏学会誌　第６巻　第２号　3－5　2007］

〈 招待講演論文 〉

ホタル点滅の不思議—地球の奇跡

大　場　信　義*

1．はじめに

熱帯のパプア・ニューギニアには特定の１本の木に数万数千個体ものホタルが集まり、一斉に点滅を繰り返す驚異的な現象が知られている。 この発光する様子はまるでクリスマスツリーのように美しく、幻想的である。 無数のホタルがなぜ特定の一本の木に集合するのか、どのようにして一斉に周期をあわせて発光しているのか、さらに集団発光する意義はなんであろうかなどの不思議が満ち溢れている。 私は幸運にもこれまでに３回、「ホタルの木」を観察する機会に恵まれ、調査研究を重ねるごとに、ホタルの深遠な世界が広がり、また、ダイナミックな現象であるとともに、一方ではきわめて繊細で壊れやすい現象であることも把握されてきた。

「ホタルの木」は絶妙な自然のバランスが保たれたなかで成り立っている現象であり、まさに地球の奇跡ともいえるものである。もし、この木が不用意に切られたならば、その復元はほとんど不可能と思われ、そのときに失われたもののあまりの大きさに耐え難い思いをすることであろう。これまでも、熱帯降雨林の生産性の高さ、多様性は観念では理解していたつもりであるが、この「ホタルの木」は私に直接そのことを語りかけてくれた。

このことを知ることができた私には「ホタルの木」を切ることなど恐れ多く、とてもできないことである。 長い時間をかけて作り上げられてきた地球の奇跡はもう二度と戻らないからである。しかし、この「ホタルの木」は原生林の伐採などで、現在急速に失われている。それも、大半が日本と大きく関わっている。 これから、私たちに自然との関わりのなかで、どのようにバランスを保ち、持続可能な環境を保っていこうとするのかを、「ホタルの木」は突きつけているように思える。

ここでは「ホタルの木」のほかに各種ホタルの光コミュニケーション、発光パターンの自在な制御のしくみ、ホタルの言葉、方言、光コミュニケーションなどについて、最新の研究成果を交えながら紹介する。

2．ホタルの光の不思議

幼虫はなぜ光る？

ホタルの幼虫は全て夜行性であり、発光する。一方、成虫にあると昼間に活動するようになったオバボタルなどのホタル類は、光シグナルから匂いシグナルによるコミュニケーションへと適応させた。ホタルは幼虫、成虫ともに異臭を放ち、補食者を忌避する。この習性を発光する行動が結び合い、警告シグナルとしての役割を演じていると考えられる。

成虫はなぜ光る？

成虫が光るのは幼虫時代の光る意義、即ち外敵に対する警告が引き継がれ、更にその光シグナルを派生的に固有なものとしてコミュニケーションのシグナルへと進化させたものと考えられる。

種類ごとに異なる光りかた

一斉にそろって光る： ゲンジボタルは雄が飛翔して発光する際に点滅周期を一斉にそろえる。一方雌の光りかたは異なるので雄は雌を見出し易い。集団で同調発光することによって、同じ種のホタルを集合させる。一斉にそろって発光する現象で有名なものは後述する東南アジア一帯にみられる「ホタルの木」である。集団化することでより遠くまで仲間を誘印する光シグナルを送り届けることが可能となる。

ゆっくりと点滅しながら光る： ゲンジボタルはゆっくりと点滅しながら雄も雌も強く光る。

強く光り続ける： アキマドボタルにみられる光りかたで、特に雄が雌を広範囲に探すときに飛翔しながら発光するときに見られる。

弱く光り続ける： 昼も夜も活動するオオマドボタルなどの両行性のホタル類は夜間に尾端にある一対の小さな発光器から弱い連続した光を放つ。

光りの方言

せっかち型とのんびり型： ゲンジボタルの雌を探すときの飛翔発光パターンは 大きく分けて発光間隔が約４秒（東日本型）と２秒（西日本型）が認められ，両型の分布境界域に約３秒の中間型が分布する。中間型に近い型の集団も九州などで確認された。

どこで分かれるのか： 分布境界域はほぼフォッサマグナが第一義的な要因と推定できるが、完全に一致していない。ゲンジボタルは河川に依存して生活していることから、日本海では信濃川などの河川の存在や、人間活動による分布の撹乱・拡散などが関与したと考えられる。

光りの絨毯

沖縄県石垣島で繰り広げられた光の饗宴： ヤエヤマボタルの発光行動は、たそがれ時から暗くなるまでのたったの約20分間である。約0.3秒に1回閃光を放つ。発光周期は

* 横須賀市自然・人文博物館　〒238-0016　神奈川県横須賀市深田台 95

同調しないままに以後、飛翔個体数は増加し林床一面に広がる。

目的によって光りかたを変える

幼虫型をしたイリオモテボタルの雌は雄を誘惑するときには尾端の大きな発光器から強い連続した光を放つが、交尾直後に発光を停止する。更に産卵後、体をドーナツ状に丸めて卵を抱えて外敵から保護するが、その際に、各体節に3個づつ配列されたスポット状の発光器から弱く光りつづける。このホタルは行動目的に合わせて、光りかたを適切に変えている。

赤い光を放つホタル

フェンゴデス科（Phendodae）の鉄道虫（*Phrixothrix*）の仲間であり、南アメリカを中心に大小多くの種が分布する。雄成虫は上翅が短く、尾端が後方に長く延びる。雌成虫は幼虫型であり各体節に一対の発光器があり、黄色の連続した光を、また頭部から赤い光を放つ。

3．熱帯のホタルの木

パプア・ニューギニアの森で数千・数万集団同時明滅するホタル

1本の大きなホタルの木で暗くなるとチカチカと発光し始め、次第にその光の輪が広がり、木全体が発光する。時間経過とともにホタルの発光は見事に同調する。

なぜ特定の木に集まり光るのか

森内で羽化した成虫は、見通しのよい木へと飛んで行き発光する。その光に誘引されるように、次々と他個体が集合し始める。

なぜ一年中光りつづけるのか

命の営み：　「ホタルの木」を形成するホタルは東南アジア一帯に多くの種が知られているが、その生息地はいずれも熱帯に位置し、年間通して気温が高い。このために、これらのホタルはいつでも成長、羽化している。新成虫が仲間と出会うためには、常に集団を維持している。即ち、これらのホタルにとっては「ホタルの木」をなくすことは彼らの命の営みを停止することにつながるのである。

「ホタルの木」はどのように維持されているか

「ホタルの木」が維持されるためには、周辺に森や林とともに畑など開けた場所があり、自然と人間活動のバランスがとれた環境であること、そして周辺に幼虫の餌となる巻貝類などが無数に繁殖していること、そのためには土壌に適度な湿り気があり、安定した場所であること、さらにはよく目立つ位置にあることなどの条件を満たしていなければならない。

もし「ホタルの木」が切られたとしたら、ホタルは集まる場所を失い、個々に広いジャングルの中をさまよわねばならず、相手と出会う機会がほとんどなくなってしまい、子孫を残すことさえできなくなる。

4．ホタルの護身術

アキマドボタルなどのホタルは体の周縁から白色の異臭を放つ粘液を分泌する。この粘液は外敵が忌避する物質であるとともに、付着すると固着する性質を有しているので、アリなどの小型の外敵に対する防衛のための物質と想定できる。

一方、夜行性の外敵に対しては発光威嚇により防衛していると考えられる。

光って脅す

幼虫の発光にみられるように、元々は敵を脅すことである。その脅す目的は成虫になってからも持ち越している。

死んだ真似をする

幼虫は刺激を加えられると体を硬直させた状態で不動となる。これは擬死といわれ、いわゆる死んだ真似をして、外敵から身を守る行動である。

卵を守るホタル

イリオモテボタルの雌は産卵後、抱卵して保護し続ける。しかも、この雌の寿命は絶食状態でゲンジボタルよりも約10倍もの驚異的な寿命である。

5．おわりに

日本ではゲンジボタルやヘイケボタルは身近な水辺に生息することから人々に夏の風物詩のひとつとして特に親しまれてきた。こうしたホタルが生息する河川は水質良好で、安定した環境であり、人が住む上でも優れた環境といえる。

このようなホタルが生息する河川の水源は背後の森や林であり、これらは天然のダムとして機能している。河川の水量増減が穏やかな背景には保水力の高い森や林が残されており、ヒメボタルやオオマドボタルなど多様な陸生ホタルが生息する。即ち水生ホタルは水辺の番人、陸生ホタルは森や林の番人なのである。これらの番人がいなくなることは河川環境のバランスが崩壊し始めていることを意味する。さらに陸生ホタルの幼虫はカタツムリなどを餌とするので、これらが十分繁殖可能な生産性の高い森や林である必要がある。

熱帯の「ホタルの木」は陸生ホタルがおりなす象徴的な現象であり、熱帯の生態系が絶妙にバランスを保ち維持されている奇跡的な現象であることが、現地調査によって浮かびあがっている。

このホタルの減少に伴い、河川は泥水の流れに変貌し、水量増減が大きくなったという。即ち、天然のダムの機能を果たしていた熱帯林の破壊は河川環境を著しく悪化させた。ホタルは、姿を消すことにより、河川環境とその周辺環境の変貌を人間に伝えようとしているように私には思える。

日本のホタルが棲む背景としての河川は、大規模河川だけでなく、関東以東にみられるような小規模な水路、堰といった河川にも当てはまる。

かつて神奈川県横須賀市野比という地区は低い丘陵に挟まれた谷（谷戸）にひな壇型に耕作された水田が広がっていたが、現在ではわずかに残されているに過ぎない。

野比の河川幅は 50-100ｃｍ、水深 5-10ｃｍであり、源流から海岸までの流程は約 600ｍである。水源は背後の山林であり、わずかな水量であるが、年間通して枯れることはない。しかし、同様な水辺環境であるにも関わらず隣接していた水系の周辺部が開発され破壊されたことにより、沢水は完全に枯渇し、河川の流れは消失した。この原因は、丘陵全体を覆っていた緑の絨毯が裾野部分ではがされた結果、その部分から水が抜け落ちたことが一因と考えられる。野比地区の小規模水系はこうした微妙な環境構成のバランスの上に成り立

っていたのである。ホタルの消滅はこのバランスが崩れたことを伝えようとしたと思える。ホタルの生息を可能にするためには、森から海につながる河川全域を視野に入れ、見守ることが求められる。このことは人が永続的に生活する環境を取り戻すことにもつながるからである。

［四万十・流域圏学会誌　第6巻　第2号　7－10　2007］

〈解　説〉

高知県の森林の再生に向けて

斎　藤　由　貴*

1．はじめに

近年、巨大ハリケーンの発生、熱波や豪雨、干ばつなど地球温暖化が原因とされる環境の変化が世界各地で多発してきている。この傾向は日本でも同様であり、熱帯地方固有のクモ類であるセアカゴケグモの越冬が確認されるなど、身近なところで温暖化の影響が表れ始めている。地球温暖化の原因としては、人間の産業活動の副産物である二酸化炭素（CO_2）などの温室効果ガス（Green House Gas:GHS）があげられている。そこで、世界各国は、1997年の京都議定書を採択し、2008-2012年の5年間に、日本は1990年時点より6%、米国は7%、EUは8%それぞれ温室効果ガスを削減することが義務づけた。それを受け各国の政府は、排出権取引やエネルギー消費削減などの削減対策に取り組み、目標到達に向けての具体的取り組みを実施している。この中で、森林の二酸化炭素吸収については、地球温暖化防止のための国際枠組みである気候変動枠組み条約においても重要なものとして位置づけられており、この効果を発揮させるためにも森林の適切な育成・管理が必要である。

戦後、日本は、政策的に拡大造林を推進し、高知県においても広大な面積が人工林化された。しかし、木材価格の低迷で採算が合わず下草刈りや間伐などに係る費用が負担できないことや労働力の不足などにより林業所有者の意欲が低下し、手入れ不足や放置される森林が増え人工林の荒廃化が進んだ。その結果、CO_2シンクとしての森林の二酸化炭素吸収機能が低下しているだけでなく、森林の保水力が低下し、山崩れや渇水、濁水が各地で発生するようになり、多様な動植物の生息地として生命をはぐくむ力が低下し、生態系への影響などの深刻な問題も出てきている。

そこで、二酸化炭素吸収効果だけでなく貯水機能や山地災害の防止機能、洪水の緩和機能など森林が有する様々な公益的機能を取り戻し、維持させる取り組みが求められている。

私の所属する社団法人高知県森と緑の会は、「緑の募金」による森林整備及び緑化推進により、森林の保全活動や緑に親しんでもらうための普及啓発活動を行っている。ここでは、物部川流域での活動を中心に紹介しながら、県下各地で行われている河川を通しての森林の再生に向けた取り組みを報告する。

2．物部川に清流を取り戻すための署名活動

物部川流域では、平成16、17年の台風の襲来により、上流部の山林が多数崩壊した。このため、大雨の度に大量の土砂が河川へ流入し、濁水を発生させている。更に、中流域に設置されている3つのダムが大量の土砂を捕捉し、ダム放水時に徐々に土砂を下流へと放出するため、下流部では長期に渡って濁水状態が続くとともに、少しの降雨でもすぐに河川が濁り、その濁りが長引くという状況となっている。そして、冬は渇水期となるが、平成18年の降雨は例年より少なく、極度な渇水状態により泥が石や河床に付着するとともに、過去の洪水などにより大量の土砂が河口部に堆積しており深刻な河口閉塞をもたらしている。

物部川は、農業用水としても利用されており、濁水問題は農業にも悪影響を及ぼしている。平成18年10月に香南市で開かれた濁水問題報告会において、土佐香美農業協同組合代表理事専務は、物部川から取水している農業用水も濁っており、ニラ栽培農家はフィルターをつけて散水をしているが、すぐに目詰まりを起こすうえ、フィルターで除けなかった濁水の粒子がニラに付着する状態であると報告している。

このように、物部川はこの流域に住む人々の生活には欠かせない存在であり、濁水及び渇水がもたらす問題とは避けて通れない。濁水の問題は川の問題であるが、その根源は荒廃した森林にある。森林を保全することで、森林が本来もつ機能が発揮されるようになれば、物部川の清流も生き返ることが期待できる。当会は、このことを一人でも多くの人に伝え、森林と私達との関係に目を向けてもらうきっかけとして、「物部川に清流をとりもどすための署名」の活動を行っている。署名活動には、物部川流域の住民をはじめ、香美市及び香南市の教育委員会を通じて各小・中学校のPTAや大学にも呼びかけてきた。参加者の中には、「人の集まる機会があるから呼びかけては」と声をかけていただくこともあり、この署名活動は、物部川をどうにかして良くしたいという気持ちを持つ人たちにも、川を守るためには森を守らなくてはならないという森林環境保全への意識を高める取り組みになった。

3．「緑の募金」を活用した事業

「緑の募金」は、平成7年6月施行の「緑の募金による森林整備等の推進に関する法律」に基づき、水源のかん養、環境保全等の森林の公益的機能を保全するために必要となる各種森林整備に活用されている。高知県内で集められた「緑の募金」は、高知県内の森林の整備や緑化の推進する活動に役立てられている。毎年、公募により、森林整備や緑化事業を実施する県下の約40団体に交付金を交付している。事業内容は様々であり、活動場所も県下全域に及んでいるが、本論では物部川流域において活動している団体の取り組みを紹介する。

＊　社団法人高知県森と緑の会　〒782-0078　高知県香美市土佐山田町大平80　高知県森林総合センター内

(1)楠目小子どもエコクラブ

香美市立楠目小学校の子どもたちは、環境省の行っている全国こどもエコクラブ（JEC）に加入し、保護者や教職員がサポーターとなって組織している自主活動組織「楠目小子どもエコクラブ」として活動している。

物部川の水源地の一つである同市物部町さおりが原を探検し、森林が降った雨を土の中に貯えながら少しずつ川へと流れ出ることを学習したり、巨木と触れ合ったり、校庭にある樹木の特徴を学び樹木板を作ることで、森林や川を身近なものとして感じさせる活動を行っている。

物部川や流域の森林で行う体験活動を通して、物部川流域の環境を守り育てている人々の活動を知り、環境保全活動の大切さに学び、自然を守るために自分たちでできることを考え実践していこうという子どもたちを育てている。

(2)舟入川ウォーキングといかだ下り

この取り組みは、山田堰井筋土地改良区が主催となって、物部川を水源として香美市土佐山田町から高知市を流れる農業用水路である舟入川沿いのウォーキングといかだ下りを体験することにより、野中兼山の作った舟入川の歴史と農業用水の大切さを学び、山・川・海のつながりを見直そうとするものである。毎年、この取り組みは秋分の日に実施しているが、昨年は、物部川が濁っている状態であったため、濁水の中での開催となった。この活動には、小学生をはじめ、地域の住民が参加し、地元の大学生もスタッフとして協力するなど、地域の人たちのつながりも広がってきている。この取り組みにより、「毎年自然の大切さを教えられ、家、学校、いろんな面で一人一人、自分のために自分で緑を大切にしたい」、「物部川の濁水については何かできることがあればしてみたい」という感想を持った小学生や「水が農業にとっても、生活の潤いにもどれ程大切かを実感した」など、水や緑に関心が高まっている（写真-1 参照）。

(3)香美市体験林業教室

香美市が当会の支部事業として、同市の小学生及び中学生を対象に体験林業教室を毎年実施している。体験林業教室は、森林の学習をはじめ、間伐体験や木工品製作などを通じて森林の機能・役割及び森林と林業との関わりに関心を持たせるとともに郷土への愛着を深めさせ、地域林業の振興を図ることを目的としている。この教室を通して子どもたちに、森林は手入れしなくてもある程度育つが、木材を生産したり、国土を保全したりするためには、森林をつくり、育てる努力が必要であること、林業が自分たちの暮らしを支える産業であることを伝えている。

(4)高知子ども森林インストラクター養成講座

高知子ども森林インストラクター養成講座運営委員会は、小学生を対象として、森林に対する理解を深め、森林を守り育てる意識を高めることや子どもたちが学校や地域の森林学習において中核となるリーダーに養成することを目的として、高知県森林総合センターの情報交流館及び里山林で「高知子ども森林インストラクター養成講座」を開催している。講座は、県内の森林インストラクターや森林ボランティアが講師となり、里山観察や森のめぐみについての学習、森林組合などからも協力を得て林業見学などを含め年 12 回の講座を実施している。

平成 19 年 3 月には第 5 期生となる子どもたちが講座を修了。これまでに 40 人もの子どもたちが「子ども森林インストラクター」の認定を受け、各地域や学校で「緑のリーダー」として活躍をしている（写真-2 参照）。

4．物部川 21 世紀森と水の会の取り組み

「物部川 21 世紀の森と水の会」は、物部川流域の豊かな森と水づくりを目的として物部川流域の森林の間伐や植樹、散策などの地域交流事業を行っている。林業や農業・利水関係・漁業・主婦・研究者など様々な立場の人々や団体が参加し、平成 13 年に設立された。

「物部川 21 世紀の森と水の会」は、水源林である香美市物部町ヒカリ石国有林の間伐作業や同市香北町民有林での植樹、また子どもたちを対象に環境学習や物部川の水が流れ込む香南市夜須町の浜でサンゴの観察会を行うなど、森・川・海を考える活動を展開している。

最近では、学校での森林環境教育の場でも「森・川・海



写真-1　いかだ下り（舟入川）



写真-2　林業見学の様子（高知子ども森林インストラクター）



写真-3　植樹作業（香美市香北町民有林）

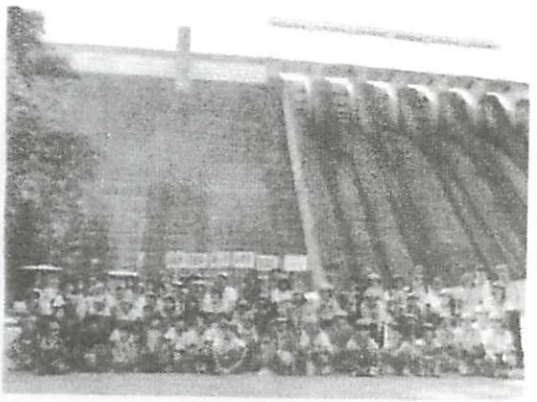


写真-4　緑の少年団交流会（早明浦ダム）

のつながり」について学びたいという声も多く、共に流域で森づくりに取り組む関係団体との協力体制のもと、実際に森づくりを行う現場での学習や体験活動など充実した内容で森林環境教育を実施している（写真-3 参照）。

さらに物部川の濁水問題についても、濁水問題に関する報告会や物部川の写真を撮り続けている水辺のジャーナリスト高野弘さんのフォトコンサートの開催、物部川の現状や活動内容を随時ブログにて情報発信するなど、物部川の再生に向け活発な取り組みを進めている。そして、高知の恵まれた気候風土の中で、本来持つ豊かな自然を取り戻し、林業及び農業、漁業を活気づけるために、人と人とが交流・連携を深めながら、流域が一体となって環境保全活動に取り組む必要性を強く呼びかけている。

5．緑化活動を通した上下流域の交流

当会では、県下各地で川の上下流の住民間交流を踏まえた緑化活動に取り組んでいる。今回は、平成 18 年度に実施した活動を紹介する。

(1) 吉野川流域緑の少年団交流会

平成 18 年 8 月、吉野川の下流の徳島県と上流の高知県の緑の少年団の交流会を、吉野川支流の汗見川沿いにある白髪山ふれあいの村休養センターにて実施した。徳島県からは吉野川流域の 8 団体合計 36 名、高知県からは吉野川の源流である嶺北地域の大豊町、本山町、土佐町、いの町から合計 25 名の団員が参加した。まず、両県を交えて 6 班に分け、ふれあいの森にて 100 本の苗木を植樹した。植樹地の事前の地拵え等の作業と当日の植樹指導は本山町役場と汗見川実行委員会の協力を得た。その後、早明浦ダムを見学し、ダムを管理する独立行政法人水資源機構の職員から早明浦ダムの役割などに関する説明を受け、森の役割と水の大切さを学びながら吉野川上下流の交流活動を行った（写真-4 参照）。

(2) 鏡ダム湖畔の桜を復活させるボランティア活動

平成 18 年 10 月から 11 月にかけて高知市を流れる鏡川流域でも上下流の人々が一体となって、鏡ダム湖畔の桜を復活させるボランティア活動が行われた。これは高知桜ライオンズクラブの呼びかけで、日本樹木医会高知県支部、高知県緑サポーター会、高知緑と水の会、地元の鏡ツーリズム研究会、当会等総勢 53 名が協力して行われた。まず土佐鏡湖公園の桜のテングス病の治療と公園の整備を実施し、後日、続いて地元の鏡中学校（上流）と旭中学校（下流）の生徒と先生の 73 名を加えた総勢 120 名によりサクラ 100 本とツツジを公園の周囲と沿道に植え付けた。作業への参加は生徒にとっても環境学習のよい機会になったことと思う。

6．森林ボランティアリーダーの養成

学校や地域での緑化活動や森林整備の活動に携わるボランティアも増えてきている中、森林の保全やその機能の維持、森林の文化が学べる機会を通して、各種ニーズに対して応えられるインストラクターを養成してきた。しかし、ボランティアリーダーとして地域で積極的に取り組む人やボランティア団体のリーダーとして活躍する人は限られてくる。そこで、すでにボランティア活動をしている方を対象に、ボランティアリーダーとして知識を深め、人に
教える技術やノウハウを身につけてもらうためにボランティアリーダーのステップアップ講座を開催している。

2006 年 6 月には、高知県立森林研修センターにて「空」、「川」、「海」、そして「農業」と「地域づくり」をテーマに各分野で活躍されている方を講師に招き、講座を開いた。今まで森林ボランティアを育成するには「森林」に関する講座や実習を行うものが中心であったが、リーダーとして様々な分野の知識も深めるとともに広い視野で物事を考える力を養い、地域で活動を行うことで地域おこしにつながればというねらいがある。続いて、10 月には安芸市畑山にて地元でボランティア活動を行っている方を中心にステップアップ講座を開催した。

二つの講座を終えて、受講生は別々の分野で活動していても共感できることが多くあり、実践する上での過程が大事であること、自ら行うボランティア活動への後押しになるという感想を持っていた。

「森」にだけ目を向けるのではなく、そこには川と海、そして農業にも大きく関わってくるということ、すべてはつながっているということを伝え、自然を守るためには、みながかかわっていくことが重要であるという意識を持ったボランティアリーダーとして活躍する人が増えてほしいと願っている。

5．おわりに

一般に、流域と河川は一体で相互に関連しており、豊かな森づくりを行うことが川や海に恵みをもたらせることになると同時に、川や海が豊かになると農業や漁業も潤い、私たちの生活にも良い影響を及ぼす。しかし、我々人類は産業革命以降豊かさを享受する代償として、流域を構成している 1 パーツであることを忘れ、流域内を無秩序に開発し人為的に改変してきた。その結果、人類と自然を含む流域のバランスは崩れ、土砂災害や洪水など様々な問題が顕在化してきており、今一度人類と自然との関係を見直す必要に迫られている。現在、高知県森と緑の会が行わなければならないことは、次世代に高知の美しい自然を伝えていくために、現在荒廃しつつある森林の再生に取り組むことである。具体的な方法として、当会が中心となって産・官・学・民が連携して間伐、木材の利用促進、環境広報活動などの取り組みを行えるように相互を繋ぐ役目を担うこと。また、「緑の募金」を扱う団体として、募金を通して森林環境に対する関心を高め、ひとりでも多くの人に森林の整備や緑化の推進の重要性について認識を深める普及啓発活動に取り組みこと。更に、「緑の募

金」を通して集めたお金で、森林と親しむ機会をつくり、森林の整備や緑化が推進される事業やイベントを企画・実施していくとともに、これらの活動を持続させるための支援を行うことであると考えている。

（原稿受付　2007年04月10日）
（原稿受理　2007年04月20日）

参考・引用文献

1) 林野庁、2006、“平成18年版森林・林業白書”
2) 香美市立楠目小学校楠目小子どもエコクラブ、2006、“緑の募金公募事業実績報告書”
3) 舟入川ウォーキング実行委員会、2006、“緑の募金公募事業実績報告書”
4) 社団法人高知県森と緑の会香美市支部、2006、“高知県森と緑の会地区・支部実施事業実績報告書”
5) 高知子ども森林インストラクター養成講座運営委員会、2006、“緑の募金公募事業実績報告書”
6) 物部川21世紀森と水の会、http://21morimizu.seesaa.net/

［四万十・流域圏学会誌　第６巻　第２号　11－17　2007］

〈論　文〉

中華人民共和国・台湾の水環境問題における四万十川方式水処理技術の有用性

三宮秀治*　大杉憲正*　江鷹*　高尾圭一*
牛世全**　石川祐一**　松本聰**

Usefulness of Shimantogawa System for Wastewater Treatment on the Water Environment Problems in the People's Republic of China and Taiwan

Shuji SANNOMIYA*, Kenshin OOSUGI*, Ying JIANG*,Keiichi TAKAO*
Shiquan NIU**, Yuichi ISHIKAWA**, and Satoshi MATSUMOTO**

*Toyo Denka Kogyo CO., LTD. 2-2-25 Hagi-machi Kochi-City 780-8525 Japan
** Akita Prefectural University 241-438 Shimoshinjo Nakano Kaidobata-Nishi, Akita-City 010-0195 Japan

Abstract

Shimantogawa System (alias Natural Circulation System), which was developed for wastewater treatment by consortia of Kochi Prefecture, Cities and Towns in the watershed, private companies in Kochi Prefecture, and the University of Tokyo, has unique characteristics. Natural materials such as woody charcoal, unused timber, and rocks are used as infilling materials in the system, and the system is easy to be maintained and controlled. Four case studies were shown which were carried out for the river water treatment in Shenzhen, for the tertiary treatment of domestic wastewater in Wuhan, for the tertiary treatment of industrial wastewater in Jinan in China, and for domestic wastewater treatment in Chungli, Taiwan in order to examine usefulness of the systems on the water environment problems outside Japan. The results were as follows; 1) Suspended solid (SS), biological oxygen demand (BOD), and ammonium nitrogen (NH_4-N) concentration were attained to Chinese environmental quality standard in case of river water treatment and the tertiary treatment of domestic wastewater. 2) Water quality items, i.e. SS and BOD except NH_4-N in the Taiwan trial were attained the environmental standard. The reason why NH_4-N was worse than the standard is that low pH caused from a high load of NH_4-N suppresses nitrifying reaction. It is suggested that infilling amount of limestone should be increased as one of improvements instead the tank's volume is increased. 3) A certain effect on the tertiary treatment of industrial water was confirmed, however the combination with another treatment system should be considered because the present system alone is not fully capable to treat such kind of wastewater. 4) The infilling material was available in the local area except a kind of material, therefore it must be easy to transfer Shimantogawa System to other areas in China and Taiwan and the system there is expected to show same performance as in Japan.

Key words : Shimantogawa System, Wastewater Treatment, Natural Circulation System, China, Taiwan

1．はじめに

四万十川中流域に位置する四万十町西部（旧名；十和村）は、川沿いに細長く集落が点在し、生活雑排水をはじめとする汚水が直接河川に流れ込む地形となっている。旧十和村では、この排水を元のきれいな水に戻して四万十川に返すことが流域に住む者の責務であるとの考えから、水処理に対する独特な取り組みを行ってきた。

さまざまな試みを行うなかで、木炭や枯れ木などの身近な資材を利用した「自然循環方式」水処理技術が開発され、いくつかの試験装置による試行を重ねた。これらの活動から、平成５年４月に東京大学、高知県内企業、高知県及び流域町村が「高知県自然循環方式水処理技術研究会」を組織し、この新しい水処理技術の改善と確立を目的として、四万十川方式水処理施設の調査を中心に３年間にわたり活動を行った。その後、四万十川方式水処理技術の応用研究を主目的として、応用部門の関係機関等を新たなメンバーに加えた「四万十川方式水処理技術研究会」が

*　東洋電化工業株式会社・環境事業本部・環境部　〒780-8525　高知市萩町２丁目２番25号
**　公立大学法人・秋田県立大学・生物資源科学部・生物環境科学科　〒010-0195　秋田市下新城中野字街道端西241-438

組織化され、平成12年3月まで研究会活動が行われた。研究会活動が評価され、活動中から現在に至るまで、日本各地で四万十川方式水処理技術が採用され、有効な水環境対策技術として活用されている。

研究会活動が終了して以降も四万十川方式水処理技術の調査研究は継続され、現在では、日本各地で汚濁水路浄化、河川浄化、湖沼浄化、生活排水3次処理、畜産排水処理など多方面の水質浄化対策として活用されている。

一方、四万十川方式は、水質浄化能力が高いことはもとより、木炭・枯れ木・石などの自然の素材を多く使用し、機器が少なく、また維持管理が非常に容易であることを特徴とした水処理技術であることから、日本国外、特に人口増加や急激な経済発展により水環境問題が深刻化しているアジア諸国への適用可能であることが考えられた。このことから、中華人民共和国（以下、中国という）・タイ・ベトナム・中華民国（以下、台湾という）において四万十川方式水処理技術の調査研究を行ってきた。

本論文では、中国深圳市、武漢市でそれぞれ実用施設として稼働している河川浄化の事例と生活排水3次処理の事例に関する追跡調査結果と、中国済南市で行った工場排水の3次処理に関する浄化試験、また台湾で行った生活排水を対象とした浄化試験の4つの事例と両国の水質基準から、水質基準の達成の可能性等、両国の水環境問題における四万十川方式水処理技術の有用性について、検討を行う。

2．四万十川方式の概要

山や水田、川には自浄作用があり、その作用は生命　活動の連鎖的つながりによる生物化学的作用、土壌の吸着反応等の化学的作用、沈降・濾過等の物理的作用等が複雑に組み合わされた形で循環的・連鎖的に行われている。四万十川方式は、これら水田等における自浄作用を手本とし、本来自然が持っている物質循環の自然浄化機能を活かした排水処理施設であり、木炭・枯れ木・石などの自然の素材をろ材として多く使用し、水処理に関わる微生物の定着を促した排水処理施設である[1)]。

主な処理対象項目は、SS（浮遊物質量）・BOD（生物化学的酸素要求量）・T-N（全窒素量）・T-P（全燐量）であり、**Fig. 1** の5槽構造を基本構造としている。槽内の移流は、中間壁および自立壁の高さを順次低くさせることで上向流・下降流の自然流下が可能となっている[1)]。

まず汚濁水は、プラスティックや砂等の流入を防ぐため前処理として堰やスクリーンを設けて取り除く。その後自然流下やポンプアップにて第1槽に導水し、汚水を滞留させることで浮遊物の固液分離をおこなう。

その後、第2槽にて硝化脱窒の原理にて窒素除去、第3槽にて有機物の微生物分解、第4槽にてリンの除去を行い、最後に第5槽にて処理水の最終的な濾過と脱臭・脱色を行う。第3槽で行われる有機物の微生物分解は好気性の微生物によるもので、曝気を常時行っている。各槽には、それぞれの目的に合わせたろ材が充填されており、このろ材には、多くの自然素材が利用されている[1)]。

また、処理対象項目をSS･BODに絞り込んだ場合は、**Fig. 1** のうち、窒素除去と燐除去に関わる槽が必要ないことから、**Fig. 2** に示すような3槽構造とすることが可能である。

装置の維持管理については、活性汚泥方式に見られるような汚泥濃度管理等はなく、施設内の生物相の目視点検による流路確保と、各槽底部に堆積する汚泥の引抜が主な作業であり、機器点検等も少なく、維持管理が容易であるといえる[1)]。

施工方法は、コンクリート製を基本としており、河床や河側面等に設置したり、土地の有効利用のため、上部を歩道や駐車場等に利用するケースなどがある。施工例として河床に施工した四万十町（旧窪川町）設置施設を **Fig. 3** に、上部を歩道にしている千葉県我孫子市設置施設を **Fig. 4** に示す[1)]。

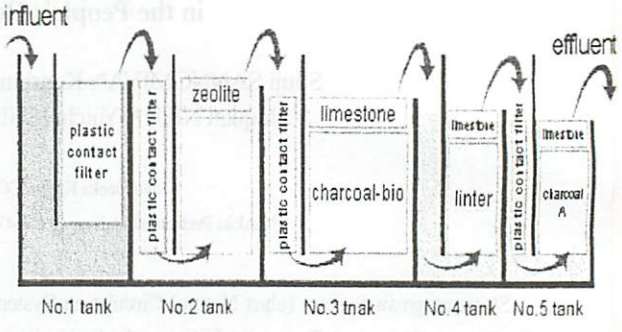


Fig. 1　Structure of Shimantogawa system for SS, BOD, T-N, and T-P treatment

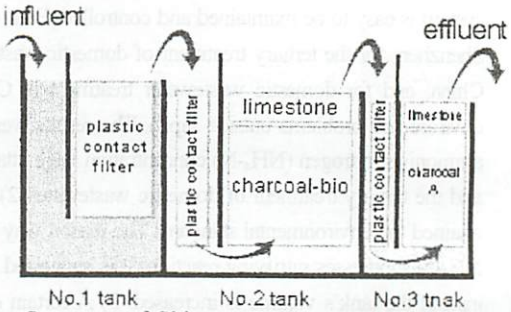


Fig. 2　Structure of Shimantogawa system for SS and BOD treatment

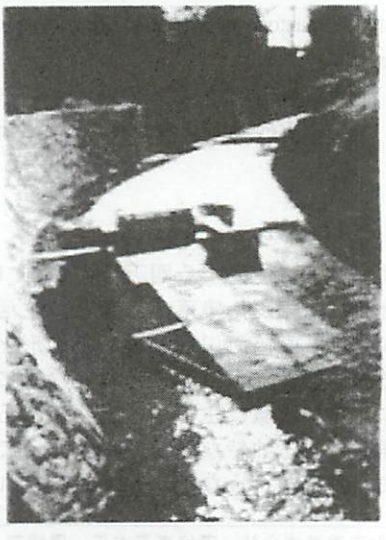


Fig. 3　Outer aspect of Shimantogawa system installed in Shimanto-cho, Kochi

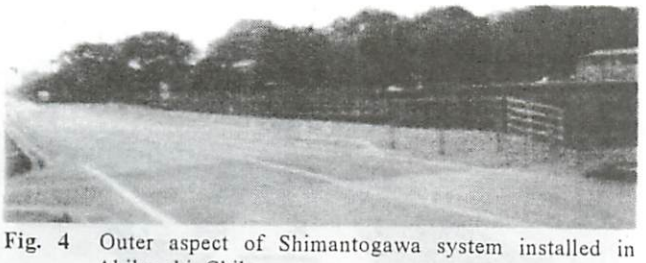


Fig. 4 Outer aspect of Shimantogawa system installed in Abiko-shi, Chiba

3. 河川浄化能力調査(中国深圳市実用施設)

3.1 中国における生活排水による環境汚染

近年、中国は、急速な経済発展により都市化が進み、都市下水の発生量が増加傾向にある。しかし都市下水処理場の建設が都市化の速度に追いつかない状況にあり、多量の未処理汚水が河川や湖沼に放流され、水環境に重大な汚染を引き起こす要因のひとつになっている。近年企業における水質汚濁防止政策が進み工業排水の処理率については向上しているが、都市下水の処理は大幅に遅れており、今後都市下水処理場の建設や処理レベルの向上が大きな課題となっている[2)]。

3.2 装置の概要

本施設は、広東省の副省級市である深圳市に設置されている。深圳市には 1980 年に経済特区が設置されており、中国の中でも著しい経済発展が進んでいる地域である。深圳市でも近年の急激な経済発展とともに、河川流域の汚染は深刻化しており、下水処理場が急速に整備されつつある。しかし、下水処理場は一般的に河口付近に整備することが多く、自己水量の少ない河川では、本来河川に流れる水が汚水となり、下水管を通って下流域の下水処理場まで送水されることから、河川が干上がるといった新たな問題も発生している。

そのような状況の中、河川の上流で発生する汚水を浄化し処理水を河川に流すことで、河川が干上がることを防ぎ河川敷を住民の憩いの場として利用することを目的として、本施設が 2004 年に設置された。

本施設は、河川の自己水量が大変少ないことから河床に設置されており、処理対象排水は自然流入によって施設に流入する。計画処理量は 4,000m^3/day、計画水理学的滞留時間は約 5 時間、計画流入水質は BOD75mg/l、SS100mg/l、NH_4-N20mg/l、計画流出水質は、BOD5mg/l、SS5mg/l、NH_4-N5mg/l である。計画処理量施設の基本構造は **Fig. 2** の構造であり、躯体はコンクリート製である(**Fig. 5**)。

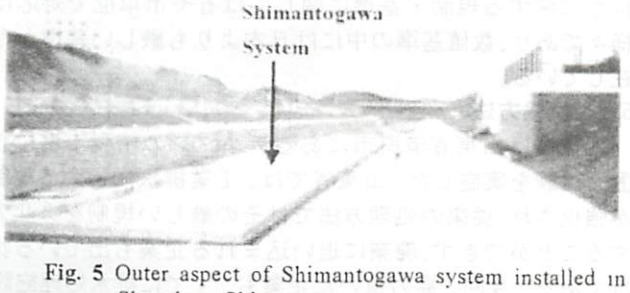


Fig. 5 Outer aspect of Shimantogawa system installed in Shenzhen, China

3.3 水質調査結果と評価

設置当初から約 4 ヶ月の間、本施設の水質調査を実施した結果を **Fig. 6**、**Fig. 7** に示す。調査期間中の処理量は、計画水量である 4,000m^3/day で連続して通水している。

BOD については流入水の BOD 平均濃度 50.6mg/l に対して処理水の BOD 平均濃度は 2.9mg/l であり、安定した処理が行われている。通水開始経過日数 71 日目のデータから計画流出水質を下回るようになった。現在までに設置されている国内の四万十川方式の事例では、通水開始を行う季節によって変動があるものの、おおむね約 1～2 ヶ月程度で計画水質に達しており、日本の事例と大きな差は見られなかった。

NH_4-N では、流入水の NH_4-N 平均濃度 14.0mg/l に対して処理水の NH_4-N 平均濃度(通水開始経過日数 71 日目以降)は 0.9mg/l であり、BOD と同様に安定した処理が行われている。通水開始直後の水質変化については、BOD と同様の変化が見られた。

中国の環境水質基準を **Table 1** に示す。水質調査結果である BOD の安定時の平均値 1.3mg/l は、**Table 1** の Ⅰ類に適合する。Ⅰ類は中国の環境基準の中でもっとも厳しい基準であり、主に水源地や国家級自然保護区に適用されている。NH_4-N の安定時の平均値である 0.9mg/l は、**Table 1** のⅢ類に適合する。Ⅲ類は水産養殖等の漁業水域や遊泳地域に適用されている。

本施設を設置した河川の下流域では、施設設置以前は悪臭で人が近寄ることがなかったが、現在では悪臭がなくなり、**Fig. 8** に見られるように、堰で処理水をせき止め、地域住民の憩いの場として活用されている。

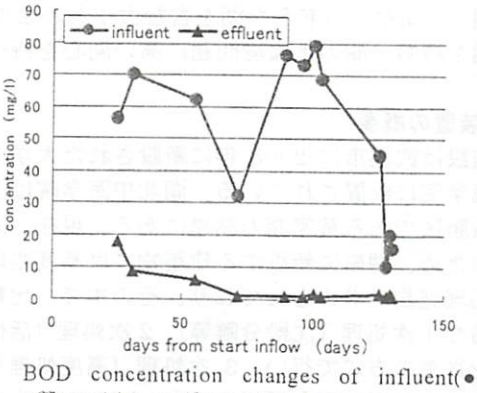


Fig. 6 BOD concentration changes of influent(●) and effluent(▲) to/from Shimantogawa system in Shenzhen

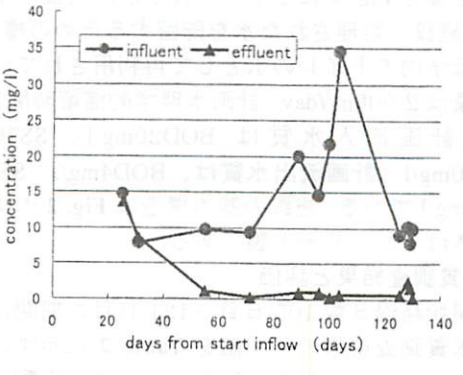


Fig. 7 NH_4-N concentration changes of influent (●) and effluent(▲) to/from Shimantogawa system in Shenzhen

Table 1 Environmental quality standard for surface water in China (summary)[3]

単位 mg/l

	Ⅰ類	Ⅱ類	Ⅲ類	Ⅳ類	Ⅴ類
BOD	3	3	4	6	10
CODcr	15	15	20	30	40
NH_4-N	0.15	0.5	1.0	1.5	2.0

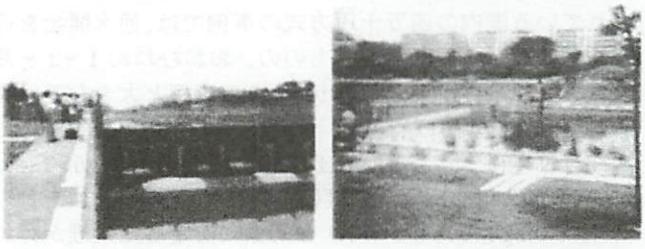


Fig. 8 Downstream aspect of Shimantogawa system installed in Shenzhen, China

4. 生活排水3次処理能力調査(中国武漢市実用施設)

4.1 中国における湖沼の水環境問題

中国は湖沼の多い国のひとつで、現在2万あまりの湖を持ち、内陸部では古くから湖が大切な水資源となっているが、近年の急激な経済発展により富栄養化が進み毎年多くの湖が消滅している[4]。長江中下流域の淡水湖の面積は、中国国内の全淡水湖総面積の約42%を占めている[5]。この長江中流域に位置する武漢市は、東の上海、西の重慶、南の広州、北の北京まで約1,000kmと経済地理的な中心で、経済特区が設置されている重要都市である一方、周辺に国家級の風景名勝区にある東湖や墨水湖、蓮花湖、月湖などの有名な湖を含む大小あわせて100以上の湖を持ち、湖の水環境問題に高い関心を持つ地域である。

4.2 装置の概要

本施設は武漢市に2005年に新設された大学である湖北中医学院に設置されている。湖北中医学院は国家級の風景名勝区である黄家湖の湖岸にある。現在、湖の水質保全のため、湖岸に新設する建築物には高度処理のできる水処理施設が求められており、その中で、比較的処理の容易な1次処理(沈殿分離等)、2次処理(活性汚泥法等)を従来の方式で行い、3次処理(高度処理)を四万十川方式水処理技術を採用するとして、1・2次処理の後段に本施設が2005年に設置された。

施設写真を**Fig. 9**に示す。写真手前に位置する処理水槽は、本施設で処理された水を貯留するための槽であり、ここでは学内のトイレの水として再利用されている。計画処理量は2,000m^3/day、計画水理学的滞留時間は約3.5時間、計画流入水質はBOD20mg/l、SS70mg/l、NH_4-N20mg/l、計画流出水質は、BOD4mg/l、SS10mg/l、NH_4-N5mg/lである。施設の基本構造は**Fig. 2**の構造であり、躯体はコンクリート製である。

4.3 水質調査結果と評価

通水開始経過日数105日目～121日目の期間に3回実施した水質調査結果の平均値を**Table 2**に示す。本施設の処理水は学内で再利用されるとともに、余剰水は湖に放流されることとなる。**Table 2**の結果は、中国の景観環境用水の水質指標である、**Table 3**の中でもっとも厳しい基準である鑑賞性景観環境用水の水質指標を下回っており、**Table 1**の環境基準では、BODとNH_4-NがⅡ類に、CODcrがⅣ類に適合している。

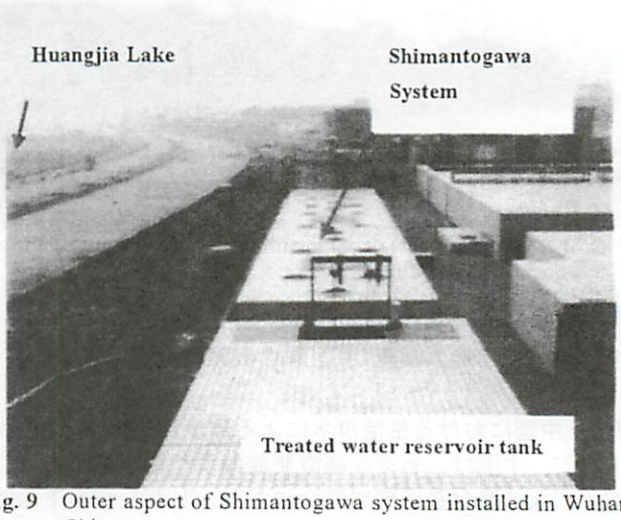


Fig. 9 Outer aspect of Shimantogawa system installed in Wuhan, China

Table 2 Water properties of original wastewater, influent and effluent to/from Shimantogawa system in Wuhan. Values were shown as averaged in three measurements.

単位 mg/l

	BOD	CODcr	SS	NH_4-N
origin	62.0	316.0	37	25.2
influent	15.7	47.2	—	2.4
effluent	3.0	28.0	5	0.4

Table 3 Environmental quality standard for landscape and recreation water in China (Summary)[6]

単位 mg/l

	鑑賞性景観環境用水			娯楽性景観環境用水		
	河川類	湖類	水景類	河川類	湖類	水景類
BOD	10	6	6	6	6	6
SS	20	10	10	—	—	—
NH_4-N	5	5	5	5	5	5

5. 工業排水3次処理の浄化試験(中国済南市)

5.1 中国における工場排水による水環境汚染

中国では急激な経済発展にともない、工業排水による環境汚染が問題となり、「水汚染防止法」などにより水質汚染防止、環境の保護を規定している。企業に対しても規定に基づき処理施設の設置、水質汚染防止に関する技術資料の提出を義務付けるなど管理・監督に努めている。工業排水に関する規制・基準に関しては省や市単位で対応は様々であり、数値基準の中には日本よりも厳しい基準も存在している。

5.2 試験方法

本装置は山東省済南市にあるデンプンの精製工場に設置し試験を実施した。山東省では、工業排水に対する規制が強化され、従来の処理方法ではその厳しい規制をクリアすることができず、廃業に追い込まれる企業も出ている状況である。今回、協力頂いた企業も、すでに排水処理施設を持っているものの、それだけでは新しい規制をクリアす

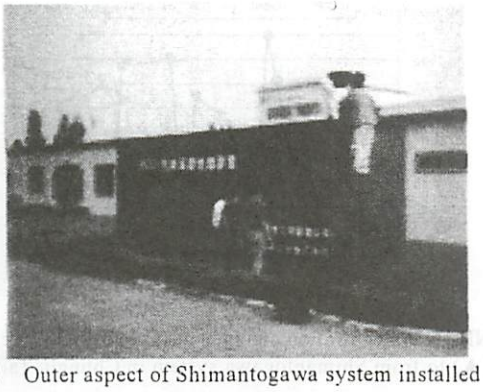


Fig. 10 Outer aspect of Shimantogawa system installed in Jinan, China

ることが難しく、高度処理技術を導入する必要性があった。

処理対象排水は、デンプンの精製工場で発生する排水の2次処理水である。この2次処理水をポンプアップにより連続的に本試験装置に流入させた。計画処理量は100m^3/day、計画水理学的滞留時間は約7時間であり、装置は試験終了後の撤去や移設を考慮し鉄板製で地上式で行った（**Fig. 10**）。施設の基本構造は**Fig. 2**の構造の第1槽の手前にプラスティック製接触ろ材の充填されている接触曝気槽を追加した構造である。

5.3 試験結果

設置当初から約6ヶ月の間、本施設の水質調査を実施した。試験結果を**Fig. 11**、**Fig. 12**に示す。調査期間中の処理量は、計画水量である100m^3/dayで通水させている。水温は20℃前後を推移しており、生物処理が十分行える水温であった。

NH_4-Nについては流入水のNH_4-N平均濃度61mg/lに対して処理水のNH_4-N平均濃度は13mg/lであった。深圳市の事例や武漢市での事例と比較すると処理水濃度が高い。これは2つの事例と比較すると流入水のNH_4-Nが2倍以上と高濃度であることが原因として挙げられる。

CODcrについては、流入水のCODcr平均濃度198mg/lに対して処理水のCODcr平均濃度は90mg/lであり、NH_4-Nと同様、処理水濃度が高い結果であった。これについても、武漢市での事例と比較すると流入水のCODcr濃度が高いことが原因と考えられる。しかしCODcrについては除去率では武漢市の事例を上回る結果であった。

Fig. 13に、通水開始経過日数16、29、71、84、142日目の流出水のCODcr、BOD、SS濃度を示す。CODcrとSSの変動には類似の傾向が見られた。このことから、SS除去に関わる最終槽の濾過槽の規模を検討することで、CODcr除去効果も向上させることができるものと考えられる、しかし、BODについてはCODcrとSSのような傾向は見られなかった。

中国の排水基準は日本と同様に水量、地域、業種などによって色々な基準値があるが、特に水源地に近い工場などでは、**Table 1**に示した環境基準がそのまま適用される場合もある。今回の結果は、**Table 1**の環境基準には及ばない結果であり、今後の研究課題となっている。

6. 台湾北部における生活排水浄化試験

6.1 台湾における水環境問題

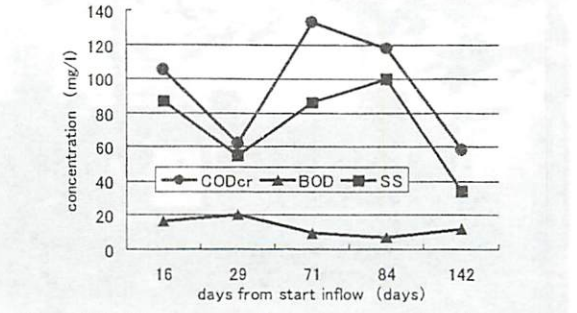


Fig. 11 NH_4-N concentration changes of influent (●) and effluent (▲) to/from Shimantogawa system in Jinan, China

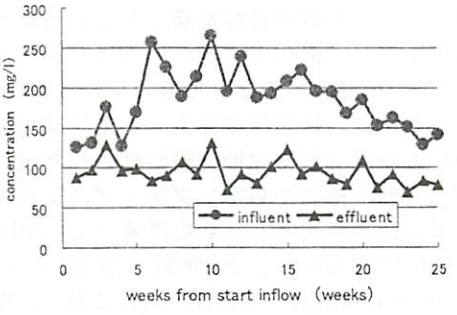


Fig. 12 CODcr concentration changes of influent (●) and effluent (▲) to/from Shimantogawa system in Jinan, China

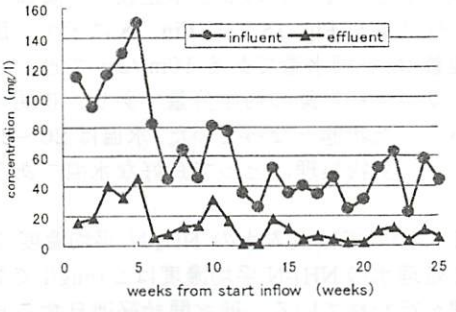


Fig. 13 CODcr (●), BOD (▲), and SS (■) concentration changes of effluent from Shimantogawa system in Jinan, China

台湾は、ほぼ中央部に北回帰線が通っており、北部が亜熱帯、南部が熱帯に属している。年間降雨量は年間約2,515mmと日本の約1.4倍であるが、一人あたりの水資源利用可能量は日本の2/3程度であるため、社会経済の発展に伴う水需要の増加に対応しきれなくなってきている。用水源は河川が48%、地下水が31%、ダムが21%となっている。

現在、台湾では1980年代からの急速な工業化と経済発展により年々汚濁負荷量が増加しており、特に西部の主要都市を流れる河川において水質汚濁問題が深刻化している。水質汚濁の原因は生活排水43%、工業排水36%、畜産排水21%となっており、そのうち生活排水の8割近くは未処理のまま公共用水域に放流されている[7]。

6.2 試験方法

本試験は、中堰市中園路にある財団法人農業工程研究中心の研究所敷地内で実施した。財団法人農業工程研究

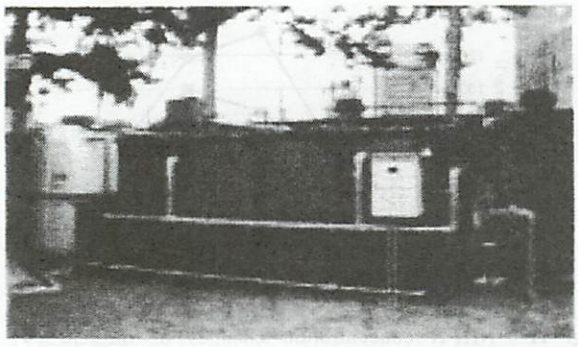


Fig. 14 Outer aspect of Shimantogawa system installed in Chungli, Taiwan

中心では、国からの研究委託業務として生活排水の処理水を灌漑用水として再利用するための研究を行っており、本試験は、その研究の一環として協力頂いたものである。

処理対象排水は、研究所で発生する生活排水の原水であり、既存の設備である沈殿分離処理された後、流量調整槽に流入させ、そこからポンプアップにより連続的に本試験装置に流入させた。計画処理量は $10m^3$/day、計画水理学的滞留時間は約 9 時間、計画流入水質は BOD50mg/l、SS260mg/l、NH_4-N10mg/l であり、施設の基本構造は **Fig. 2** の構造で、試験終了後の撤去を考慮し鉄板製で地上式である（**Fig. 14**）。

6.3 試験結果と評価

設置当初から約 1 ヶ月の間、本施設の水質調査を実施した。試験結果を **Fig. 15** から **Fig. 18** に示す。調査期間中の処理量は、計画水量である $10m^3$/day で通水させたが、汚水発生量が当初計画の約半分量であり、夜間の数時間は通水停止した状態となっていた。水温は 20～29℃を推移しており、生物処理にとって良好な水温であると言える。

NH_4-N については流入水の NH_4-N 平均濃度 18.6mg/l に対して処理水の NH_4-N 平均濃度は 2.0mg/l であり安定した処理が行われている。通水開始経過日数 7 日目のデータから処理水濃度が安定し始めており、深圳市の事例より短い期間で安定している。なお、通水開始経過日数 7 日目以降の処理水の NH_4-N 平均濃度は 0.9mg/l であり、高い浄化能力を有していることがわかる。BOD、SS については、NH_4-N 濃度が安定し始めたことを確認してから測定開始した。流入水の BOD 平均濃度 32.0mg/l に対して処理水の BOD 平均濃度は 2.2mg/、流入水の SS 平均濃度 27.7mg/l に対して処理水の SS 平均濃度は 2.1mg/l であり、NH_4-N と同様に安定した処理が行われている。

台湾の環境基準を **Table 4** に示す。今回の試験結果は、生活排水の原水を処理対象としているにも関わらず、BOD、SS については台湾の環境基準である丙類の基準に適合していた。一方 NH_4-N は、平均濃度で 2.0mg/l であり、丙類に適合していない。これは、他の深圳市、武漢市の施設と比較すると、流入水の NH_4-N 濃度が高いことに起因している。

流入水の NH_4-N の濃度が高い場合、NH_4-N が NO_x-N に変わる硝化反応の過程で pH 低下が見られ、これが硝化反応を抑制することが知られている[8]。そのため、四万十川方式では pH 低下を抑制する能力があるホスカッ

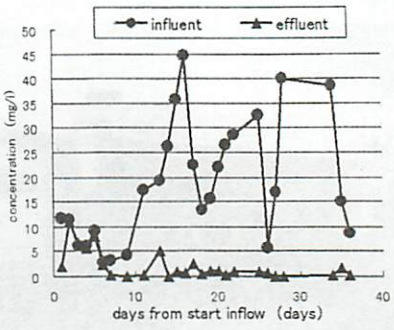


Fig.15 NH_4-N concentration changes of influent (●) and effluent (▲) to/from Shimantogawa system in Chungli, Taiwan

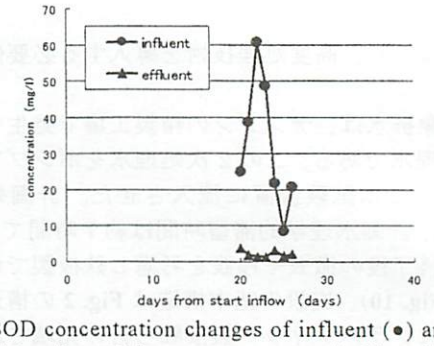


Fig. 16 BOD concentration changes of influent (●) and effluent (▲) to/from Shimantogawa system in Chungli, Taiwan

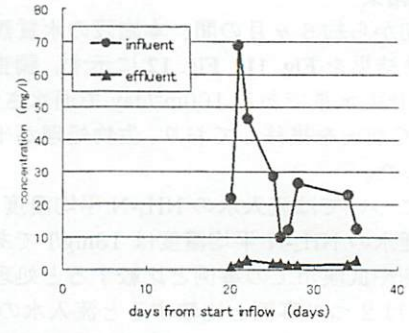


Fig. 17 SS concentration changes of influent (●) and effluent (▲) to/from Shimantogawa system in Chungli, Taiwan

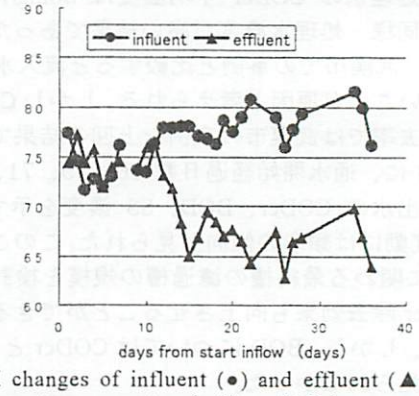


Fig. 18 pH changes of influent (●) and effluent (▲) to/from Shimantogawa system in Chungli, Taiwan

トと呼ばれる石灰石が **Fig. 1**、**Fig. 2** のように充填されている。しかし、試験の結果（**Fig. 18**）では、流出水で pH 低下が見られた。丙類の環境基準である 6.0 を下回ることはなかったものの、この pH 低下により硝化反応が抑制されものと考えられる。このことからホスカットの充填量を増やす改良によって、槽容積を増やすことなく、

Table 4 Environmental quality standard for surface water in Taiwan (summary)[9]

単位 mg/l

	甲	乙	丙	丁	戊
pH	6.5-8.5	6.0-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0
BOD	1	2	4	−	−
SS	25	25	40	100	※1
NH_4-N	0.1	0.3	0.3	−	−

※1 ごみ、油等の浮遊が認められないこと。

台湾の環境基準を達成することができるものと考えられる。

7．まとめ

全ての事例に共通していることとして、充填しているろ材は、チャコールバイオを除き全て現地調達している。中国、台湾においても、日本と同程度のろ材を入手することができ、日本の事例に近い水処理効果を発揮していることがわかった。

また、河川浄化や生活排水３次処理の場合は、SS、BOD、NH_4-N において、中国の環境基準を達成することが可能であり、水環境における諸問題の対策として有用性があると言える。台湾の試験では NH_4-N が環境基準を達成していなかった。pH 低下により硝化反応が抑制されたことが原因と考えられ、石灰石の充填量を多くすることで達成することが可能であると考えられる。

工業排水の３次処理については、排水の性状が業種によっても違うため、今回の試験だけで論じることはできないが、一定の効果を発揮することが確認できた。しかしながら、現状の四万十川方式だけでは不十分な部分もあり、他方式との併用等含め、今後の研究課題となっている。

また、本論文では、全窒素、全リンの除去について言及していないが、現在、中国でも窒素、リンの除去の必要性が重要視されるようになってきている。本論文に記載の実用施設や試験装置には、四万十川方式の持つ窒素、リンの除去の機能が組み込まれておらず、今後、窒素、リンの除去機能を組み込んだ施設についても海外での有用性を評価検討していきたいと考えている。

（原稿受付　2007 年 02 月 20 日）
（原稿受理　2007 年 05 月 16 日）

引用文献

1) 四万十川方式水処理技術研究会(2000)，四万十川方式（自然循環方式）最終報告書
2) 黄建元，金兆豊(2006)，「中国の都市上下水道・水環境」巡礼(5)－水処理技術 Vol.47 No.10，pp.471-473
日本経済新聞 2006 年 1 月 17 日
3) 中国国家環保総局(2002)，地表水環境質量標準 GB3838-2002
4) 人民日報社(2006)，「人民網日本語版」，2006 年 11 月 2 日記事，http://j.peopledaily.com.cn/
5) 独立行政法人国立環境研究所(2003)，環境儀 No.9，4p
6) 中国国家環保総局(2002)，汚水再生利用工程設計基準 GB50335-2002
7) 行政院環境保護署(2005)，「民国 94 年中華民国環境保護統計年報」
8) 財団法人日本環境整備教育センター(1997)，浄化槽の維持管理第１編，pp.22-23
9) 行政院環境保護署(1998)，「水汚染防治法地面水體分類及水質標準」

［四万十・流域圏学会誌　第6巻　第2号　19－23　2007］

〈論　文〉

高知県鏡川におけるアユの産卵場とその地形的特性

福留脩文*　藤田真二*　芳之内祐司*　矢野孝幸*

Spawning grounds of ayu, *Plecoglossus altivelis altivelis*, and a topographical feature of them in the Kagami River, Kochi Prefecture

Syubun FUKUDOME*, Shinji FUJITA*, Yuji YOSHINOUCHI* and Takayuki YANO*

* Nishinihon Institute of Technology, 9-30 Wakamatsu-cho, Kochi 780-0812, Japan

Abstract

The amphidromous form of ayu, *Plecoglossus altivelis altivelis*, spawns in the lower reaches of rivers in autumn. The spawning grounds of ayu were surveyed in the Kagami River, Kochi Prefecture, in November 2005. Total areas of 2470 m^2 of the spawning grounds of ayu were found in between 4.2 km and 6.5 km from river mouth of the Kagami River. Almost all spawning grounds were formed around the sandbars, especially along the eroded edges of them. As compared with the similar study in 1975, a total area of spawning grounds of ayu was reduced, and the lower end of spawning area was shifted to the upstream.

Key words: *Plecoglossus altivelis altivelis*, spawning grounds, Kagami River, sandbar, eroded landform

1．はじめに

海産アユと称される両側回遊型のアユ *Plecoglossus altivelis altivelis* は，秋季に河川下流域の産卵場でふ化した後，直ちに沿岸海域へ流下する。仔稚魚期を海域で過ごした翌春，河川へ遡上し，主に中・上流域で成長した後，成熟に伴って下流域の産卵場へ集合する。

産卵場の位置は河川によって大きく異なり，例えば高知県四万十川では河口から 9.7km より上流の瀬に[1]，関東平野を流れる利根川では河口から 300km 付近に形成されるとの報告例がある[2]。このような河川による差異は主に河川の勾配と関連している一方[3]，河床に礫が豊富な中流域から砂泥の割合が増える下流域へ移行する境界付近に形成される共通性が指摘されている[2]。

鏡川は流域面積約 170km^2，幹線流路延長約 31km の二級河川である[4]。その全流域が高知県の中心都市である高知市に含まれ，下流域は都市部を貫流し，土佐湾最大の内湾である浦戸湾に注ぐ。流程の中央付近には堤高 47m の鏡ダムが 1967 年に建造され，アユの生息域は分断されている。また，下流域の 4 箇所に取水堰があり，当市を支える水源として強度な利水が行われてきた。

鏡川では 1975 年にアユの産卵場に関する調査が行われ，河口から 3km 付近より上流 2km 程度の間に 4 箇所の産卵場が確認されている[5]。しかし，この調査以降，産卵場のみならずアユの生息状況に関する情報は乏しい。一方，農林統計資料によると，1980 年代には 50t 前後であったアユの漁獲量が近年では 10t 近くにまで激減した。この間，アユの放流量は 5 倍程度にまで増加している[6]。つまり，鏡川では天然のアユ資源が減少しているのは明白で，産卵場の荒廃や縮小もその一因と考えられる。

本報告では鏡川におけるアユの産卵場の位置，規模などの実態を明らかにするとともに，その問題点を抽出する。さらに，アユ産卵場の物理条件および河道地形との関連について検討し，今後の産卵場の保全，整備に資することを目的とした。

なお，本調査は高知市環境保全課による新鏡川清流保全基本計画策定に係る委託調査の一部として行われた。

2．方法

調査は鏡川でのアユの産卵状況を監視していた鏡川漁業協同組合からの聞き取りにより，当年の産卵盛期に近いと判断された 2005 年 11 月 27 日に実施した。なお，鏡川では 12 月 1 日に親魚保護のための禁漁が解除され，当日以降は産卵場に漁業者が頻繁に立ち入る。

調査地点は当該漁業協同組合への聞き取り，過去に確認された産卵場の位置および現状の河床形態（瀬の分布）を勘案し，河口から 6.5km までの間に設定した 5 地点とした（**Fig. 1**）。このうち，河口から 4.2km 上流に位置する St. 1 は，感潮域の上流端付近に相当し，塩分は認められないものの，潮汐によって水位と流速が周期的に変動する。また，

＊　株式会社西日本科学技術研究所　〒780-0812　高知県高知市若松町 9-30

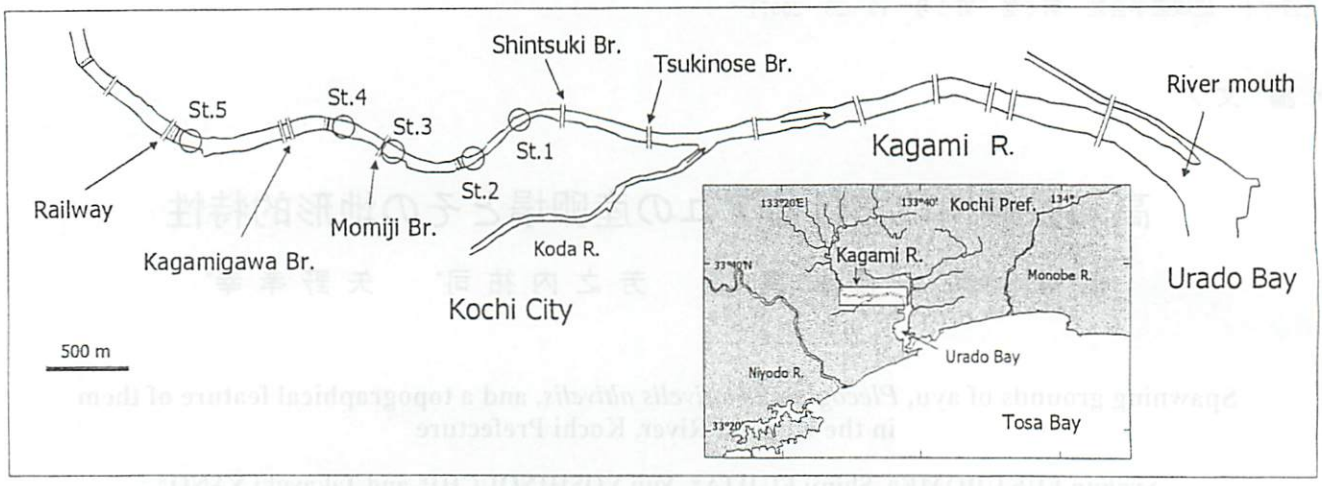


Fig. 1 A map showing the stations where surveying on spawning of ayu were carried out in the Kagami R.

St. 2 は床止直下流，St. 4，St. 5 はいずれも取水堰の直下流に位置する。

これら各地点における概ね 200m 程度の範囲を踏査し，目視によって河床に産卵されたアユ卵の有無を確認した。さらに，産着卵が確認された場合はその卵数の密度を定性的に「豊富，many」，「標準，common」，「希，a few」の 3 段階に分類し，その位置を平面図上に記録した。この際，河床から掬い取った砂礫のほぼ全体に産着卵が認められ，一見して数十単位の卵が確認できる状態を標準とし，それ以上と以下をそれぞれ豊富と希に分類した。また，各地点の産卵場面積を平面図記録から CAD により求めた。

さらに，St. 1 で確認された右岸側産卵場内と，St. 2 での右岸，左岸側の各産卵場内の計 3 箇所において（**Fig. 2**），水深，流速の測定と河床材料の採取を行った。採取した河床材料は JIS A 1204，JSF T 131 の方法に従い粒度分析を行った。また，この際，各箇所において潜水目視により産着卵が河床中に分布する深度を確認し，その河床表面からの鉛直距離（産卵深度とする）を計測した。

3．結果

3. 1 産卵場の位置と面積

調査を行った全ての地点で産卵場が確認された。各地点における産卵場の分布を **Fig. 2** に示した。また，これら産卵場の面積を **Table 1** に示した。

確認された産卵場の総面積は 2470m² であり，この約 85% の 2090m² が卵密度「希」に相当した。また，卵密度が「豊富」と判定された場所は St. 2 の中州周辺でのみ確認され，その合計面積は全体の 3%に当たる 80m² に止まった。

各地点の産卵場面積は 340～690m² の範囲にあり，最大は最も上流に位置する St. 5 であった。卵密度が相対的に豊富であった St. 2 の産卵場面積はこれに次ぐ 620m² であった。いずれの地点とも中州の周辺に産卵場が形成されていた点で共通性が認められた。また，St. 1 を除く 4 地点ではいずれも取水堰，床止，橋脚などの河道内に設置された人工構造物の下流に形成された砂州の周辺に産卵場が確認された。

3. 2 産卵場内の物理環境条件

産卵場内（St. 1 の右岸側，St. 2 の右岸，左岸側；**Fig. 2**）で測定した水深，流速の平均値（各 5 箇所での測定）を **Table 2** に示した。また，各箇所の産卵深度と河床材料の粒度組成（重量組成）を合わせて示した。

各産卵箇所の平均水深は 0. 21～0. 26m，平均流速は 0. 71～0. 81m/s の狭い範囲にあり，調査箇所間で大差は認められなかった。ただし，St. 1 は感潮域の上流端付近に位置するため，潮位の上昇によってこれより水深が増し，流速は低下する（一時的には逆流する）。

産卵深度は St. 1 と St. 2 の左岸側で，それぞれ 7cm，8cm

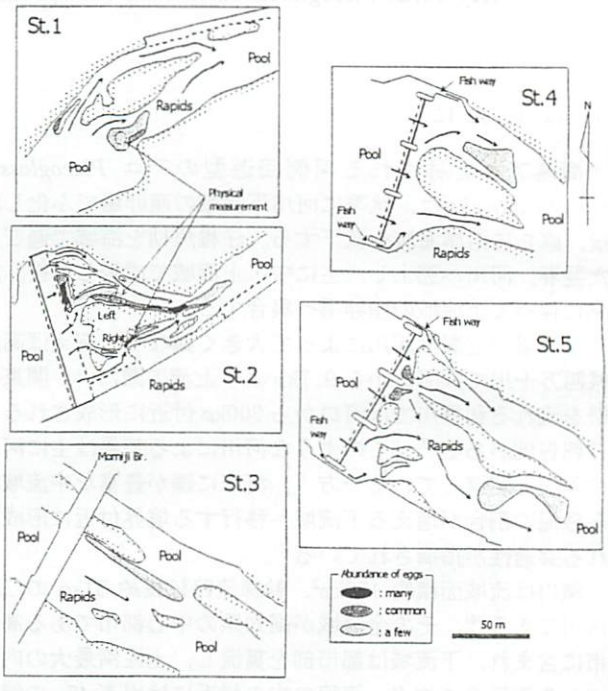


Fig. 2 Distribution of ayu eggs in each surveying stations in the Kagami R. in November 2005

Table 1 Area (m²) of spawning grounds of ayu at each stations in the Kagami R. in November 2005

Locality	Abundance of spawn eggs			Total
	Many	Common	A few	
St.1		50	340	390
St.2	80	160	380	620
St.3			340	340
St.4			430	430
St.5		90	600	690
Total	80	300	2090	2470

と近似していたのに比べ，St. 2 の右岸側では 12cm と深かった。なお，各測定箇所の卵密度は，St. 1（右岸側）が「希」，St. 2 の左岸側と右岸側がそれぞれ「標準」と「豊富」であり（**Fig. 2**），卵密度が高い箇所で産卵深度が大きい関係が認められた。

粒度組成をみると，いずれの産卵箇所とも中礫（4. 75～19. 0mm）と粗礫（19. 0～75. 0mm）の合計が全体の 8 割以上を占め，砂やシルトなどの細粒分（<0. 25mm）が少ない点で共通していた。地点間で比較すると，主体であった中礫と粗礫の構成比に相違があり，St. 1 では他 2 箇所に比べ粗礫が少なく，中礫の割合が大きかった。

4．考察

4. 1　産卵場の位置

鏡川における 1975 年の調査では河口から 3. 4km 付近の月の瀬橋下流と河口から 4km 上流に位置する新月橋の上，下流および St. 3 付近の計 4 箇所でアユの産卵場が確認されており，その合計面積は約 10000m² であった [5]。

また，高知市による 1985 年の調査では新月橋の上，下流と河口から 5. 5km 上流の St. 4 において産卵場が確認されており [7]，1975 年に確認されていた河口から 3. 4km 付近の産卵場はこの時点で消失していた。

さらに，2005 年の今回の調査では河口から 4. 2km に位置する St. 1 より下流では産卵場が確認できなかった。一方，今回の調査によって確認された産卵場の総面積は約 2500m² であり（**Table 1**），これは 1975 年時の 1/4 程度に過ぎない。このような長期的な産卵場の変化を勘案すると，鏡川におけるアユの産卵場は下流側から縮小しつつある可能性が高い。

鏡川でのアユの年間漁獲量は 1985 年以前には 50t を超える年が散見されていたのに対し，近年では 10t 近くにまで減少している。このような漁獲量の減少傾向も鏡川における産卵場面積が縮小しつつある状況を裏書していよう。

鏡川における下流側産卵場の消失の直接的な原因は，塩水の遡上範囲が拡大し，かつて産卵場となっていた瀬が産卵に不適な汽水域へと変化したためと考えられる。事実，1975 年の水質調査では，産卵場が形成されていた河口から 3. 4km 地点では塩分が確認されていなかったのに対し [5]，2002～2004 年にはほぼ同地点で干潮時においても 15psu 以上の塩水の遡上が確認されている [8]。さらに，1988 年の水質調査でもここよりやや上流の河口から 4. 0km 地点において僅かながら塩分（0. 1psu）が観測されており [4]，St. 1 より下流では 1988 年までに産卵場がすでに消失していた可能性が高い。このような汽水域の拡大は下流域の河床が低下しつつある様子を想像させるものの，塩水の遡上範囲や河床低下の程度に関する実測データが乏しく，その実態には不明な点が多い。

鏡川の下流域には St. 2 の直上流に設置された床止に始まり，そこから上流におよそ 1km 間隔で 4 基の取水堰が連続している。これら各堰の湛水域はアユの産卵場とはなり得ないため，鏡川はアユの産卵場が上流側へ拡大できる余地が極めて乏しい状態にあるといえよう。下流部での河床変動の程度によっては，今回確認された St. 1 の産卵場は早期に消失する可能性が高い。事実，鏡川漁業協同組合によると，2006 年では St. 1 での産卵が確認されず，下流側からの産卵場の消失が加速している可能性も示唆される。現在，産着卵量が最も豊富な St. 2 の産卵場が劣化した場合，これに代わる好適な産卵場は上流側には存在しない。

4. 2　産卵場の流況と河床材料

各産卵箇所の水深と流速は狭い範囲にあり，調査箇所間で大差は認められなかった（**Table 2**）。これは一定の条件下にある立地で産卵が行われている様子を示唆している。岡村・為家によると [9]，四万十川でのアユ産卵場の水深は 0. 1～1. 3m の範囲にあり，多くは 0. 2～0. 4m 程度であった。また，流速は 0. 5～1. 5m/s の範囲であった。今回の観測値は全てこの範囲に含まれ，水深と流速に特異性は認められない。

各産卵箇所の河床材料は，いずれも中礫と粗礫が主体であった（**Table 2**）。石田 [3] や岡村・為家 [9] はアユの産卵場の必要不可欠な条件として，礫間に砂泥分の沈積が少ない浮き石状態である点を指摘している。当産卵場も礫分が主体の浮き石状態にあり，産卵場の一定条件は具えていたと判断できる。さらに，アユの産卵に適した砂利の粒径は 5～15mm とされており [10, 11]，中礫（4. 75～19. 0mm）がこれに相当する。したがって，中礫分の割合が最大であった St. 1 がアユの産卵に好適であったと判定される。しかし，当地点の産着卵数は測定箇所中最も劣っており，卵量と河床材料の粒径との間には明瞭な関係は認め難い。おそらく，St. 1 では潮汐に伴う水深，流速の頻繁な変動が産卵を制限している要因であろう。

各箇所の産卵深度は 7～12cm の範囲にあった（**Table 2**）。四万十川での産卵深度が 20cm 以深に及ぶのに比べ [9]，鏡川のそれは浅い。この傾向は 1975 年の調査によって既に指摘されており，当時の鏡川における産卵場の産卵深度も概ね 10cm 以浅であった [5]。この要因は，鏡川の産卵場での砂泥分の多さ，中でも卵の河床中へ流入を妨げる粒径 2mm 以下の多さであると報告されている [5]。事実，当時の比較では四万十川や新荘川の産卵場での粒径 2mm 以下の砂泥が占める割合（体積）は 1%未満であるのに対し，鏡川では 11～13%に達していた。今回の調査による粒径 2mm 以下の重量割合は 5. 3（St. 2 左岸）～7. 6%（St. 1）にあり，産卵深度と

Table 2　Physical measurement records of three spawning grounds of ayu in the Kagami River in November 2005

Surveying stations	St.1	St.2	
		Left	Right
Water temperature (°C)	13.5	13.6	13.6
Average depth (m)	0.22	0.21	0.26
Average of velocity (m/s)	0.81	0.71	0.80
Thickness of sediments adhered eggs (cm)	7	8	12
Grain size composition of dry weight (%)			
19.00 - 75.00mm	36.8	67.2	55.0
4.75 - 19.00 mm	46.4	21.6	32.4
2.00 - 4.75 mm	9.2	5.9	5.1
0.85 - 2.00 mm	5.5	3.5	1.9
0.25 - 0.85 mm	2.0	1.7	5.3
0.075 - 0.25 mm	0.0	0.1	0.2
<0.075 mm	0.1	0.0	0.1

同じく 1975 年以降大きな変化は認め難い。

4.3 産卵場の地形的特性

各産卵場の河道内での分布を概観すると，各地点とも砂州の周辺に形成されている点で共通性が認められる（**Fig. 2**）。石田は [3]，アユの産卵場は上流から下流にかけての地形的な連続が河川の合流，湾曲，河中構造物などによって乱されている場所に形成されることを指摘した。また，そのような場所には砂州が形成されるので，結果として砂州の周辺に産卵場が多く分布すると推察している。鏡川での産卵場の配置もこの指摘と一致する。中でも，鏡川では産卵場の多くが河道内にある堰等の人工構造物との関連で形成されている点が特徴的である。堰は湛水により産卵場の形成を制限している反面，その下流側の流れを乱し，産卵可能な立地の創出に関与しているといえる。ただし，堰等による流れの乱れが地形に反映されない限り産卵場は形成されない。つまり，砂州を形成する土砂の供給が不可欠となる。

産卵場と砂州との関係をより詳細に観察すると，産着卵が豊富であった場所は，砂州の周囲の中でも **Fig. 3** に示すような浸食地形に沿って形成される特徴が確認できる。砂州周囲に見られる浸食地形のうち（**Fig. 4**），土砂の移動方向の後方領域（**Fig. 4**; A）では勾配が相対的に小さく，河床の粒径が大きいのが一般的で，ここではアーマーコート化が進行し易い。これに対し，その反対側の縁辺には粒径が細かく，急勾配の浸食地形（**Fig. 4**; B）が形成され，鏡川ではここに沿った瀬での卵量が豊富であった。このような砂州形状は河川の縦断方向のみならず，横断方向にも観察できる。その中で，土砂の進行方向側縁辺と瀬が接した範囲に良好な産卵場が形成されるといえる。

このような地形的特性は，土砂が砂州から産卵場となる瀬へ継続的に供給されている現象を表している。さらにこの現象から，アユ産卵場の第一条件とされる浮き石状態が土砂の浸食，運搬，堆積の動的な平衡によって維持されており，土砂動態が相対的に活発な場所に良好な産卵場が形成されるとの推論ができよう。土砂の動きは巨視的にも，微視的にもアユの産卵と深く関連する。

5．おわりに

鏡川におけるアユの産卵の現状は良好とは言い難く，過去との対比からも改善されつつある状況は見出せない。その中で，最も懸念されるべきは下流側からの産卵場の消失・縮小であろう。この原因には河床低下が考えられるものの，その実態については不明な点が多い。河床低下は戦後日本における人為的な河相変化を代表する現象であり [12]，四万十川においても河床低下によって下流側の産卵場が消失したとの指摘がある [1]。鏡川も例外ではなかろう。鏡川では下流域の堰群により産卵場の上流への移動が制限されている。加えて，St. 5 等の堰の湛水域上流でふ化した仔魚は海域までの到達に長時間を要するため，生残率が低い可能性も想像される。この点については今後の精査が必要であろう。このように，鏡川での河床低下による河川感潮域の拡大がアユの再生産に及ぼす影響は他の河川に比べ深刻といえる。さらに，河床低下の主因は上流からの土砂供給量の減少であり，これはアユの産卵にとって重要な砂州の維持にも大いに関与する。現存する上流側の各産卵場も持続的とは断言し難い。

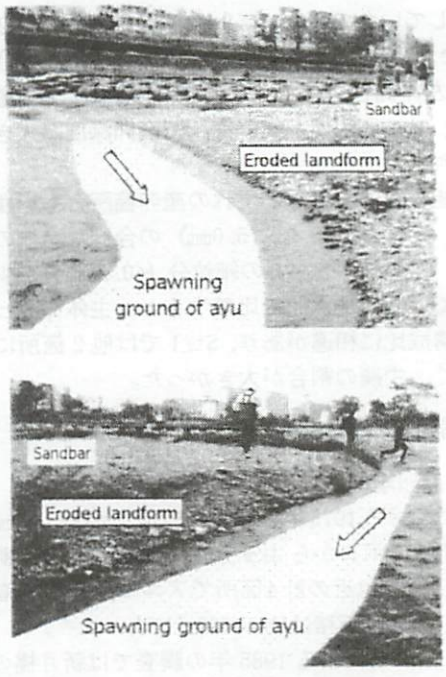


Fig. 3 Photographs of spawning grounds of ayu around sandbars at St.2 in the Kagami R. in November 2005.

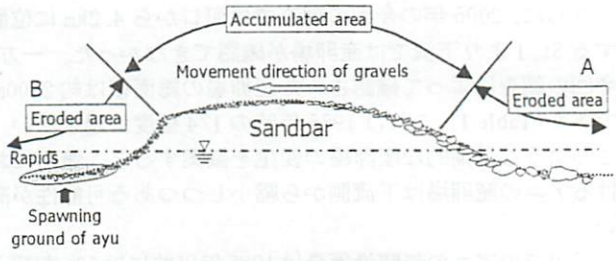


Fig. 4 Conceptional figure of relationship between configuration of sandbar and spawning ground of ayu. The spawning grounds of ayu were often formed along the eroded area (B). In this area, the incline was steep and grain size was small as compared with the eroded area (A).

鏡川におけるアユの再生産上最も重要な課題は，下流側の産卵場を維持，拡大する事にある。一方で，下流域の河床変動等については不明な点が多く，今後はこれら実態を把握した上で，産卵場造成等を含めた具体的な対策の検討が望まれる。

謝　辞

本調査の遂行に際し，様々なご協力と便宜を賜った鏡川漁業協同組合の山村寛組合長ならびに組合員の方々に厚くお礼申し上げる。また，調査に際し，貴重な助言を頂いた高知県水産試験場技術次長の松浦秀俊氏に深謝する。高知市鏡川清流保全担当副参事の佐竹敏彦氏には調査の実施およびデータの利用等に便宜を賜った。記して謝意を表する。

（原稿受付　2007 年 04 月 11 日）
（原稿受理　2007 年 05 月 18 日）

参考・引用文献

1) 高橋勇夫，東　健作，平賀洋之（2002）四万十川におけるアユの産卵場と産卵期，四万十・流域圏学会誌，2，pp. 17-20.
2) 宮地伝三郎（1960）アユの話，226p，岩波書店，東京.
3) 石田力三（1964）アユの産卵生態-V　産卵水域と産卵場の地形，日本水産学会誌，36，pp. 478-485.
4) 今井嘉彦（1990）鏡川水系の水質及び底質，「鏡川水系の自然環境」，（鏡川環境調査対策協議会編），pp. 1-29，鏡川環境調査対策協議会，高知.
5) 岡村　収，為家節弥，青木博幸（1976）鏡川水系の魚類，「鏡川の生物と環境に関する総合調査」，（高知県編），pp. 81-128，高知県，高知.
6) 杉本道彦（2002）放流事業，「ひかり輝け未来をうつそう鏡川鏡川ものしりガイドブック」，（アドプレーン編），95p，高知中央広域市町村圏事業組合，高知.
7) 高知市（1986）昭和 60 年度鏡川清流保全環境調査報告書，56p，高知市，高知.
8) 木下泉（2005）鏡川汽水域におけるコアマモ群落保全のための基礎調査 総合報告書，32p，高知市，高知.
9) 岡村　収，為家節弥（1977）四万十川の魚類，「四万十川水系の生物と環境に関する総合調査」，（高知県編），pp. 159-232，高知県，高知.
10) 石田力三（1961）アユの産卵生態-II　産卵魚の体型と産卵床の砂礫の大きさ，日本水産学会誌，27，pp. 1052-1057.
11) 上森千秋，高橋勇夫（1984）アユの産卵場について　河川の正常流量に関連して，第 39 回農業土木学会中四国支部講演要旨集，pp. 119-121.
12) 須賀堯三（1992）川の個性，190p，鹿島出版会，東京.

［四万十・流域圏学会誌　第6巻　第2号　25－33　2007］

〈論　文〉

アジアモンスーン地域・氾濫原沖積平野の地下水利用と保全政策

―（その4）　海水浸入と残留塩類による水質劣化に直面する沖積平野　―

辻　　和　毅*

Comparative study on groundwater use and preservation policy of flood alluvial plains in Monsoon Asia - (Part 4) Alluvial plains facing water quality deterioration due to sea water intrusion & connate TDS -

Kazuki TSUJI*

*　Fuji Grouting Engineering Co.Ltd., 2-8-17, Tohko, Hakataku, Fukuoka, 812-0008, Japan

Abstract

This paper comprises the fourth comparative study of groundwater use and its preservation policy of the flood alluvial plains in monsoon Asia. The Part 4 deals with the Nam Bo plain in south Vietnam. The plain is divided into the Mekong Delta to the west and the Ho Chi Minh plain to the extreme east. The paper is followed by the basic framework study on the Kanto plain central Japan described in the Part 1, the serial studies of the Chao Phraya plain in the Part 2 and the Hanoi and the Ganges plains in the Part 3. The Mekong Delta is short of safe drinking water, which indicates the worst ratio in the country. The Ho Chi Minh plain has recently undergone groundwater contamination originated from salinity, since water level declined greatly owing to excessive dependency on groundwater out of water resources. The groundwater in the two plains is deteriorated not only by sea water but also by high TDS(total dissolved solid) supposedly traced from connate water in marine deposits. The integrated output of the paper aims to elaborate a sustainable strategy of groundwater resources in associated with water supply/demand issues of the two plains in the near future.

Key words : flood alluvial plain, groundwater quality deterioration, sea water intrusion, connate water, preservation policy

1．はじめに

本論はベトナム南部のナムボ平野の地下水利用と保全について述べた。基本的な構成は、同じ主題のもとにまとめた日本の関東平野（その1）の章立てと考え方を踏まえている。（その2）はアジアモンスーン地域で代表的な氾濫原沖積平野であり，先進的な保全策を推進しつつあるチャオプラヤ平野をとりあげた。（その3）はベトナムの北部にあるバックボ平野とバングラデシュのガンジス平野の地下水をまとめ、特にヒ素汚染について述べた。本篇はこの一連の論文の最終版である。

ナムボ（Nam Bo）平野はメコンデルタ（Mekong Delta）とホーチミン(Ho Chi Minh)平野を総称した名称である[1]。前者はアジアの大河メコン川の最下流に広がる世界でも有数のデルタである。後者はその東端に隣接し、サイゴン（Saigon）川とドンナイ（Dong Nai）川の下流に形成された複合デルタである。本説では両地域は隣接し水理地質的に関連するので、各章で並行して述べる。それは、ホーチミン市がベトナムのなかで占める重要な社会的位置を考慮したことにもよる。

地下水を含む帯水層は両デルタの地下に広く分布し、貴重な水資源として利用されている。特にホーチミン平野はベトナム第1の人口612万人（2004年）を有するホーチミン市をかかえ、全国人口7632万人の8%を占める。その人と経済的活動を支える水資源の約54%は地下水に依存している。当地では近年人口の増加、産業の発展と都市化によって地下水利用は、急速に進んだため地下水位が低下し塩水化が内陸に進行した。また、河川の水質も悪化した。メコンデルタでは、飲用水のほぼ100%を地下水に依存している。しかし、帯水層に高い溶存残渣(TDS)を含む地下水が残留するため、容易に開発できる状況ではない。さらに、最近デルタ中央を南東流する主要2河川沿いの浅層地下水でヒ素汚染が報告された。

本論では両地域の水理地質構造と地下水利用、地下水の塩水化やヒ素汚染について概観し、（その1）から（その3）で述べたと同様に、今後地下水資源を活用する施策を立案する道筋（シナリオ）を考えた。

*　不二グラウト工業株式会社調査部　〒812-0008　福岡市博多区東光2－8－17

2．ナムボ平野の地形と概要

2.1　メコンデルタ

ナムボ平野は国際河川である大河メコン（Cuu Long）川の下流端に広がる沖積平野である。その大部分を占めるメコンデルタはカンボジアとの国境の北約 80 kmにあるプノンペン（標高約 15m）から始まる。ここでメコン川は 2 つの支川、東北側の Tien 川と西南側の Hau 川に分かれ、デルタの中央をほぼ平行して東南方に流下する(Fig. 1)。

このデルタは、デルタの一般傾斜方向の西北から東南に約 280 km、直交する海岸方向に約 270km の広さがあり、面積は約 62,520 km²で、うち、39,565 km²がベトナム領である。ベトナム領で日本の九州の 1.1 倍、関東平野の 6.6 倍強の広さがある。

デルタの地形は大きく見ると、自然堤防、後背湿地、氾濫原などの河成の上部デルタと、砂丘列、海岸平野、マングローブ湿地など、新しく主に海成過程で形成された下部デルタに分かれる [2]。

カンボジアとの国境に標高 300～500m の山地（古生代の石灰岩や火山岩）が連なり、南に広がる平野の下に潜在して難透水性基盤岩をなしている。低平なデルタのなかで、地形に際立った変化を与えるのはこの山地のみである。メコンデルタは非常に平坦で、河口から 190 km遡った、カンボジアとの国境に近い An Giang 県の北の Tien 川で標高 5m ほどしかない。したがってその勾配は 3.8 万分の 1 で、バックボ平野（紅河デルタ）の 1/4、関東平野の 1/40 と極めて緩やかである。その緩やかな勾配にかかわらず、Tien 川と Hau 川の二大支川と他の 7 つの分岐河川を含め、合計 9 つある河川（九つ竜の名がある）は、曲流の度合いが非常に小さく、直線状に流下している。

これはおそらく、メコン川の雨期の流況が、①上流のトンレサップ湖の巨大な遊水機能（貯水容量 450 億 m³）によって調整され平滑化されること、②デルタ内の支川や運河、灌漑水路網も遊水機能を有すること、③したがって、ゆっくりした増水はあるが、破堤し流路を変えて暴れ川となるような洪水が少ないため、現在の最大勾配の流路で安定した時代が長いのではないかと推測される。

ちなみに雨期の平均流量は 25,000m³/秒で、乾期に平均 6,000m³/秒になる。乾期の終盤の 4 月～5 月には 2000m³/秒で、塩水はプノンペンまで遡上する [3]。

メコンデルタは行政的に 13 県からなり、人口は約 1810 万人で、農業が主な産業である。メコンデルタの年降水量は地域によって異なり、西部で 2400mm、東部で 1600mm、中央部で 1300mm である。季節は 5 月～11 月の雨期と、12 月～4 月の乾期に分かれ、降水量の 90%が雨期に集中する。乾期には川の水位が低下し、汚染物が沈積するため、メコン川のそばでも地下水が主な飲用水となる。

2.2　ホーチミン平野

ホーチミン平野は、西北から東南に平行して流れるサイゴン川と西のバンチョドン川の流域に広がる。その面積は上流側に隣接し、北縁でカンボジアと国境をなすタイニン県を含めると 6120 km²であり、ホーチミン県のみでは 2090 km²である。

東の分水界は中・古生代の堆積岩類と玄武岩からなる小起伏のビンドォン山地である。その標高は北部で 50m 未満、南部で 50m 前後と緩やかだが、明瞭にビンドォンとドンナイ両県と境をなす。西はメコンデルタの東端と緩やかなバンチョドン川流域を境に漸移する。先従性のドンナイ川は、東隣のドンナイ県と分水界をなす上記山地を下刻して曲流しながら西流し、西北から流下するサイゴン川と、ホーチミン市の下流左岸で合流する。バンチョドン川はさらに下流で右岸より合流する。

ホーチミン市街地の上流では、東側の小起伏の山麓とサイゴン川の両岸に擦りつくように更新世の段丘が分布し、第四紀の隆起地盤を示している。市の下流は、感潮域の複合デルタがホーチミン市の下流約 50 kmの河口まで広がっている。ホーチミン市の標高は約 5m である。サイゴン川の上流に、ダウティエンダム（貯水量 15.8 億 m³）が、ドンナイ川にはトリアンダム（同 27.5 億 m³）があり、発電と利水の多目的ダムである。ホーチミン市の水源として重要な役割を担っている。

ホーチミン県の人口は 612 万人（2004 年）で、流入も含め年 20 万人の増加がある。GDP は国家の約 20%を占め、貿易額は国の 40%に上る。工業生産高は国の 30%に達し、ベトナム経済の中心都市である。年間降水量は 1800mm で、12 月~4 月の乾期と 5 月~11 月の雨期に分かれる。雨期には台風の襲来がある。降水量の 85%が雨期に集中する。

3．ナムボ平野の水理地質構造

3.1　メコンデルタ

メコンデルタの難透水性の基盤岩を構成する地質は、5 本の深いボーリングで確認されている [2]。その深度は全般に北で浅く南で深くなるが、107m から 2120m の範囲にある。最深の 2120mは、デルタ東南端の Cacoi で記録されたもので、デルタ中央の Cantho 以南では、ほぼ 400～500m ほどと考えてよい。これら深さの違いは基盤岩がブロック状の断層運動によって異なった陥没や隆起運動をしたためと考えられている [2]。CanTho の南から Tien Giang 県にかけて沈降域があり、デルタ西北部には隆起域が分布しており、上位の地層の傾斜と符合する。



Fig. 1　Nambo plain

ホーチミン平野の水理地質構造は、その地域の重要性と、調査精度がナムボ平野のなかでもきわめて高いことから、のちに独立して取り上げて整理した[4]。

メコンデルタの水理地質は、分布地域、地下水位、透水量係数、水質などについて **Table 1** にまとめた[4]。下記に、特記すべき事項のみを取り上げて整理した。

① デルタの難透水性基盤を構成する古い岩盤は、デルタ南部において深さ 400～500m ほどで確認された。東海岸の一部の地点では 2000m を越えている。紅河デルタと同じく、基盤岩を被う堆積層は第四紀に繰り返し起きた海水準変動の影響を受けたから、整合一連ではなく間に不整合面を挟んでいると推測される。即ち海成層は雨水浸透をこうむった時期がある。

② 帯水層を含む堆積層は 400～500m の厚さがあり、北から南に緩く傾斜し、一般に南で厚くなる。基盤岩上面の平均傾斜は 3/1000 であり、関東平野の地下水盆の基盤岩に比べ 1/10 である。

③ 帯水層は堆積岩中に挟まれる粘性土からなる難透水層によって、5 つの層に区分される（**Table 1**,**Fig. 2**）。その時代は中期中新世から始まり完新世に至る。

④ 関東平野に堆積した堆積岩類は当地とほぼ同じ地質時代に堆積したが、その厚さに比べて当地では非常に薄い。これは島弧変動地殻にあって基盤岩が沈降を続け堆積盆地を作った関東平野と、安定した大陸地殻にある当地と地質的な堆積の場の違いによると思われる。この関東平野との層厚の大きな違いは、大陸縁辺にあるタイ・チャオプラヤ平野[5]、ハノイ平野[6]、中国の天津[7]でも共通する。

⑤ 当デルタの主要な帯水層は、中新世から更新世に属する地層であり淡水域は主に平野中央部に分布する。TDS（全溶存残渣）が高い（1g/ℓ以上）地下水は、地下水開発に伴う水位降下によって、海岸から塩水浸入を引き起こしたと考えられる地域と、地層に残留した塩類が影響していると思われる内陸部がある。これについては、地下水障害の章で詳しく述べる。

⑥ デルタは第四紀末の最終氷期に汎世界的に起きた大規模な海退によって陸化し、デルタ中央と東部にほぼ南北

Table 1 Hydrogeological stratigraphy in Mekong delta

地質時代			記号	深度 (m)	分布、水位、透水量係数 T（m²/日）等	水　　質
第四紀	完新世		qh	30～90	全域に分布、粘性土が卓越し、透水性低い、淡水はメコン川沿いと埋没谷に沿った地域のみ、メコン川から涵養される，不圧地下水	淡水域は全体の 15%（30%？）程度、大部分が塩水、チッソの汚染で生活用水として使用できない、デルタ中央にヒ素汚染がある
	更新世	中期～後期	Qp^{2-3}	30～150 (110)	ほぼ全域に分布、帯水層の厚さ 50m 以下、水頭は乾期 1～-5m、雨期 2～-5m、西南部半島に年間を通じ 地下水開発による水位の低い目玉、雨期にメコン川から涵養が顕著、被圧地下水、T=1300、非常に良好な帯水層	水質は上位層に比べ、非常に良好で淡水域は 60%、塩水域は北部に帯状に分布、西南にも点在し、両者とも海水が浸入した形状を示す
		前期	Qp^{1}	30～250 (110)	国境の一部を除き、全域に分布、北に浅く、南に深い、東北部で地表に露頭、乾期水頭 1.5～-3m ，雨期 3～-4m、西南半島に年間通じ水位低下の目玉、メコン川よりの涵養顕著、T=800、非常に良好な被圧地下水	水質は上位の帯水層に比べ非常に良い、中央部のみ淡水域で、全分布域の 60%、北部、西南端は塩水
新第三紀	鮮新世		M^{4}	100～450 (120)	西北端を除き広く分布、乾期・雨期ともに内陸に向って地下水流動するのは開発の影響、乾期水頭 1.5～-3m、雨期 3～-4 m，　乾期に半島部に低い目玉できる、T=550、被圧地下水	中央部のみ帯状に 淡水域があり、全域の 60%、西端と南部、西南半島は塩水域で海水浸入の形状
	中新世	中期～後期	M^{3}	300～500＋ (100)	東南域に分布、西北は分布しない、北から南に厚くなる、開発により乾期水位が内陸で低い 5～1 m ，T=500 m ，水産用に TDS の高い地下水を利用している、被圧地下水	南部と北部は TDS＞1 g /ℓ 東海岸より塩水浸入、北部は残留塩水？淡水は中間の東北～西南方向に帯状に分布
古生代					難透水性基盤岩（石灰岩等）デルタ東北部に露頭が点在、南～東南に向って沈み込む	

注）括弧内の数字は帯水層の最大の層厚（m）

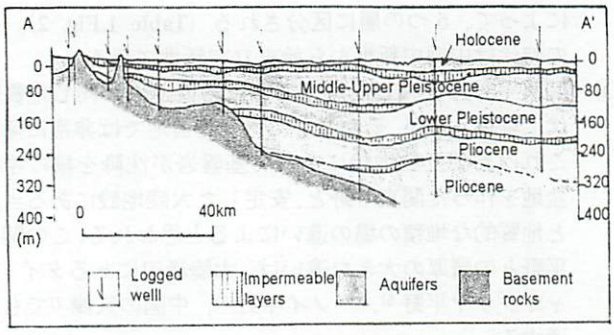


Fig. 2 Hydrogeological section of the western Mekong delta along A-A' line on Fig.3

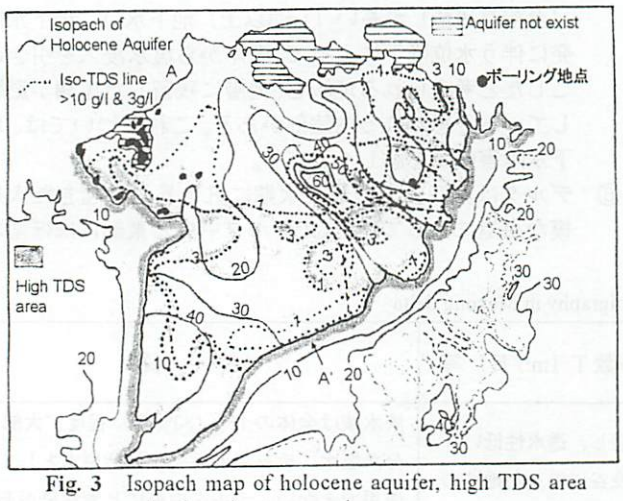


Fig. 3 Isopach map of holocene aquifer, high TDS area and submarine topography

方向に下刻する 3 条の埋没谷がボーリング結果から推測される(**Fig. 3**)[4]。西側の谷は、原図では閉じた凹地形と表現されているが、谷の延長はデルタ南部の海底地形に追跡される[8]ため、南に開いていると推定される。その後、最終海進（日本の縄文海進）は地形が低平なため国境線まで北上し、谷は細粒の堆積物によって埋没された。このうち東側の埋没谷が最近ボーリングにより正確に確認され、深度 70m で不整合面（谷底？）に達し、層相が解析された[8,9]。

⑦ この埋没谷堆積物は下位に河成の砂礫層と砂層を挟み、淡水を含む良好な完新世の帯水層となっており、これと同じ状況はアジアの他の平野でもみられる。深度 40～50m には植物片や有機物を多く含む内湾性の細粒堆積物がある。

⑧ デルタの南沖の海底では、－30～－40m 付近に平坦な段状の地形が認められる（**Fig. 3**）。これは最終の海進時に海水準が停滞したことを示しており、関東平野の沖でも同様の地形が存在する。

3.2 ホーチミン平野

ホーチミン平野の地質層序と地質や水位の概要は **Table 2** に示した[4]。その特徴を取り上げると次の通りである。

① 難透水性基盤岩を構成する古い岩盤は古生代～中生代の堆積岩類である。平野の東にあってドンナイ川とサイゴン川の上流に位置するビンドォン山地を構成する。

② この基盤岩はホーチミン市の地下でほぼ 180m、さらに西の県境で 350mの深度で確認されている。したがって上位の地層は一般に東から西に傾斜した単斜構造で堆積しており、その勾配は 8/1000 である。これはメコンデルタの 2.7 倍、関東平野の 1/4 である（**Fig. 4, Fig. 5**）。

③ 前期更新世の堆積岩はホーチミン市北部のサイゴン川上流両岸に段丘を形成し、西南部に傾斜し埋没することから、この地質時代以降東の山地が隆起し、西の平野側が沈降する変動があったと推定される。堆積岩に一部では西落ちの断層が認められる（滝沢ら、未発表）。

④ 基盤岩を被う堆積岩類は中新世の地層を欠き、前期鮮新世から始まり完新世に至る。帯水層は挟在する難透水性の地層によって、4 つに区分されている。それらは、前期鮮新世、後期鮮新世、更新世および完新世の砂層や砂礫層である。

⑤ このなかで、有力な帯水層はホーチミン周辺では下位の鮮新世の 2 つの帯水層である。東北から西南にかけ、層厚と透水量係数が大きくなる。北部ではサイゴン川の両岸に分布する更新世と完新世の帯水層が主な取水対象となっている。

⑥ その透水量係数の値は鮮新世帯水層で 500m²/日から 2000m²/日の範囲にあり非常に有力な帯水層である（**Fig. 4**）。更新世帯水層は層厚も薄いため、その値は 200～500m²/日である。

⑦ 被圧水位は上位の後期鮮新世の帯水層の方が高い。現況では両者共に海水準以下に下がった水位等高線の目玉が市街地を包み込む広さで分布している。これは地表面から約 60m の降下に相当する。長年にわたる地下水開発が集中した結果を反映しているものと思われる。

⑧ その結果、両層ともに地下水中の TDS 濃度が 1g/ℓを示す前線が、下流からドンナイ川に沿って市街地の南（河口から約 40 km）まで浸入している。その一方で内陸側から Hoc Mon 地区の西部に同じ前線が現れている。前者は地層の分布から、海水浸入の機構で説明できるが、後者は西の隣接地の状況が不明なため原因は明確ではない(**Fig. 4**)。

⑨ その原因の一つとして、メコンデルタの地下水障害の①、②で述べた上位にある TDS（残留塩水）の高い更新世帯水層がすぐ西に隣接しているので、そこからの漏水が考えられるが検証されていない。

4. 地下水の利用

4.1 メコンデルタ

メコンデルタには 2000 年現在 1810 万人、ホーチミン平野（首都圏）には 507 万人（612 万人、2004 年）、合計 2317 万人の人が住んでいる。メコンデルタでは河川水は汚水処理がなされず、さらに懸濁物や水質の点から、公共飲用水としてほとんど使用されておらず、水源を 100%淡水の地下水に頼っている。南部水理地質局はその揚水量は約 45 万 m³/日と推定しているが、後述するように別の資料では倍近い数字になっている。

Table 3 はメコンデルタとホーチミン平野の水需要を示したものである[10,11]。この数字から両地域のおおまかな水需要の規模を知ることができる。

Table 2 Hydorogeological stratigraphy in Ho Chi Minh plain

地質時代			記号	深度(m)	分布、水位、透水量係数T（m²/日）等	水　　質
第四紀	完新世		Q²	15～42	全域に分布、標高4m以下の低地、サイゴン川、ドンナイ川、ガンギオ海岸に分布、シルト、粘土、礫を含む細砂層、帯水層の生産性は低い、	塩水とチッソ酸化物で汚染され全般に地下水として不良
	更新世	後期		0～22.5	全域に分布し、北部～中部では地表に露頭する。ラテライト質の礫を含むシルト、難透水性、分布は連続的ではない	難透水層
		前期	Q¹,¹-³	32～75 市内で25～35 (25～35+)	全市域に分布し、北部～中部では地表に露頭する。細砂、礫を含む中～粗粒砂、シルト質砂からなる良好な帯水層、全般に西～西南に深く，厚くなる、北部～市内で透水性高い、T=200～500、水位10～-2m	水質は地域によって異なる、市南部～カンギオ、市西南部で高いTDSを示す、他地域は良好、所々で埋土による汚染がある、北部では飲用水として重要な帯水層
新第三紀	鮮新世	後期	N²,²bm	top：8～95 bottom：61～193 (50～100＋)	全域に分布するが、地表に露頭しない、西南方に深く厚くなる、上部（厚さ0～34m）は透水性は低いが、下部（厚さ20～30m）は砂礫層の良好な帯水層、T=1000～2500と西部ほど高い，被圧水位は市内に海水準以下の低い目玉ができ、周辺が高い、被圧水位は下層に比べ高い	ドンナイ川に沿って下流からハノイ市の南郊外とHoc Mon西部で塩水化（TDS＞1g/ℓ）、残りの地域は良好
		前期	N²,¹nb	top：100～150 bottom：150～350 (50～100+)	東端には分布しない、西南方に深く、厚くなる、被圧水位は市街地で低い(-10m)目玉ができ、海水準以下、周辺で高く、開発地域の差を反映、T=500～2500と、有力な帯水層で西部ほど高い	ドンナイ川に沿って下流からハノイ市の南郊外とHoc Mon西部で塩水化（TDS＞1g/ℓ），残りの地域は良好、傾向は上層に似る
古生代					難透水性基盤岩（堆積岩類）、Dong Nai川上流の東部山地に露頭、西に向かって沈み込む	

注）括弧内の数字は帯水層の層厚（m）

Table 3 Water demand in Mekong delta and Ho Chi Minh plain

	2000年（＊万 m³/日）			2010年（＊万m³/日）		
	都市地域	農村地域	合計	都市地域	農村地域	合計
メコンデルタ	36.1	52.0	88.1	47.1	60.9	108.0
ホーチミン平野	128.1	22.7	150.8	163.2	42.5	205.7

メコンデルタの将来の水需要は、このほかにも人口増加と一人当たりの水消費量 50～60ℓ/日から推定されている [3]。これによれば 2000 年現在 1810 万人の人口が 2015 年には 2360 万人（増加率 2.3%）と推定されることから、それぞれの年の水需要を、90.5 万 m³/日と 141.6 万 m³/日と予想した。これに対し、地下水開発可能量は淡水 100 万 m³/日、半かん水（1.5<TDS<3.0g/ℓ）が 60 万 m³/日と算定し、生活用の飲料水は不足すると結論づけた。2000 年時点の水需要は 90 万 m³/日前後で、Bui Hoc らの数字、88 万 m³/日と近似するので、この数字がこの時点の地下水利用量と考えてよいと思われる。

メコンデルタのなかで、地下水賦存と井戸の掘削状況には地域的な差が出ている [4]。このなかで、人口 1000 人当りの井戸数を地域別にみると、数が一番多いところはデルタ東北部で、次いで西部から南部にかけての沿岸部となり中央部は少ない。

これらの多い地域は、完新世～更新世の浅い帯水層が塩水化して TDS 濃度が高く飲料水として不適なため、深い井戸に頼らざるを得ない水理地質的な背景を反映したものと判断される。また、地下水による給水人口比率を考えると、比率が 10%を下回っている県はメコン川最上流の、右岸と左岸の 2 県であり、浅い地下水が利用できる地域と一致する。同様に比率が低いが、今後も開発が難しいと思われる、10%台の県は Hau 川と Tien 川に挟まれた、デルタ最下流の 2 県である。比率が 22%の Tien Giang 県は Tien 川左岸の隣接する地域で、ともに深い帯水層から浅い帯水層まで海水浸入が発生して、塩水化が著しいため、地下水開発が困難な地域である。

デルタ西南の Bac Lieu 県では、南部水理地質局がオーストラリアと共同で地下水開発事業を開始した [12]。この事業で提案された標準井戸の仕様は次の通りである。①水理地質：0－40m 完新世の粘性土、40－80m 上部更新世の砂混

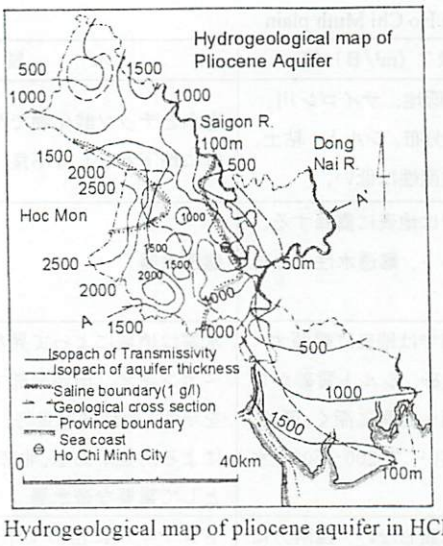


Fig. 4 Hydrogeological map of pliocene aquifer in HCM plain

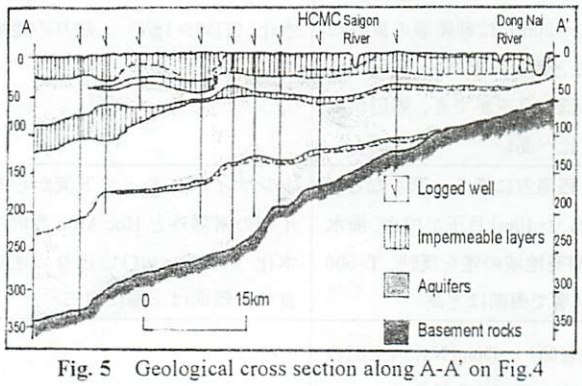


Fig. 5 Geological cross section along A-A' on Fig.4

じり粘性土、80－170m 下部更新世の砂、砂礫層と粘性土の互層、帯水層は 89－158m の砂、砂礫層、②井戸掘削深度：164m、掘削口径：深度 0－70m は 800mm、深度 70－96m は 550mm、深度 96－164m は 550mm、0－70m は掘削壁を遮水壁とする、掘削孔と挿入管の間には径 2－3mm の砂利を充填する、③上記の仕様には、地表から上部更新世の深度(68m)近くまで遮水壁を設けて TDS 濃度の高い地下水の流入を防止し、ポンプ設置区間に PVC パイプを使用し錆びを防止する、さらにステンレス製で開口率の高いスクリーンを使用するなど、井戸を長く維持管理してゆくうえでの工夫がしてある、④標準井戸の揚水量は 200m³/時間（4800m³/日、55ℓ/秒）以上を目標とした大規模な井戸である。

4.2 ホーチミン平野

ホーチミン平野では水道公社が 80 万 m³/日の給水をしているが、その 90%はドンナイ川上流の Tri An 湖（本来は発電ダム）からの給水で、残り 10%が地下水である。工業用水は 100%地下水に頼っている。これに個人用の井戸を加えるとかなり地下水が使用されている。南部水理地質局と滝沢チームによる地下水収支の解析途中での集計では 81 万 m³/日である（滝沢ら、未発表）。この中には上記の水道公社の地下水も含まれているから、この数字が現在の揚水量の総計に近い数字であろう。**Table 3** を参照すれば、水需要の約 54%を地下水に依存していることになる。

ホーチミンにおける今後の生活用水の需要予測は、**Table 4** に示した[13]。この表から生活用水が 1 日一人当たり 170ℓ から 220ℓに増えること、河川水源の割合を 62%から 79%に大きくすること、工業用水等の水需要も増えると予想している。

Table 4 Water demand in Ho Chi Minh city

	2010 年	2020 年
全水需要量（万 m³/日）	160	240
生活用水（万 m³/日）	105	160
他（工業用水など）	55	80
河川浄水能力（万 m³/日）	99.2（62%）	190（79%）
人口（万人）	612（2004 年）	(735) 推計

ホーチミン平野の水資源計画を立案するうえで、基本となる地下水収支の詳細な評価は、現在南部水理地質局と滝沢チームで現在行われている。

5．地下水障害

5.1 メコンデルタ

5.1.1 残留塩水と塩水浸入

メコンデルタの地下水障害は TDS 濃度の高い（＞1g/ℓ）の水質問題が最重要課題である。その要因は沿海部の帯水層で発生する海水浸入だけではない。通常は海水の浸透圧と淡水地下水位の静水圧のバランスが崩れたことによって海からの塩水浸入は発生する。当地ではさらに、海成層堆積時の残留塩水（いわゆる化石塩水）と、帯水層間の水位バランスが変化することによって発生する、隣接層への残留塩水の漏水と考えられるもの、さらに現在の河川を遡上してくる海水による塩水浸入などが考えられ非常に複雑である。

まず、第 1 に鮮新世までの地層とそれ以降の上位の地層では、残留塩水と塩水浸入のパタンが大きく違う。

① 中新世から鮮新世までの深い帯水層は、現在の海水浸入と考えられる浸入域が海岸部に見られる。一方で、北部の内陸部には広い淡水域がある。北の国境線に沿って TDS 濃度が高い（1g/ℓ 以上）帯があるが、②に比べ分布が非常に狭い(**Fig. 6**)。化石塩水の可能性もあるが、この帯状域はメコン川がタイ湾に流出した旧河道に一致するため現海水の遡上も考えられる。

② 更新世の地下水は、メコンデルタの東部から、東に隣接するホーチミン市を含み、CanTho の対岸付近までの広い地域に、3g/ℓを越す TDS が含まれている（**Fig. 7**）。最終間氷期（12～13 万年前）の海進時の残留塩水と推測されるが明確ではない。一方で、デルタの西部には TDS＜1.5g/ℓ以下の地域が分布する。これは、メコン川からの涵養によって水質が改善された結果と思われる。

③ 更新世以降の帯水層では、乾期と雨期ともに、メコン川（Hau 川と Tien 川）と北東丘陵から地下水涵養が行なわれていることは、地下水位等高線が河川から両岸に向けて伏没した分布をすることから判断できる(**Fig. 8**)。

④ 完新世の厚い地層（最大約 70m）はデルタ中央から東部にかけて、3 条の埋没谷地形を作って分布する（**Fig. 2**）。このうち淡水を含む帯水層は Hau 川と Tien 川の上流両岸（An Giang 県や Dong Thap 県）の川沿いに分布するだけで、あとの大部分は海進期の残留塩水や現在の海水浸入のため、TDS 濃度が高く使用できない。

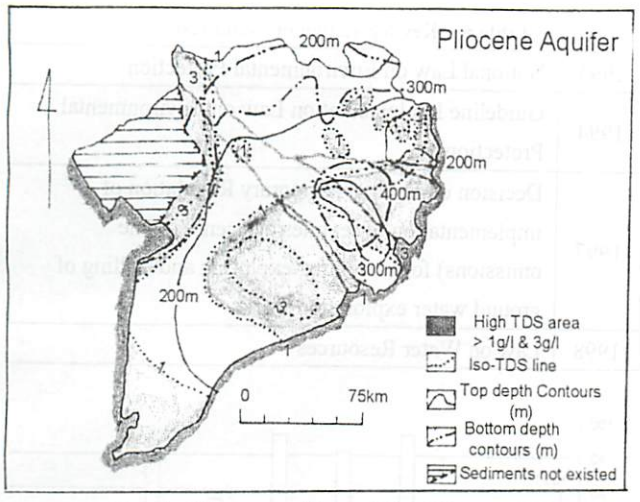


Fig. 6 Pliocene aquifer and high TDS area

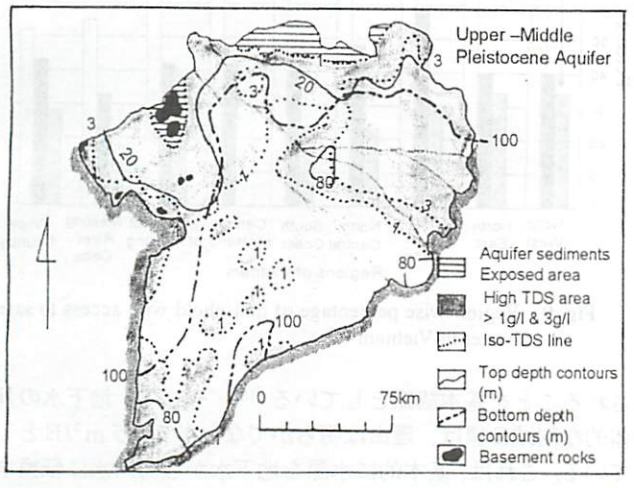


Fig. 7 Upper-middle pleistocene aquifer and high TDS

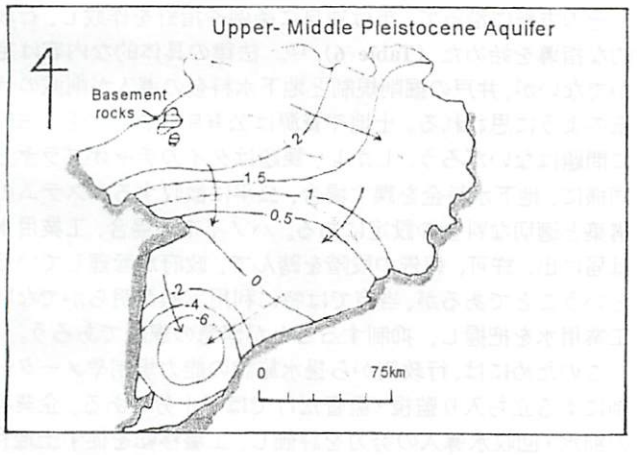


Fig. 8 Piezometric contours in rainy season (October,1996)

完新世の帯水層中の TDS 濃度が高い原因として、現在の川を遡上する海水によるとする説もある[3]。乾期の塩水遡上はプノンペンまで認められている。

このように、地下水中の TDS 濃度の分布の複雑さは、平面的な広がりと地質時代を考慮した断面の 3 次元的に現象をみないと正しい理解が得られない。またこれに加え、乾期と雨期にわたる地下水位の季節的な変化があるため、かなり複雑で原因と対策を一概に結論づけるのは難しい。したがって、塩水浸入対策は、新規の開発に留まらず現在使用中の井戸でも今後の運用には細心の注意が要求される。そのためには、観測網の整備とその後の地下水位と水質のモニタリング、および基準値を越えた場合、代替水源の確保など危機管理体制の構築が重要である。

5.1.2 ヒ素汚染

ベトナムで地下水のヒ素汚染が報告されたのはハノイが初めてである[14]。そのご地域が広がっている[15,16]。数年前からメコンデルタでも基準を越すヒ素を含む地下水が報告された。この間ベトナムのヒ素の飲用水質基準は 50μg/ℓから WHO 基準と同じ 10μg/ℓに引き下げられた[17]。

Nguyen,V.L. et. al.(2006)は、メコンデルタで個人所有の 260 個の飲用井戸を野外分析器と実験室で調べた結果を報告した[17]。この報告によれば、地下水のヒ素汚染は地域と井戸の深度に深く関係し、かなり顕著な特徴がある。以下は 2001 年から調査を始めた中間報告による。

まず、その濃度は 1～1450μg/ℓの範囲にあり、その約 80%は基準値を越えている。うち 42%が 10～50μg/ℓ未満、22%は 50μg/ℓ以上で、16%は 100μg/ℓ以上である。高濃度の地下水は、深度 15～70m の井戸に認められる。その分布は上部メコンデルタの Tien川と Hau川に沿っている。70～80%の井戸が、500μg/ℓを越える非常に高い濃度の地域は、カンボジアと国境を接する Dong Thap, An Giang 両県に認められる。低い濃度の地域は 200～300m の深井戸に認められる。

その後、下流周辺 の Can Tho, Vinh Long, Tien Giang の各県の 15～60m の浅い井戸からも高い濃度が検出された。現在までに、ヒ素中毒の症状を示す患者は報告されていないが、高濃度地域では、今後健康に不安材料をもたらしている。

以上述べたヒ素汚染の特徴は、汚染地下水が産出する深度や、第四紀最終氷期に形成された埋没谷に沿って分布する点で、本説で述べた完新世の水理地質の分布と特徴に符合する。それは、(その 3) で報告したバングラデシュの地質的素因を同じである[6]。

5.1.3 酸性土壌と肥料汚染

熱帯特有の酸性土壌の削剥や浸食による河川の酸性化汚染や、農業肥料の施肥による窒素、燐などの汚染は、報告されているが、実態はよく判っていない[18]。上部デルタでは浅い地下水を使用する割合が高い(90%以上)ため、影響が懸念される。

5.2 ホーチミン平野

5.2.1 地盤沈下

ホーチミンでは地下水位は観測されているが、地盤沈下は組織的かつ継続的に観測されていない。地下水位は鮮新世と更新世の両帯水層で降下している[13]。前者は 1993 年から 10 年で 60m も低下し、後者で 1984 年から 20 年間に 18m 低下した。現在も年間 2m の低下が見られる市内で、地盤沈下はすでに発生していると思われる。

5.2.2 残留塩水と塩水浸入

上に述べたような地下水位低下に伴って、塩水浸入が発生した。深さ 150～350m にある下部鮮新世の帯水層中の 1g/ℓの塩素濃度の前線はホーチミン市街地まで浸入した

(Fig. 4)。メコンデルタと同じ状況である。上位の地層も同様である。サイゴン川では、川に沿った塩水の遡上(250mg/ℓ)によって、浄水施設が取水を中断した事故が報告された(滝沢、未発表)。

5.2.3 表流水の水質悪化

近年ベトナムでは、淡水魚とエビ・カニの養殖が盛んに行なわれている。そのため、エサや排泄物による水質の悪化が報告されている(滝沢ら、未発表)。河川水の水質悪化は、市の基本方針である地下水の削減と河川水への転換に、大きな負担を強いる結果となる。さらに、ベトナム戦争時代の枯葉剤の影響も残っているという[19]。

6. 保全計画

6.1 メコンデルタ

ベトナムでは(その3)で紹介したように、水資源全般に関する法律は制定されているが、地下水に限った法律は無い。環境保全の一環として水資源の保護を定めた基本法とその施行指針があり、地下水の関しては、その探査、掘削の許可・免許に対して、臨時の規定があるだけである(**Table 5**)[20]。これに対して、地下水問題に詳しいBui Hocらは,早急に全国的に適用される地下水法の制定と実施のための指針策定を求めている[10,11]。

メコンデルタにおける一番大きな問題は、安全な飲用水の供給にある。**Fig. 9** に示すように、当地はベトナムのなかで、安全な水を得る家庭の割合が最低水準にある[20]。とくに農村では20%余と非常に劣悪である。河川や運河の近くに住みながら、汚水の垂れ流しや施肥汚染のため利用できない現実は悲惨である。さらに乾期はひどくなる。この図で2000年の数字は計画を示しているが、実現の程度は不明である。ここでいう安全な水は、水道水、雨水、深井戸の水を言い、掘りぬき井戸(Shallow dug well)は含んでいない。この対策として次のことが考えられる。

- 深井戸揚水による共同水栓方式—まず、最低限、安全な飲用水を供給する。深井戸の被圧地下水位が問題であるが、電力を使わず手動で対応できる方式、手動ポンプやインディアンポンプなどが望ましい。雑用水は河川や浅井戸でしのぐ。
- 深井戸の適地の選定には、残留塩水やヒ素汚染の問題があり簡単ではないが、専門家が事前に地域を評価する。農村地域では生活距離から、半径1km以内に1本の井戸が欲しい。
- 人口が集中するある程度以上の都市では、深井戸を掘削し大規模に動力で揚水し、タンクからパイプ給水する方式が良い。

また、地下水の人工涵養はナムボ平野で、2つの目的で計画された。1つは、上流域での地下水強化と、2つ目は塩水浸入を防止するためである。前者は、河川敷からの拡水法であり、後者は海岸の砂丘から淡水レンズ形成のための注入である。方法は拡水、注入井戸、立坑で、河川、砂丘、割れ目の多い岩石などを対象として考えているが計画の段階で具体化していない。

6.2 ホーチミン平野

地下水を直接統括する天然資源環境省は、ホーチミンの水資源に対し、①地下水の過剰開発を制限すること、②サイゴン川とドンナイ川の水質を改善すること、③水資源開発と涵養のバランスは、河川水と地下水に密接に関係しうまく管理されることを基本認識としている[13]。そして、地下水の具体的な削減目標は、理由は明らかでないが50万m^3/日としている。これは、基本的に水源を地下水から河川水に転換する方針と考えられるが、現況の80万m^3/日から削減するのは容易ではない。

Table 5 Key legislation on water resources

1993	National Law on Environmental Protection
1994	Guideline Implementation Law on Environmental Protections
1997	Decision on issuing Temporary Regulation of implementation of regimes of license (some omissions) for searching, exploring and drilling of ground water exploration works
1998	Law on Water Resources

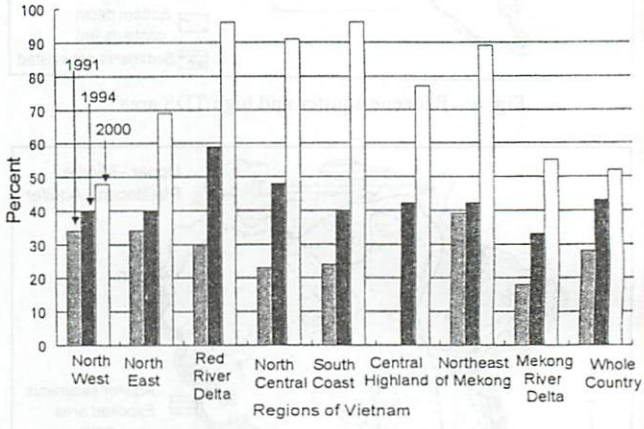


Fig. 9 Region-wise percentage of household with access to safe water in Vietnam

その方針に沿って、市は独自に条例や指針を作成し、行政的な指導を始めた(**Table 6**)[13]。法律の具体的な内容は定かでないが、井戸の掘削規制と地下水料金の導入が削減の目玉のように思われる。土地や資源は公有制であるから、法的に問題はないだろう。しかし、課題はタイのチャオプラヤと同様に、地下水料金を課す場合、公平に徴収するシステムの構築と適切な料金の設定にある。ハノイ市の場合、工業用水は届け出、許可、報告の段階を踏んで、政府が管理しているということであるが、当市では特に利用実態が明らかでない工業用水を把握し、抑制することが緊急の課題であろう。

このためには、行政側から揚水施設の能力規制やメーター制による立ち入り監視・監督だけでは不十分である。企業者の節水・回収水導入の努力を評価し、工場移転を促す土地利用政策も組み入れた、いわばムチとアメの両面の施策が必要である。それは、企業者に製品コストに占める水の経済評価を促すことで、国家社会主義から自由競争経済への意識転換が求められているとも言える。

ホーチミンでは、近年産業団地(IP)や輸出促進区域(EPZ)などハイテク産業振興策が採られているが、食料品、繊維、紙製品などの業種が優位ではないかと思われる。これらの業種は良い水質の水を大量に必要とし、回収率は日本でも平均で50%に満たない。従業員30人以下の中小企業では数%にすぎない。代替水源が早期に整備され、企業の要求に適う水

Table 6 Regulation & guideline for groundwater management in Ho Chi Minh city

Guideline on strengthening of management of groundwater exploitation and trade of drilling	Under consideration of HCMC People's Committee
Regulations on water resources management in HCMC	Issued
Regulations on limitation or prohibition of groundwater exploitation in HCMC	Being compiled by Department of Natural Resources & Environment
Draft guideline on collection of resources tax in HCMC based on the Ordinance of Resource Taxes of Ministry of Finance	Under consideration of HCMC People's Committee
Draft regulation on collection of groundwater exploitation fee in HCMC	Under compilation by Department of Natural Resources & Environment

質の水を安定して供給できるかどうかが、地下水削減の成否の鍵であろう。

供給側からの具体的な抑制案としては、開発規制区域の設定や、地下水障害の程度に応じた段階的で、累進性の地下水料金の設定をして、地下水揚水地域を北部や西部に分散させることが先決である。一方では、節水機器の導入や回収水率の増加に向けた補助金制度を設けて、揚水抑制に誘導する策が必要であろう。

一方で、水資源に対する危機意識を市民全体で共有することは大変重要で、節水目標や標準地下水位の情報公開や日常の啓発は欠かせない地道な施策である。

ホーチミン平野では30本ほどの国家レベルの水位観測孔とその倍ほどの数の市レベルのモニタリング観測網が、北部を中心に配置され運用されている。今後、帯水層別に広域の地盤沈下観測が望まれる。

謝　辞

本研究には独立行政法人「科学技術振興機構」(JST)による戦略的創造推進事業（CREST）平成15年度採択課題「人口急増地域の持続的な流域水政策シナリオ」ーモンスーン・アジア地域等における地球規模水循環変動への対応戦略(研究代表者砂田憲吾教授）の一部の研究費を使用している。関係各位に厚くお礼を申しあげる。

（原稿受付　2007年04月04日）
（原稿受理　2007年04月30日）

参考・引用文献

1) Le, B. T. (1997) Vietnam, the Country and its Geographical Regions. Hanoi, The Gioi Publishers.617p.
2) Nguyen, V.L. et. al. (2000)Late Holocene Depositional Environment and coastal evolution of the Mekong River Delta , Southern Vietnam. Jour. of Asian Earth Sciences, **18**, pp.427-439.
3) Nguyen, H.T. and Gupta, A.D.(2001)Assessment of Water Resources and Salinity Intrusion in the Mekong Delta. IWRA, Water International, **26**, No.1, pp.86-94
4) Hung, D.T. (2003) Presentation for Hydrogeological conditions of the Lower Mekong Delta. Division of Hydrogeology & Engineering for the South (DHES)
5) 辻　和毅(2007a)アジアモンスーン地域・沖積平野の地下水利用と保全政策の比較(その2). 四万十・流域圏学会誌, 6,1,pp.23-30.
6) 辻　和毅(2007b)アジアモンスーン地域・沖積平野の地下水利用と保全政策の比較(その3). 四万十・流域圏学会誌, 6, 1, pp.31-38.
7) 辻和毅(1992)中国天津市地下水水源開発計画調査. 松本徰夫教授記念論文集, pp.383-391.
8) Nguyen, V.L. et. al. (2005) Holocene Evolution of the Mekong River Delta, Vietnam.地質学雑誌, **111**, 11, ＸＸＩ
9) 堀和明　他（2006）アジアの大河川にみられる沖積層. 地質学論集, **59**, pp.157-168
10) Bui Hoc et. al., (2005) Groundwater Management in Vietnam. Journal of Geology, Vietnam, **25**, Series B, pp.26-30.
11) Bui Hoc et.al., (2001)Groundwater and the Issues of Groundwater Management in Vietnam. Symposium on Groundwater Management in Hanoi, 2001.
12) 南部水理地質局（2006）私信
13) Ohgaki,S.et.al. (2006) Ho Chi Minh City in 「Sustainable Groundwater Management in Asian Cities」, pp.81-87.
14) Berg,M.et.al.,(2001) Arsenic contamination of Groundwater and drinking water in Vietnam. Environ. Sci. Technol. **35**. pp.2621-2626.
15) Giger, W.(2003) Environmental Analytical Research in Northern Vietnam, A Swiss-Vietnamese Cooperation Focusing on Arsenic and Organic Contaminations in Aquatic Environments and Drinking Water.Chimia,**57**,No9, pp.529-536.
16) Luu, V. D. et. al., (2005) Results of Preliminary Study on Arsenic Pollution of Water in Viet Tri City, Phu Tho Province. Journal of Geology, Vietnam, **25**, Series B, pp.52-57.
17) Nguyen, V.L.et.,al.(2006)Arsenic contamination on groundwater in the Mekong River Delta, Vietnam. Proceeding of the 1st International Symposium on Health Hazards of Arsenic Contamination of Groundwater and its Countermeasures. pp.87-91.
18) Le, T.L. et.al. ,(2005)Nitrogen Compounds and Iron Contamination in Groundwater of Holocene Aquifer in Nam Dinh Area. Journal of Geology, Vietnam, **25**, Series B, pp.43-51.
19) 浅田素之(2001)ヴェトナムにおける土壌・地下水汚染. 地下水技術. **43**,7, pp.15-27.
20) Ministry of Environment and Natural Resources et. al. (2003) The Vietnam Environment Monitor Water 74p.

[四万十・流域圏学会誌　第6巻　第2号　35－46　2007]

〈論　文 －Original Paper〉

Evaluation on Workability of Japanese Basin Management Systems
From the Viewpoint of Appropriate Water-related Infrastructure Building under Rapid Urbanization

Jun MATSUSHITA*

*Shibaura Institute of Technology, 307 Fukasaku, Minuma-ku, Saitama-shi, Japan

Abstract

This paper intends to examine Japan's basin management systems urgently needed for water-related infrastructure building under very rapid urbanization for (1) flood-mitigation, (2) pollution-control and (3) water-demand control. During Japan's previous infrastructure building in post war years, the most crucial is the very rapid industrialization & urbanization stage in high economic growth period in 1960s, where the basin management systems became inevitable nation-wide based on private initiatives or legalized *'cause-pay-principle'* to off-set weak governance. Regulations were introduced to demand polluters and/or developers to install on-site type facilities at their cost. These systems have been workable so far in supplementing public works and stimulating so-called eco-industries, and further enhancing energy-saving models plus recycle-oriented society models. Thus, Japanese basin management systems could be applicable to Asian countries which face rapid urbanization and recent tighter resources market as well.

Key words: Basin Management, Rapid Urbanization, Off-setting of Weak Governance, On-site Type Facilities, Private Initiatives

要旨

この論文は、日本の戦後の高度経済成長期に洪水管理、水質管理、水需要管理の視点から緊急的に必要となった水系インフラ整備プロセスを分析し、流域管理の必要性とその役割について明らかにすることを目的とする。高度経済成長期の1960年代は、水系インフラが未整備な状態のまま急激な工業化や都市化が発生したため、原因者負担の原則に基づく流域管理の仕組みを取り入れ、公共事業の不備を補う必要性が全国で生じたことに特徴がある。このため、オンサイト型施設の設置（発生源対策）を汚染者や開発者に義務付ける仕組みを構築したことが、その後の装置産業の振興、さらには省エネルギーや循環型社会の推進に向けて有用な役割を果たすことになった。以上のことから、日本が導入した流域管理システムは、急激な都市化と資源市場の過熱という二つの問題に同時並行的に直面している現在のアジア諸国への適用性が高いのではないかと想定しうる。

1. INTRODUCTION

It is needless to say that infrastructure building is essential both to accelerate high economic growth and to enhance well-being of the people. However, the building has been much delayed in comparison with supra-structure construction under very rapid urbanization and industrialization as far as Japan's experience goes. In the field of water-related infrastructures, supplementary measures, hereafter defined as basin management systems, have been needed based on private initiative due to weak governance during an early stage of our high economic growth in 1960s.

Based on the notion mentioned-above, **Table 1** shows the step-by-step water-related infrastructures building process and relevant policy managements in Japan during post-war period from 1940s to 2000s:

Phase-1: Economic Rebuilding (1940s-50s)

Investment had to be made for industrial development by main-stay-type infrastructure building such as nation-wide construction of dams, power lines and transportation systems;

Phase-2: High Economic Growth (1960s)

Counter-measures against industrial pollution and discordant urbanization were urgently needed. Herein, basin management systems were introduced based on the private initiatives to supplement public works effectively through boosting on-site-type systems installation for flood-control, pollution-control and water-demand management in total;

* 芝浦工業大学　〒337-8570 さいたま市見沼区深作307

Table 1 Step-by-Step Water-related Infrastructure Building Process in Japan (1940s-2000s)

Phase	Socio-economic Conditions	Water-related Infrastructure Building
Phase 1 •1940s-50s	Economic Rebuilding •Industrial development promotion policy	Main-Stay-Type Infrastructure Making •Dams & national-basis river works
Phase 2 •1960s	High Economic Growth •Urbanization-assimilation policy •Regulating of discordant developments	Introduction of Basin Management Systems •Supplementing of weak governance •On-site type facilities by private initiatives
Phase 3 •1970s-1980s	Aftercare for Oil Crisis •Promoting -saving-resources policy	Establishment of Basin Management Systems •Promotion of water-resources saving schemes
Phase 4 •1990s-2000s	Creation of Sustainable Society Models •Kyoto mechanism for GHG reduction •3-Rs policy: reduce, reuse, recycle	Introduction of Eco-Friendly Urban Systems •Rehabilitation of natural water cycle •Stimulating of public participation

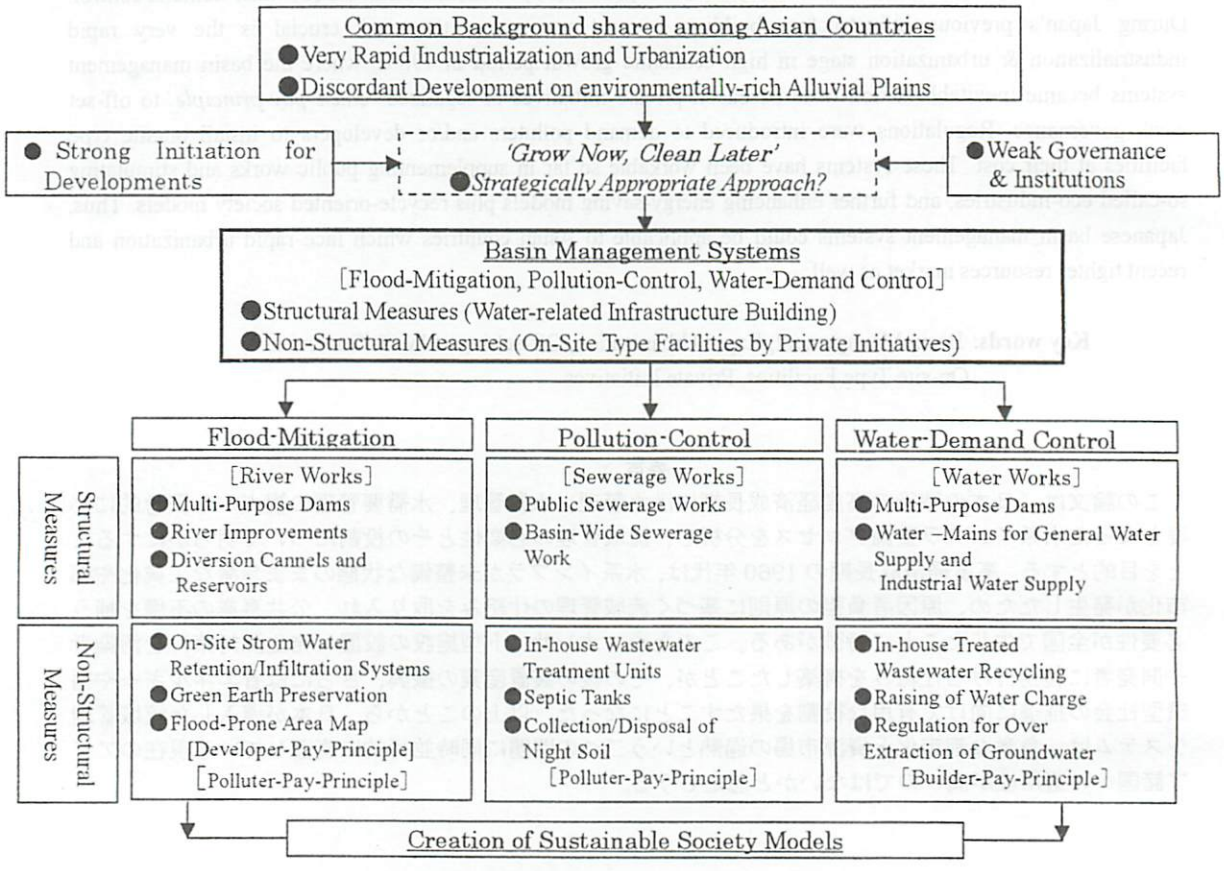


Fig. 1 Total framework for basin management systems

Phase-3: Aftercare for Oil-Crisis (1970s-80s)

Reduction of ever-increasing consumption of energy/resources was needed to make Japan less susceptible against resources-rich foreign countries leading to stimulate successfully energy-saving technologies and to enhance eco-industries/clean production technologies in our country;

Phase-4: Creation of Sustainable Society Model (1900s-2000s)

We have to deal with international commitment for Green House Gas (GHG) reduction, thus trying hard to create eco-friendly urban system models based on public participation schemes.

Herein, the details on the basin management systems are described in following chapters on the three water-related-infrastructure objectives: namely (a) flood-mitigation, (b) pollution-control and (c) water-demand control.

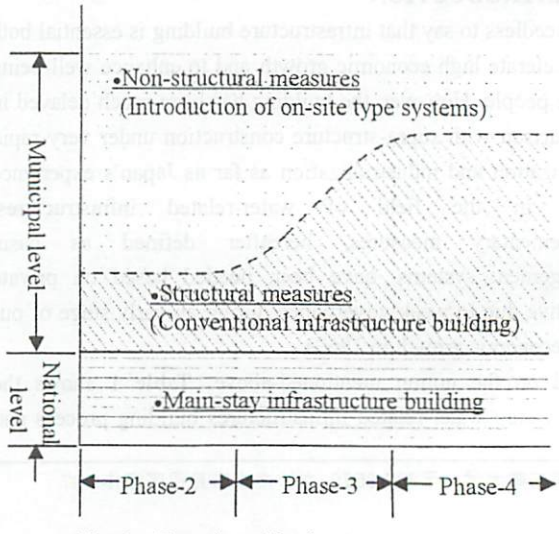


Fig. 2 Function of basin management systems

2. HYPOTHESIS OF THE STUDY

This paper is building up the hypothesis that the basin management systems should be needed firstly to supplement the insufficiency of infrastructure building under weak governance under rapid urbanization and secondly to boost reducing/recycling of water resources toward sustainable society models creation.

Fig. 1 shows the total framework of the basin management systems fabricated for the water- infrastructure related three fields: (a) flood-mitigation, (b) pollution-control and (c) water-demand control.

Fig. 2 shows the functions of the basin management systems phase-by-phase: herein, the vertical axis shows the function level with regard to relevant components and the horizontal axis shows the chronological stage from Phase-2 to -4 as shown in afore-cited **Table 1**.

In any phases, there may be the stable role played by national-level infrastructure building which should support socio-economic sustainability of the country on the long run. On the contrary, in the municipal-level infrastructure building, the role of (1) structural measures and (2) non-structural measures differs, as the phase differs.

In Phase-2 as of high economic growth stage, the role of the non-structural measures is absolutely significant to support people's welfare, since the governance level is so weak. In Phase-3 as of aftercare stage for oil crisis, the role of the structural measures become more influential, while the non-structural measures maintain the definite role to support reducing/recycling of resources.

In Phase-4 as of stage toward sustainable society models creation, there shall be the ever-lasting role played by the non-structural measures to further enhance energy-saving models and recycle-oriented society models toward the future.

3. FIELD OF FLOOD-MITIGATION

3-1 Phase-1: Economic Rebuilding (1940s-50s)

When the world war had ended, Japan had lost almost everything except for human resources and natural water resources. Herewith, the national government decided to give highest priority to main-stay-type infrastructure building such as national-basis trunk river improvements, and construction of dams and power lines in order to make the most of scant financial resources for prompt industrial development. And based on such particular economy-immediately-back-to-track policy, Japan could build launching pads within a relatively short period for high economic growth expected in the following decades.

Flood-protection on the national level was the historical long-standing concern of our nation, since metropolitan regions had been located on the alluvial flood plain of major trunk rivers: namely River Tone, Arakawa and River Tama in case of Tokyo Metropolis as shown in **Fig. 3**.

To mitigate monsoonal flood-impact, the national government had implemented river works in this region. Among them, the most important was construction of the diversion channel of River Arakawa in 1920s-30s, which intended to divert flood-water off downtown of Tokyo to its eastern suburbs. Further during this period, additional flood-risk abatement measures were needed to protect the region with higher level. For this purpose, dam construction projects were implemented in the upper stream of the two major trunk rivers. Most of these dams were of multi-purpose type in line with cost-cutting objectives: controlling flood in rainy seasons and generating hydro-power in dry seasons.

3-2 Phase-2: Pre-High Economic Growth (1960s)

During this stage, Japan experienced nation-wide industrialization and due rapid urbanization accompanying with rampant discordant developments.

Fig. 4 shows the expansion of the densely inhabited district (DID) in Tokyo Metropolis from 1960-1995, where total population increased from 13 million to 29 million. The annual population growth reached at some 500 thousand in 1960s in Tokyo. As a result, the proposed plan for green-belt had no deterrent effects to rapid urbanization as previously verified in the Greater London Plan in 1940s.

Due to the delay of local-basis river works, we have had serious flooding in the low-lying downtown of Tokyo as shown in **Fig. 5**. The main cause of the flooding was preceding discordant developments on the hilly areas. They increased the run-off ratio in the river basins very steeply. However, municipal governments could not manage the total urbanization properly because of their weak governance against strong development initiation by private sectors.

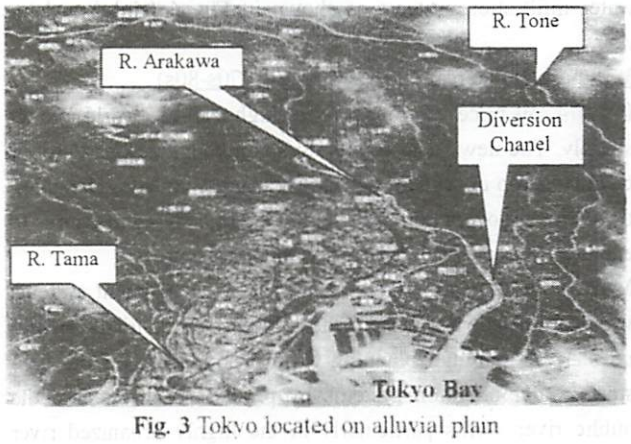


Fig. 3 Tokyo located on alluvial plain

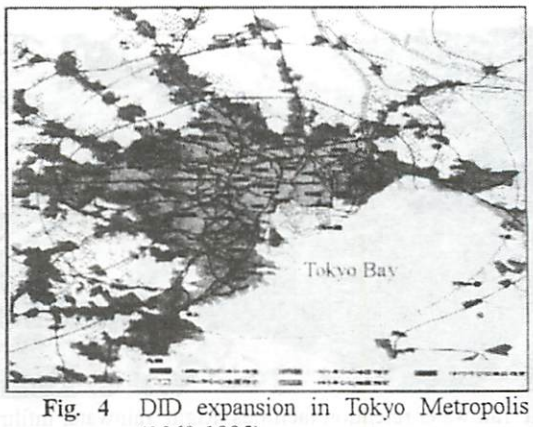


Fig. 4 DID expansion in Tokyo Metropolis (1960-1995)

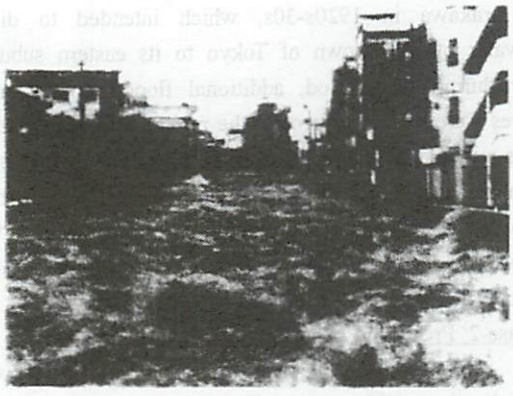


Fig. 5 Typical urbanization-induced flooding observed in downtown of Tokyo

Taking such urgent socio-economic conditions into consideration, specified flood-protection measures had to be figured-out together with financing scheme based on private initiatives. The scheme was legalized in the New City Plan Act in 1963 to stipulate that developers should undertake development-related river works at their cost based on *'developer-pay- principle'*.

In line with such schematic measures, on-site type storm water run-off retention systems were installed in the general development projects as shown in **Fig. 6 (left)**.

However, such measures were only agreeable for developers under condition that capital gains should be expected through developments, since some 5% of the project area had to be generally ear-marked for the storm water retention purpose. Accordingly, developers managed to introduce less-costly storm water infiltration systems as shown in **Fig. 6 (right)** in later years.

3-3 Phase-3: Aftercare for Oil Crisis (1970s-80s)

In 1974, oil price went up 5 times higher in the world market sharply. The new socio-economic state recognized us that our country is too dependent on oil-producing countries. Hereafter, the national government figured-out energy-saving measures to enhance susceptibility in terms of energy resources.

Meanwhile, the framework of the basin management systems was fabricated and established based on *'public-private-partnership'* through planning to incorporate the on-site type storm water retention systems by private initiatives into the public river works particularly in the highly urbanized river basins.

Fig. 7 shows the configurations of such on-site type storm water retention systems introduced in the Tsurumi River basin, one of the highly urbanized river basins in Tokyo Metropolitan Region. Total capacity of these on-site-type retention systems are standing at approximate 2.8 million m3 against the basin area of 235 km2, which is equivalent to the rainfall amount of 11 mm. Most of such retention systems are utilized for bio-topes or greening open spaces and maintained by local voluntary citizen groups.

As a result, the basin management systems were to be composed of the following two elements as shown in afore-cited **Fig. 1**: (1) structural measures such as public river works and (2) non-structural measures such as on-site type storm water retention systems supported by private initiatives, green earth preservation in the river basins, disclosure of flooding-prone area map for risk-abatement and so forth.

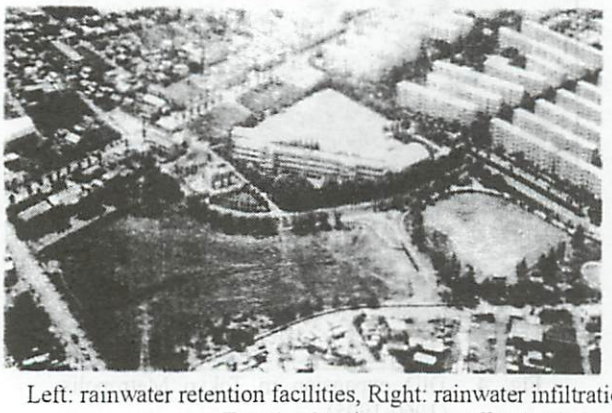
3-4 Phase-4: Creation of Sustainable Society Models (1990s-2000s)

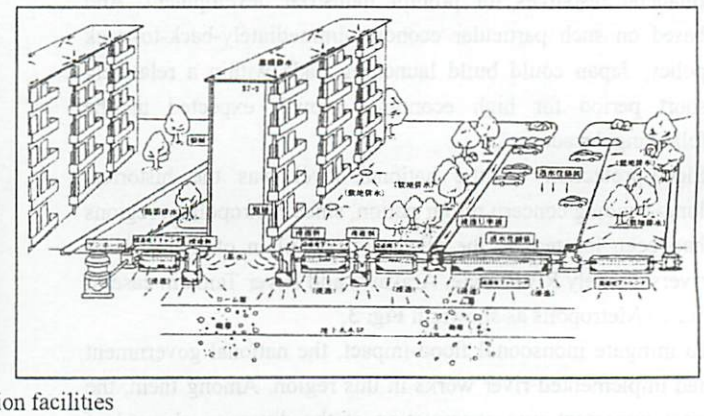
In 1992, the Agenda 21 for a sustainable development was proposed by UN Earth Summit in Rio de Janeiro. World leaders recognized the necessity of GHG reduction scheme, which was materialized as the so-called Kyoto Mechanism five year later in 1997 in accordance with Kyoto Protocol.

In 2005, Framework Convention on Climate Change has been effectuated, where major developed countries should be requested to reduce CO2-gas emission to 1990 level in 2000s. Among this framework, the most critical is Clean Development Mechanism (CDM) to be jointly executed between developed countries and developing countries. In line with such up-to-date conditions, Japan decides to be involved in the international commitment to the above-mentioned framework.

In the field of water-related infrastructures, the most urgently needed is the rehabilitation of natural water cycle and eco-system, where mitigation measures shall be indispensable. Further, taking sustainable maintenance of the eco-system into consideration, public participation is also desired and needed.

Fig. 8 shows model projects which were created in new town areas in Japan. The basic measures are mitigations of the impact to natural water cycle brought by the development activities. It is recognizable that both preservation of green earth and introduction of on-site type storm water retention





Left: rainwater retention facilities, Right: rainwater infiltration facilities

Fig. 6 On-site type runoff reduction system models based on 'developer-pay-principle'

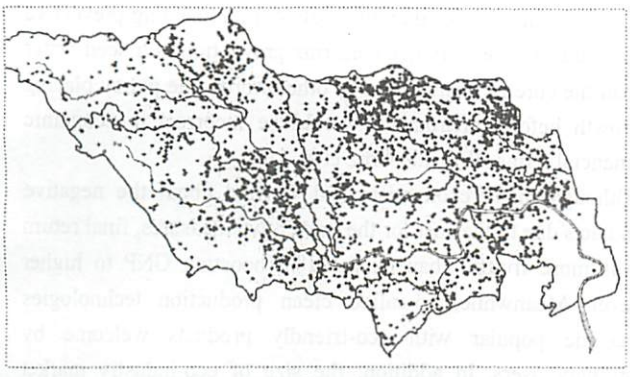
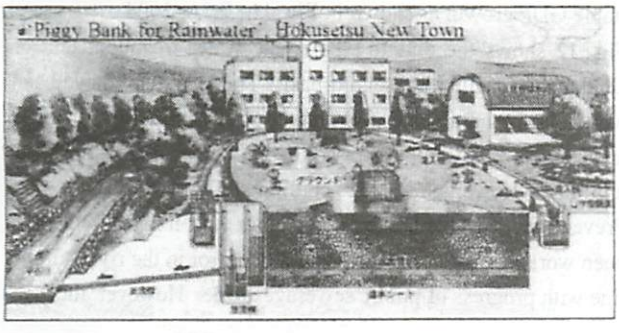


Fig. 7 Configurations of on-site storm water retention systems in the Tsurumi River Basin



•Aquatic Eco-Preservation Project, Tama New Town

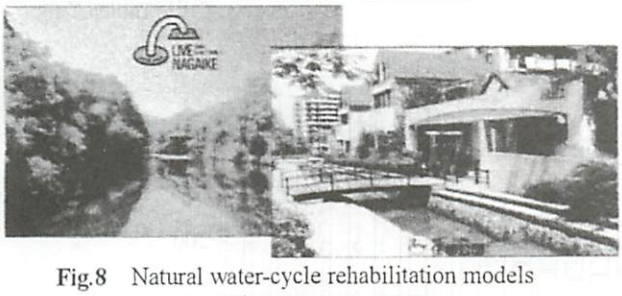


Fig.8 Natural water-cycle rehabilitation models introduced in new town areas

systems are necessary for implementation of the mitigation systems.

These models may be the launching pad for boosting the rehabilitation of natural water cycle in the near future. In several highly urbanized river basins, master plan arrangement has been commenced based on initiatives by the national government. On the other hand, many municipal governments are preparing design-manuals and subsidy schemes to promote the on-site type storm water retention systems which could be the basis for further promotion of such rehabilitation projects.

4. FIELD OF POLLUTION-CONTROL

4-1 Phase-1: Economic Rebuilding (1940s-50s)

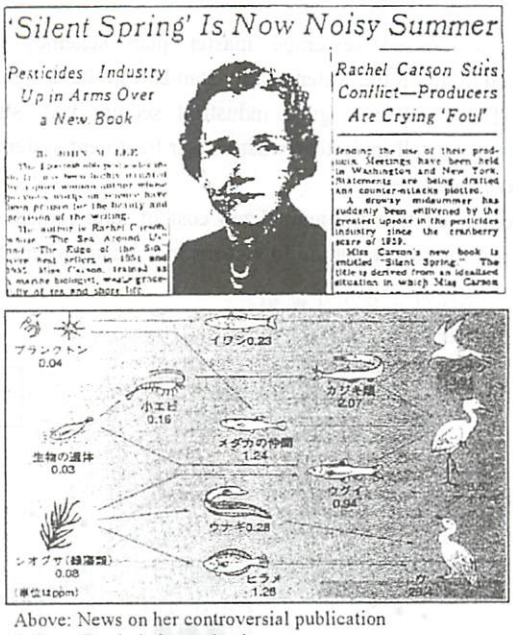
The *'Grow-now, Clean-up-later'* strategy had been applied to attain economic rebuilding promptly within a very short period. However, the strategy had luckily imposed very limited environmental impacts to our country, since GDP level had been low.

4-2 Phase-2: Pre-High Economic Growth (1960s)

In USA, Dr. Rachel Carson publicly announced the toxicity of pesticide called DDT in her publication entitled *'Silent Spring'* in 1962. As far as her publication goes, remaining pesticide in the soil was transferred to earth worms and finally transferred to robins through the food-chain mechanism as shown in **Fig. 9**. She found out density of the chemical became thickened enough to kill the birds through this food-chain process. It finally made normally 'noisy spring' in US with their usual twittering 'silent'. As a result, her courageous deed helped USA to establish environmental legislation within a short period.

During the same period, Japan had to learn much bitter lesson due to heavy industrial pollution on the way to high economic growth. It resulted in strict health damages over many local people.

In case of the most notorious Minamata-disease, approximate 100,000 persons reportedly suffered from health problems



Above: News on her controversial publication
Bellow: Food-chain mechanism

Fig. 9 USA's bitter lesson learned from *'Silent Spring'* in 1962 by Dr. Rachel Carson



(Source: NPO Minamata Forum)

Fig. 10 Japan's bitter lesson learned from Minamata-disease in 1960s

because of long-term intake of mercury-polluted fishes. The mercury was discharged from the chemical company into waters off the southern Japan. Once thickened in mother's body, the mercury was transferred to her baby to damage the neural systems as shown in **Fig. 10**.

It took more than 10 years for the national government to identify the real cause of the Minamata-disease. However, the legislation had been old-fashioned and insufficient to prevent further industrial pollution.

4-3 Phase-3: Aftercare for Oil Crisis (1970s-80s)

In the wake of public awareness toward environment - risk abatement, Water Pollution Control Law was enacted to legalize *'Polluter-Pay-Principle'* at the Pollution Session of the Diet in 1970. In addition, Environmental Agency was organized in 1971.

Herein, basin-based sewerage master plan schemes were introduced to attain the water quality standard in the designated waters. These schemes gave industrial sectors very strong incentives to install in-factory waste water treatment systems as preventive measures.

It is recognized that the annualized cost of later remediation and paying for compensation to victims may be anywhere from 5 to 126 times higher than the cost of implementing preventive measures. Our experience confirms prevention is indeed better than the cure in many cases. In other words, the policy placing growth before environment would be incorrect in economic financial terms (Wilfrido Cruz et al. 1998).

Although many economists had worried about the negative impacts due to the cost for the preventive measures, final return was more fruitful than expected in boosting GNP to higher level. Meanwhile, so-called clean production technologies became popular with eco-friendly products welcome by ordinary users. In addition, the size of eco-industry market relevant to such preventive measures has been growing steadily from ¥300 billion in 1970 to ¥1,500 billion in 2000 in line with stable GDP growth as shown in **Fig. 11** (JICA, 2004).

Fig. 12 shows the on-site type waste water treatment unit or 'Johka-so' installed household-basis. These systems have been workable for immediate pollution control in rapidly urbanized areas together with night soil-collection-and-treatment systems, until public sewerage services could be fully reached.

Preventive measures based on our bitter lesson in Phase-2 have been workable so far in water quality control in the rivers in line with progress of public sewerage works. However, they

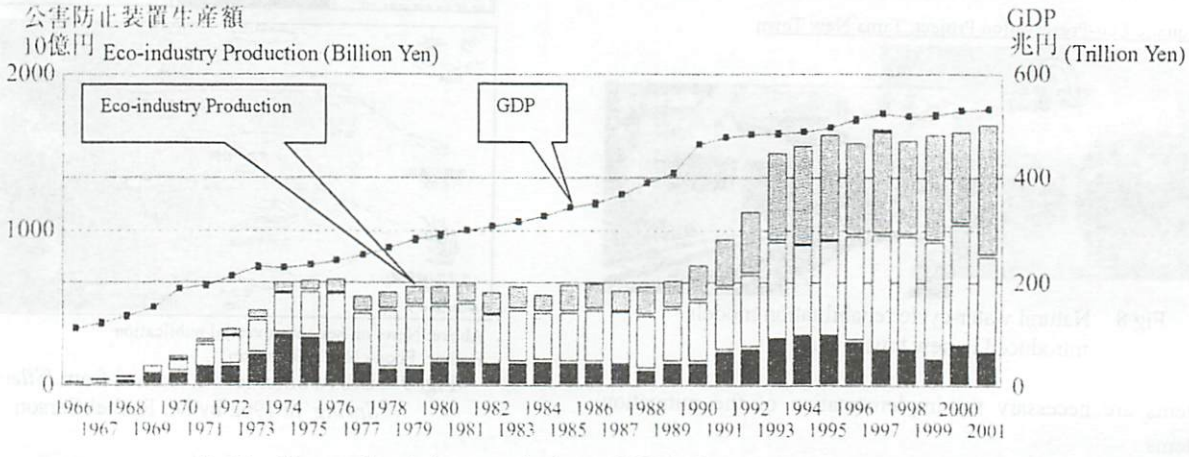


Fig. 11 Change of eco-industry production and GDP in Japan (1966-2001)

may not be an ultimate solution for the water quality control in closed-type public waters because of various unknown factors such as pollutant accumulation and internal production.

Upon the mentioned-above cognition, the pollutant-load control measures were introduced for three designated closed-type waters including Tokyo Bay in 1979. Further, Lake Water Quality Control Act was enacted in 1984 for water quality improvement in the designated lakes, where the pollutant-load reduction guidance for industrial sectors were to be announced.

4-4 Phase-4: Creation of Sustainable Society Models (1990s-2000s)

OECD review on Japanese environmental policy conducted in 1977 stated *"Japan has won many battles against pollution, but the war with improving the quality of the environment remains to be fought and won."* Sixteen years later in 1993, another OECD report commended Japan for having succeeded in decoupling pollution from economic growth.

The water quality up-grading process of Sumida River in

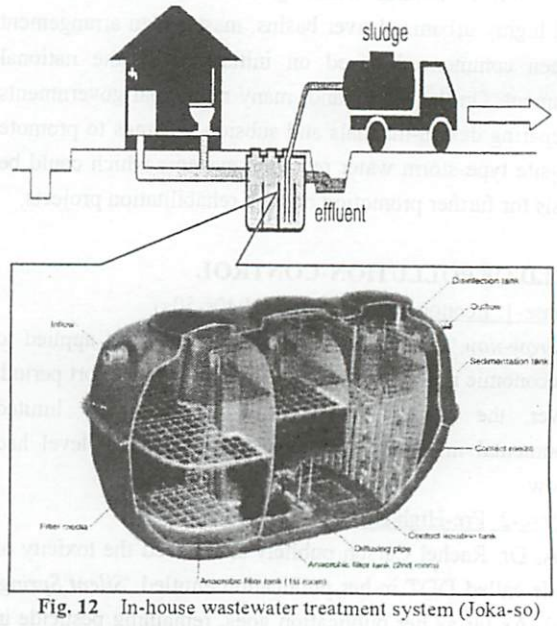


Fig. 12 In-house wastewater treatment system (Joka-so)

Tokyo indicates that recent progress of public sewerage works is helpful to the water quality improvement as suggested from **Fig. 13**.

Due to the recent improvement of water quality, developments have been commenced in the waterfront areas once used for industries as shown in **Fig. 14** (Hideo Nakamura, 2000).

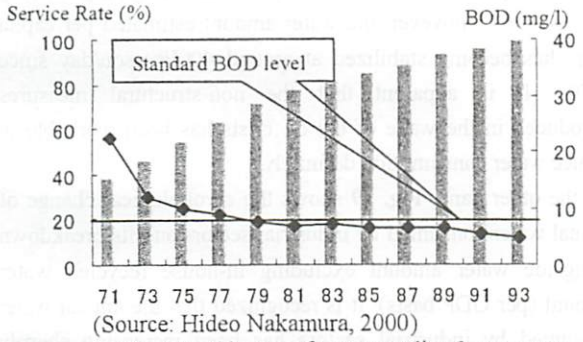
On the other hand, leading prefectures are preparing more comprehensive basin management systems to meet the above-mentioned need to improve the water quality particularly in the closed-type waters. The most advanced is the master plan named *"Mother Lake 21"* proposed in 2000 for Lake Biwa by Shiga Prefecture, where 1-rst World Lake Conference was held in 1990.

As far as this master plan goes, continuous and steady operation of the total systems is needed.

The lake water quality preservation schemes are herein composed of two elements as shown in afore-cited **Fig. 1**: (1) structural measures such as basin- wide sewerage systems and (2) non-structural measures such as in-factory waste water treatment facilities introduced by private initiatives and promotion schemes for grass-root lake-cleansing activities.

The desirable is strong consensus among local sectors that local aquatic environment should be preserved as their *'invaluable common'* from the long-term perspective.

There would be a bright hope, because we have had steadily surging voluntary activities seeking for preservation of aquatic environment as shown in **Fig. 15**. In addition, we could expect supporting to make such voluntary activities more sustainable from various corporations which are seeking for social corporate responsibility (Jun Matsushita, 2006).



(Source: Hideo Nakamura, 2000)

Fig. 13 Change of water quality & sewerage service rate in River Sumida, Tokyo

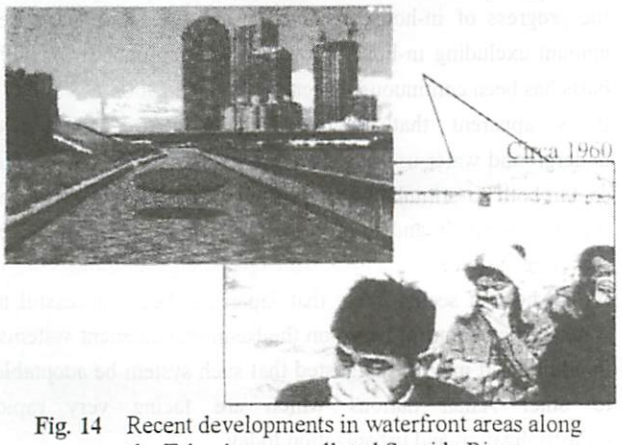
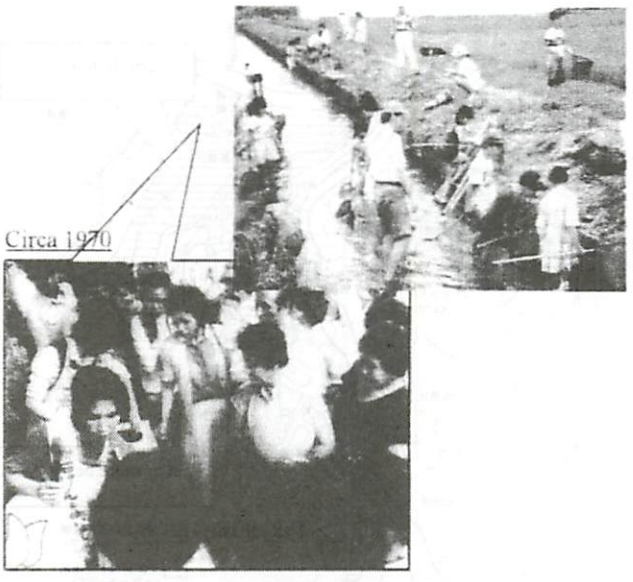


Fig. 14 Recent developments in waterfront areas along the Tokyo's once polluted Sumida River



(Source: Shiga Prefecture Government)

Fig. 15 Grass-root activities rooted back to anti-detergent movement for Lake Biwa in 1960s

5. FIELD OF WATER DEMAND CONTROL

5-1 Phase-1: Economic Rebuilding (1940s-50s)

The national government had introduced Multi-purpose Dam Construction Act in 1957 to meet increasing demand of water supply during the economic rebuilding period. As described in **Chapter 2**, the dams constructed herein were almost multi-purpose types in accordance with cost-cutting purposes.

5-2 Phase-2: High Economic Growth (1960s)

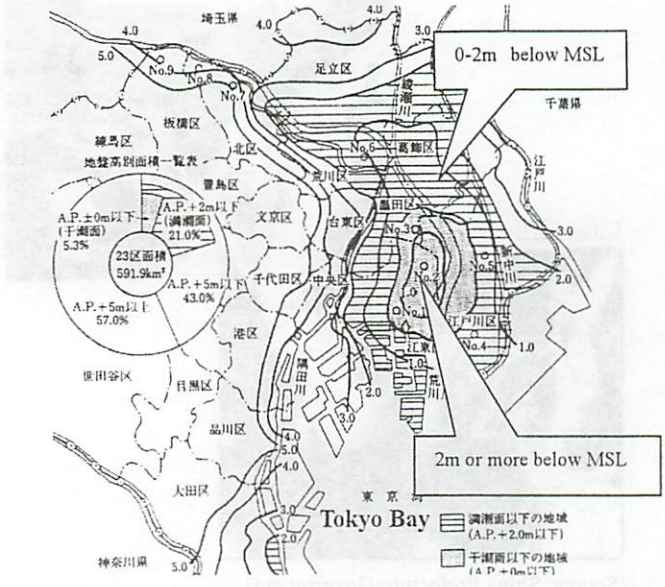
To meet rapidly increasing demand of water supply, Water Resources Development Promotion Act was enacted in 1961.

The national government made basin-wide comprehensive water resources development plan, where many multi-purpose dam projects were proposed and implemented in the major river basins in metropolitan regions.

On the contrary, groundwater use mainly by industrial sectors had been continued since pre-war years because of its easiness and lower costliness. And over-extraction was accelerated during the high economic growth period in 1960s-70s. In addition, water-shortages in some newly urbanized suburban areas promoted groundwater use further.

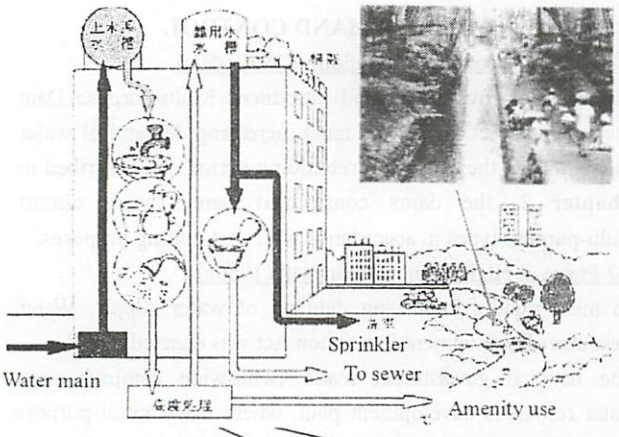
Based on such socio-economic conditions, the over-extraction of groundwater had caused strict land subsidence in metropolitan regions: total land subsidence reached at most to 4.5 meters in downtown of Tokyo. As shown in **Fig. 16**, there is a wide area with ground level of 2 meters or more below M.S.L (Hideo Nakamura, 2000).

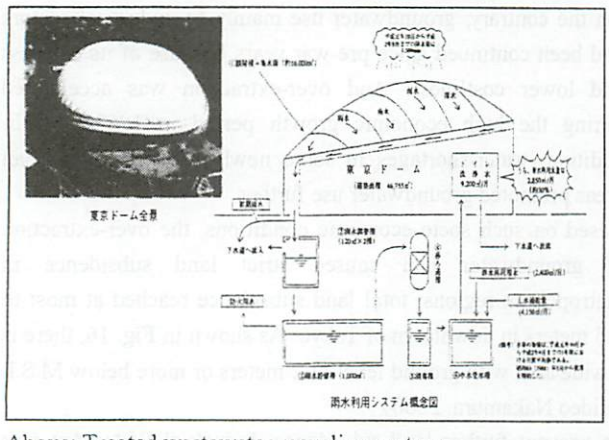
To prevent further land subsidence, Industrial Water Act was enacted in 1956 to control extraction of groundwater. Further, Building Water Control Act was legislated against so-called free-riding-stayle groundwater use in buildings and factories located in metropolitan regions. However, they were not so effective against complete stop of the land subsidence until the oil crisis in 1973 which urged industrial sectors to cut production cost mainly through introducing in-house wastewater recycling systems (Kazuki Tsuji et al, 2006).



(Source: Hideo Nakamura, 2000)

Fig. 16 Ground level of downtown of Tokyo





Above: Treated wastewater recycling systems
Below: Rainwater recycling systems

Fig. 17 In-house water recycling systems

5-3 Phase-3: Aftercare for Oil Crisis (1970s-80s)

The oil crisis gave us the turning point on our previous easy free-riding-style way for water consumptions. In accordance with a need for reducing demand for water resources, introduction of basin management systems was also needed.

Raising the water charge became popular for most water suppliers. Herein, gradually-increasing-type charging schemes were introduced to make bigger consumption more charged in order to lead to less consuming society. As a result, workability of such schemes was recognized for every sector.

In addition, some of the municipal governments introduced ordinances in order to regulate installation of in-house treated wastewater and/or rainwater recycling systems for large-scale urban renewal projects as shown in **Fig. 17**.

In case of Tokyo Metropolitan Government, the guideline was to be adopted to the urban renewal projects with floor area of 30,000 m2 or more (recently up-graded to 10,000 m2 or more). And the national government introduced subsidiary systems to enhance recycling of treated wastewater in the particular water-shortage area.

In summary, the above-mentioned basin management systems were composed of two elements as shown in afore-cited **Fig. 1**: (1) structural measures such as promotion of water-main construction particularly for industrial sectors to reduce disorderly groundwater use and (2) non-structural measures such as gradually- increasing charging schemes and treated wastewater recycling systems by private initiatives.

5-4 Phase-4: Creation of Sustainable Society Models (1990s-2000s)

Herein, the analysis is made on the previous trend of water consumption 1950s-1990s to evaluate the sustainability of Japan.

Fig. 18 shows the chronological change of annual civic water amount supplied to the nation alongside water amount estimated per capita basis. It is recognized that the annual water amount supplied to the nation has been increasing sharply 1950s-2000s. However, the water amount estimated per capita basis has become stabilized at around 400l/person/day since 1970s. It is apparent that the non-structural measures introduced in the wake of the oil crisis has been workable to reduce water consumption definitely.

On the other hand, **Fig. 19** shows the chronological change of annual water consumed by industrial sectors and its breakdown alongside water amount excluding in-house recycled water amount (per GDP basis). It is recognized that the annual water consumed by industrial sectors has been increasing sharply 1960s-1970s and relatively stabilized 1980s-2000s in line with the progress of in-house recycled water use. And the water amount excluding in-house recycled water amount (per GDP) basis has been continuously decreasing since 1960s.

It is apparent that the regulation on free-riding-style underground water use introduced in 1960s has been workable so far both to stimulate cost-cutting incentives for industrial sectors effectively and to promote in-house treated wastewater recycling systems.

As a whole, it seems likely that Japan has been successful in water-demand control based on the basin management systems. In addition, it may be suggested that such system be adoptable to other Asian nations which are facing very rapid industrialization and urbanization today.

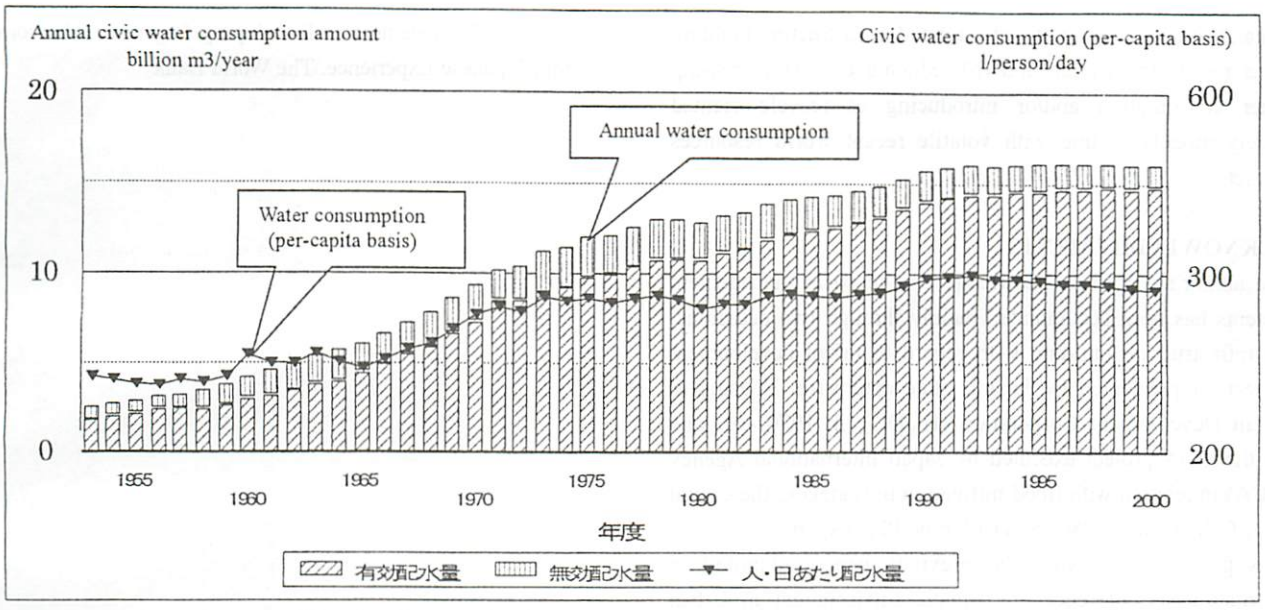


Fig.18 Change of civic water consumption in Japan (**1950s-2000s**)

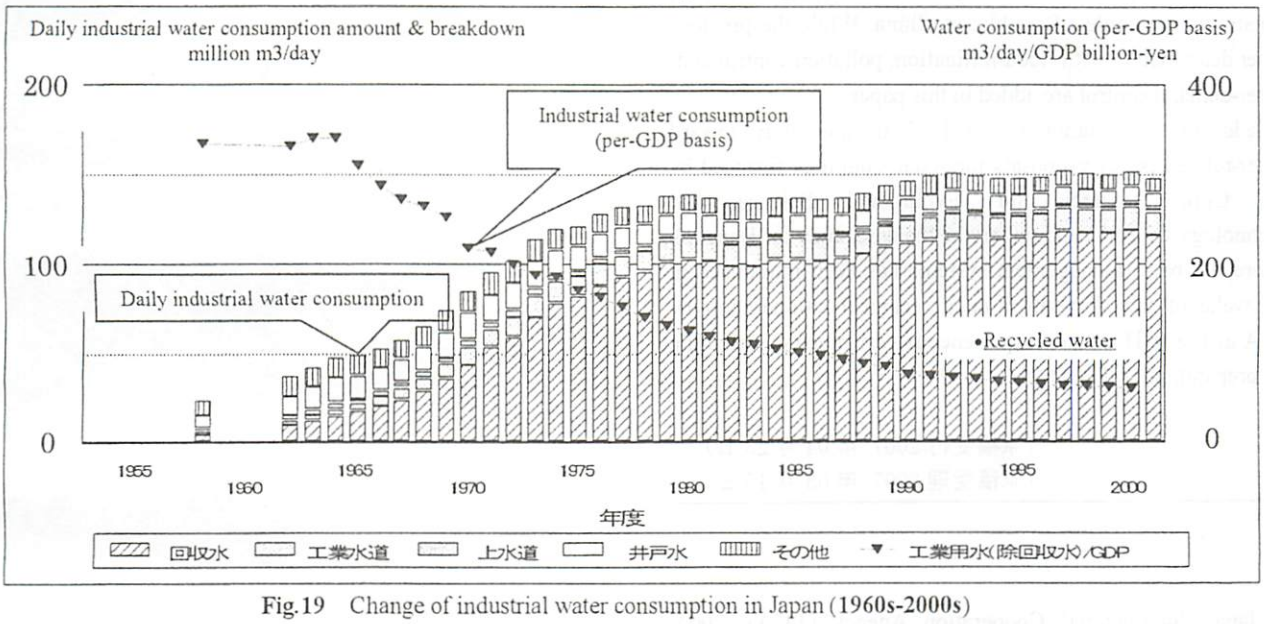


Fig.19 Change of industrial water consumption in Japan (**1960s-2000s**)

6. CONCLUSIONS

This paper examined the building process of basin management systems in line with relevant policy management under Japan's industrialization and due rapid urbanization during the high economic growth to off-set weak governance and verified the workability of the systems in the three water-related infrastructure building fields: namely flood-migration, pollution-control and water-demand control.

As a result, the followings were clarified:

(1) The system was fabricated in the following three water-related infrastructure fields: flood-mitigation, pollution-control, and water-demand control during the high economic growth period in accordance with the weak governance.

(2) The system was composed of two elements: structural measures and non-structural measures, which were mainly based on the on-site-type facilities supported by private initiatives or *'cause-pay-principle'* which have been legalized in the City Plan Act.

(4) The system has been workable in supplementing public works at the initial high economic growth stage as well as in reducing water consumption during aftercare period for the oil crisis as of 1970s.

(5) In addition, the system is expected to be workable in creation of the sustainable society models in terms of water resources.

(6) As a whole, it is recognizable that the functions of the basin management systems might be widely available for solution of various water-related problems in the countries under rapid urbanization and industrialization.

Herein, taking into consideration the recent tighter socio-economic conditions encircling most countries in Asia, applicability of the basin management systems could be much higher, if they might be well-prepared.

In addition, the systems are desired in these countries, which are facing simultaneously two types of basic socio-economic

demands: (a) promoting of water-related infrastructure building under rapid urbanization and (b) reducing of ever increasing water consumption and/or introducing of recycle-oriented society models in line with volatile recent world resources market.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author's empirical knowledge on the basin management systems has been accumulated mainly through two occasions: (1) infrastructure building with regard to urban development projects implemented by Japan's state enterprise, Housing & Urban Development Corporation (HUDC), in 1970s-90s and (2) the ODA project executed by Japan International Agency (JICA) in relation with flood-mitigation in Bangkok, the capital city of Thailand in 1980s as a Colombo Plan expert.

This paper is following the previous paper submitted to International Conference on Aquatic Environment in Urban Area in 2006 upon the cordial invitation from of Ministry of Construction, People's Republic of China. While the previous paper dealt mainly with flood-mitigation, pollution-control and water-demand control are added in this paper,

In addition, the author is involved in the study toward water-related policy proposals for Asian countries financed by the Core Research for Evolutional Science and Technology(CREST) and undertake the case study for Bangkok, where the basin management systems has been introduced in the wake of the above-mentioned technical co-operation by JICA in 1980s This study experience is very much contributing for preparation of this paper.

（原稿受付 2007 年 04 月 23 日）
（原稿受理 2007 年 05 月 15 日）

References

1) Japan International Cooperation Agency (JICA), 2004, Industrial Pollution Control. Report prepared for Seminar in Kyushu
2) Jun Matsushita, 2006, Appropriate Basin Management Systems under Very Rapid Urbanization — Strategic Approach based on Japan's Previous Experience. Proceedings of International Conference on Aquatic Environment in Urban Area (The Ministry of Construction, People's Republic of China), pp.16-24,
3) Kazuki Tsuji and Sucharit Koontanakulvong, 2006, Comparative Study on Groundwater Conservation in the Flood Alluvial Plain, Tokyo, Bangkok. Proceeding of 3rd Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW) Conference on Wise Water Resources Management toward Sustainable Groundwater and Poverty Reduction
4) Hideo Nakamura (Editor), 2000, Infrastructure Building and Management—How to Manage Large-Scale Tokyo Metropolis. Gihou-dou Publications, (Japanese)
5) Wilfrido Cruz and Kazuhiko Takemoto, 2004, Urban and Industrial Management in Developing Countries—Lessons from Japanese Experience. The World Bank

Appendix 1: Basin Management Systems Development in Japan (1940s-2000s)

Stage	Basin Management Systems	
	Flood-Mitigation and Water-Demand Control	**Pollution-Control**
Phase-1(1940s-50s) Economic Rebuilding	('47) Nation-wide Typhoon Disaster ('56) Industrial Water Act ('57) Multi-purpose Dam Construction Act	('56) Outbreak of 'Minamata-disease' ('58) Water Quality Preservation Act ('58) Sewerage Act
Phase-2(1960s) Pre-High Economic Growth	('61) Water Resources Development Act ('62) Building Water Control Act ('65) Urbanization-Induced Flooding in Metropolis ('67) River Act [River Management Systems] ('68) City Planning Act [Regulating of Discordant Developments]	*('62) Publication of 'Silent Spring' in USA* ('68) Official Identification of the Cause of Minamata-disease by MOW
Phase-3(1970s-80s) Aftercare for Oil Crisis	('73) *Oil Crisis* [Introduction of Resources-Saving Policy] ('74) In-House Wastewater Treatment Systems [Ordinance by TMG] ('77) Systematization of Basin Management for Flood-mitigation [Highly Urbanized Basins] ('79) Treated Wastewater Recycling Systems [Subsidiary Systems by MOC]	('70) Pollution Session of the Diet: ('70) Water Pollution Control Law [Polluter-Pay-Principle] ('70) Schemes for Basin-based Sewerage Systems ('71) Setting-up of Environment Agency *('72) UN Conference in Stockholm* ('79) Pollutant-Control Systems for Closed Waters ('84) Lake Water Quality Control Act:
	('84) 1-rst World Lake Conference in Shiga-ken (Lake Biwa) *('87) 'Sustainable Development' in 'Our Common Future' announced by UN-CED*	
Phase-4(1990s-2000s) Creation of Sustainable Society Models	('90) Guideline for Ecosystem-Preserving-Type River Improvement by MOC ('91) Conceptual Plan toward Creation of Zero-Emission Society by United Nations University (UNU) *('92) UN Conference in Rio de Janeiro on Environment and Development & Sustainable Development]* ('93) Eco-Friendly Housing Creation Schemes by MOC *('97) Kyoto Protocol toward Framework for Climate Change Prevention [Kyoto Mechanism]*	
	('00) Recycle-Oriented Society Creation Act ('00) 'Mother Lake 21 Plan' toward Sustainable Basin Management of Lake Biwa by SPG ('04) Natural Environment Rehabilitation Act , ('05) Landscape Rehabilitation Act *('05) Effectuation of Framework for Climate Change Prevention [Kyoto Mechanism]*	

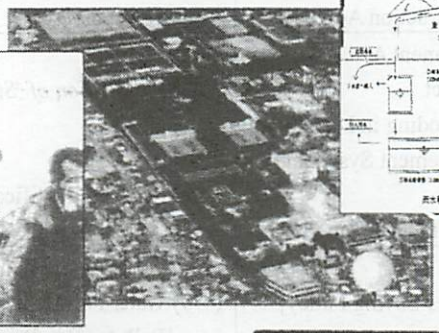
Note; (1) MOC: Ministry of Construction, (2) MOW: Ministry of Public Welfare,
(4) TMG: Tokyo Metropolitan Government, (5) SPG: Shiga Prefecture Government
(6) *Italicized letter is for the international affairs relevant to the subject.*

Appendix 2: Outline of Total Basin Management System in Tokyo Metropolis (1940s-2000s)

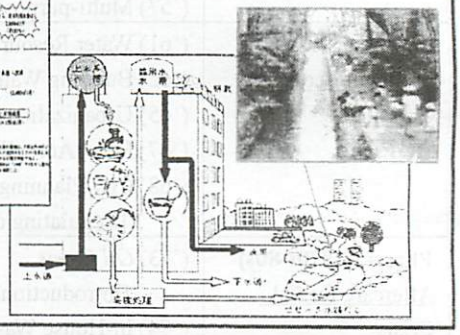
•Basin Management Systems for (Left) Water-Pollution Control & (Right) Water-Demand Control

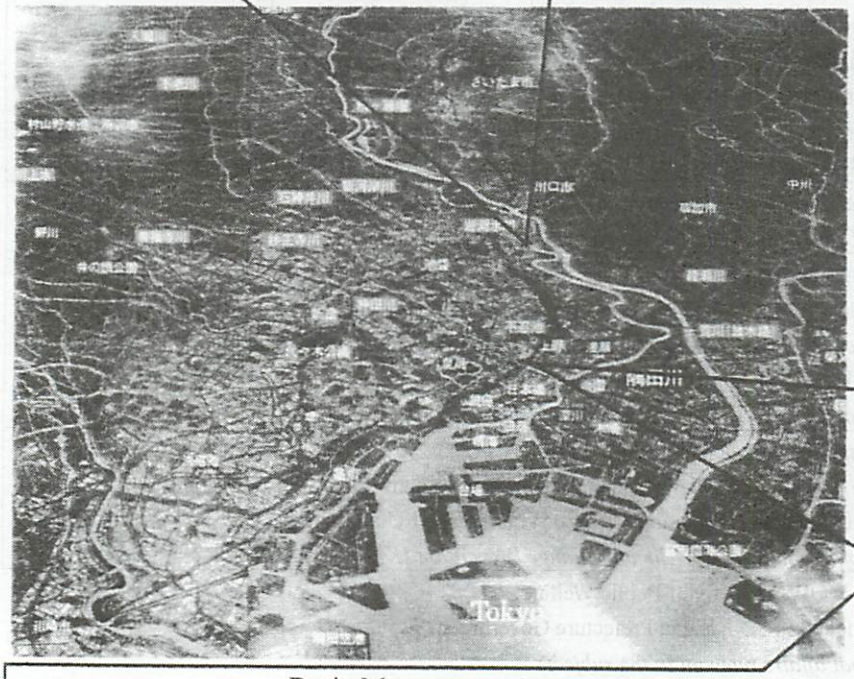
From left: (a) Heavy water quality pollution during pre-economic high growth & (b) Structural measures (wastewater treatment plant)



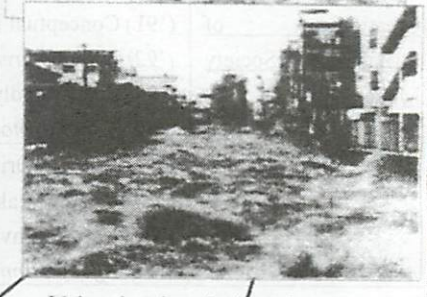


From left: (a) In-house rainwater recycling systems & (b) In-house treated wastewater reycling systems









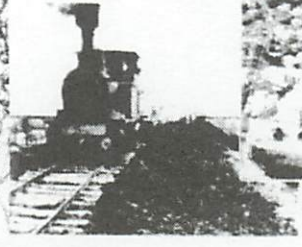
•Urbanization-Induced Flooding & Due Damages

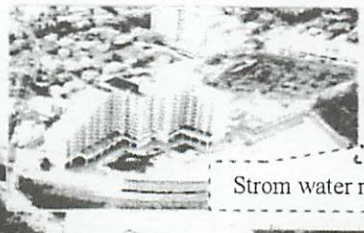
•Basin Management Systems for Flood-Mitigation

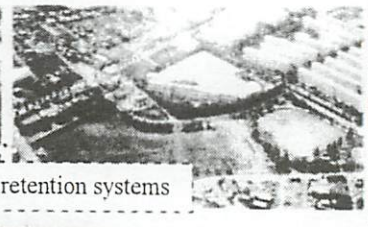
[National Level]

[Municipal Level]







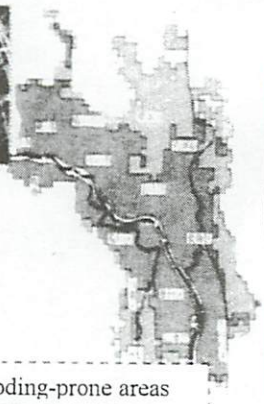


Strom water retention systems



(a) Construction of diversion channel for River Arakawa by interior ministry in 1930s and (b) Mr. Akira Aoyama, director-general





From left: (a) Tunnel-style channel and (b) Flooding-prone areas

［四万十・流域圏学会誌　第６巻　第２号　47－54　2007］

〈論　文 －Original Paper〉

Integrated Groundwater Resources Management and Policy in Western Aso Mountain Foot Groundwater Basin

Jun SHIMADA* , Masahiro MURAKAMI and Kazuki TSUJI*****

* Graduate school of Science. and Tech., Kumamoto University, 2-39-1, Kurokami, Kumamoto-shi, Kumamoto, 860-8555, Japan
** Kochi University of Technology, 185 Miyanokuti, Tosayamada-tyo, Kami-shi, Kochi, 782-8502, Japan
*** Fuji Grouting Engineering Co.Ltd., 2-8-17,Tohko, Hakataku,Fukuoka, 812-0008, Japan

I. Introduction

For Kumamoto City, the 3rd large city in Kyushu island, Japan, its groundwater is an indispensable asset. The city is the prefecture capital and accommodates as many as 670,000 residents, and still every single water tap gives mineral water from underround. Natural water springing up from the ground fills Lake Ezu, Suizenji Park, and many other locations within the city. There are few other cities like this size in Japan (**Fig. 1**).

So far, Kumamoto City has thrived thanks to the blessings of its precious and abundant groundwater, and their task for the future is to let the future generations enjoy the same blessings of rich and clean groundwater. At the very least, they, Kumamoto citizens, have to accomplish this task.

The plain fact today is, however, that some say we are running out of the groundwater reservoirs, while others saying that the reservoir is already on the verge of drying up. Indeed, the groundwater level has been declining over time [1], and so has the discharge volume springing from Lake Ezu. Visibly, their groundwater reservoir is diminishing.

Before it is too late, Kumamoto citizens and corporations involved in or using the groundwater have to learn what is happening to their groundwater and how indispensable it is, and take measures to preserve their groundwater reservoir.

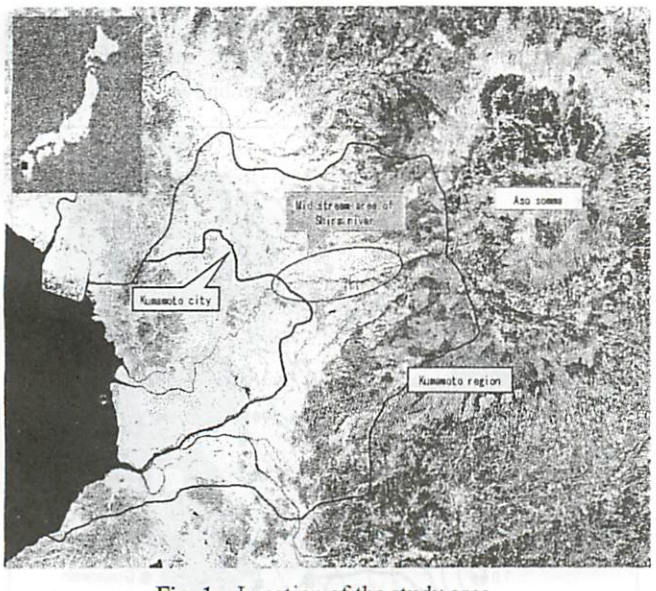


Fig. 1　Location of the study area

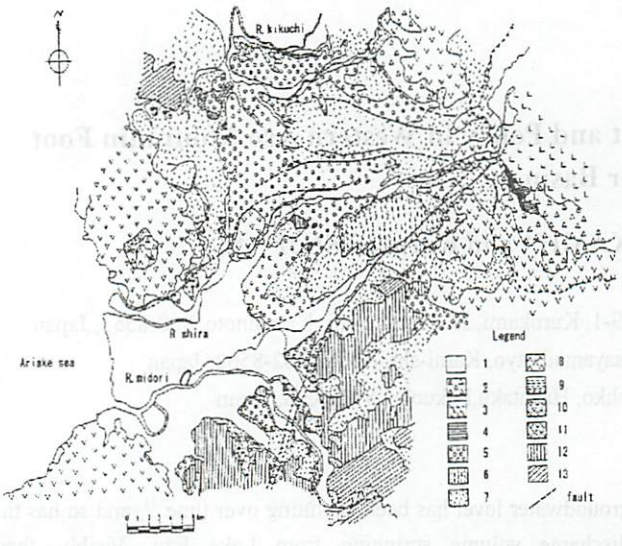
II. Basic aquifer structure of the western Aso mountain foot groundwater basin

Fig. 2 shows the surface geology of the area. Most of the study area is covered by the volcanic pyroclastic deposit which has created by the four major eruptions of Mt. Aso caldera during 0.26 Ma and 0.09 Ma. There are two aquifer system; No.1 aquifer of unconfined system and No.2 aquifer of confined system. The No.2 aquifer is the major groundwater resources of the area which develops over the Kumamoto region in the Fig.1. Because of the relatively high local precipitation amount (2200mm/yr) and the permeable geological characteristics of the pyroclastic deposit, the huge groundwater aquifer basin has been created in this region.

Fig. 3 shows the groundwater potential distribution of No.2 aquifer in October, which is the high water season in the year. In the red dashed circle area, the annual groundwater level fluctuate more than 10 m which means the huge amount of recharge has been created during rainy June to typhoon summer in this area. Because of the lack of the lacustrine deposit which separates the unconfined and confined aquifers in this area, there exists no No.1 unconfined aquifer system thus rainwater and irrigation water can infiltrate directly into the No.2 aquifer system. This geologically unique area has been called the groundwater pool of this aquifer and has been thought as the important area for the groundwater recharge to the No.2 aquifer.

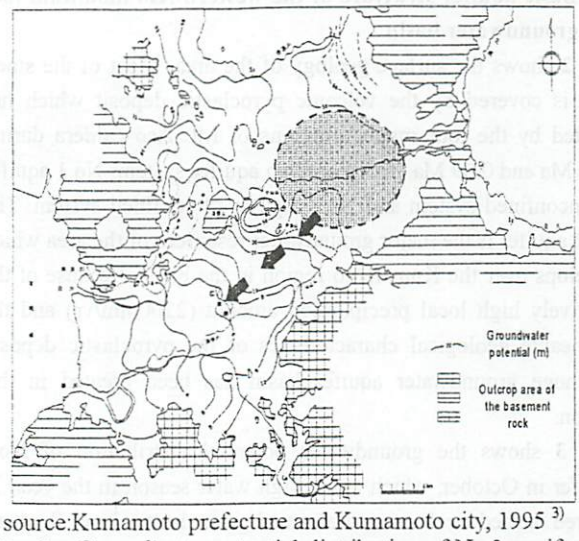
The groundwater recharged around this area has been flowing

*　熊本大学　〒860-8555　熊本県熊本市黒髪２丁目 39 番１号
**　高知工科大学　〒782-8502　高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185
***　不二グラウト工業株式会社調査部　〒812-0008　福岡市博多区東光２－８－17



1: Alluvium, 2:Cliff deposit, 3: Aso crater hill, 4: Kufuno deposit, 5: Terrace, 6: Takayubaru lava, 7: Pyroclastic flow deposit, 8: Ichinodake lava, 9: Yoshino deposit, 10: Pre-Aso volcanic rocks (Kinpo volcanic rocks) 11: Pre-Aso volcanic rocks (others), 12: Cretaceous sedimentary rocks, 13: Metamorphic rocks. (Kumamoto prefecture and Kumamoto city, 1995)

Fig. 2 Surface geological map of the study area



source:Kumamoto prefecture and Kumamoto city, 1995 [3)]

Fig. 3 Groundwater potential distribution of No.2 aquifer of Kumamoto area (Oct., 1993)

toward south west along the blue arrows in the **Fig. 3** and springing up from the ground fills Lake Ezu, Suizenji Park, and many other locations within the city. The traveling time of this flow takes 10 to 20 years.

III. Importance of the mid stream area of the Shira river for the groundwater recharge

In the previous section, it has shown that the geologically unique groundwater pool in the No.2 aquifer exists around the mid stream area of the Shira river. The evidence of the recharge system could be traced by using environmental stable isotopes of water. Fig.4 shows the stable oxygen isotope content ($\delta^{18}O$ ‰) in the No.2 aquifer groundwater and Shira river water. Oxygen content in the major part of the No.2 aquifer is around -6.8 to -7.0 (‰), while there develops relatively high tongue shape pattern of the isotopic content originated from the mid stream area of the Shira river. The stable isotope content in the water has been affected by the temperature and this has confirmed as the altitude effect of the precipitation. This means that high altitude area has high isotopic content. The oxygen isotope content ($\delta^{18}O$ ‰) in the Shira river water is shown as -8.1 (‰) in the **Fig. 4**, which represents the relatively high altitude of the Shira river catchments area. The tongue shape pattern of the high isotopic content in Fig.4 clearly showed the evidence of the infiltration of the Shira river water to the No.2 aquifer through the mid stream area of the river [2)].

IV. The volume of the groundwater in the area

Ever since Kumamoto City set up observation wells to measure the groundwater level in 1986, the level at Suizenji, one of the discharge area observation wells, has been diminishing over time. (**Fig. 5**) A decline in the water level is also observed at the recharge area observation well, Ozu, in the middle-stream area of Shira River as well. (**Fig. 6**) The discharge rate of spring water at Lake Ezu, Suizenji, has diminished by some 20% during the last decade, from approximately 500,000 m^3 a day to 400,000 m^3 a day (**Fig. 7**). This was about 1,000,000 m^3 a day around 1950's. When we calculate the "balance" of groundwater, i.e., deduct the outlet flow[3] from the recharge of groundwater[2], the balance has been in the red. (**Fig. 8**) Though the "balance" of the groundwater is affected by the rainfall, the balance is still in the red with the average annual rainfall. Thus, the "deficit" accumulates year by year. To turn the "balance" into the black, we have to cut down the volume of water pumped out and increase the recharge of groundwater. On one hand, the total withdrawal of groundwater in Kumamoto City has been on the decline, mainly due to the considerable decrease in the volume of groundwater taken in for

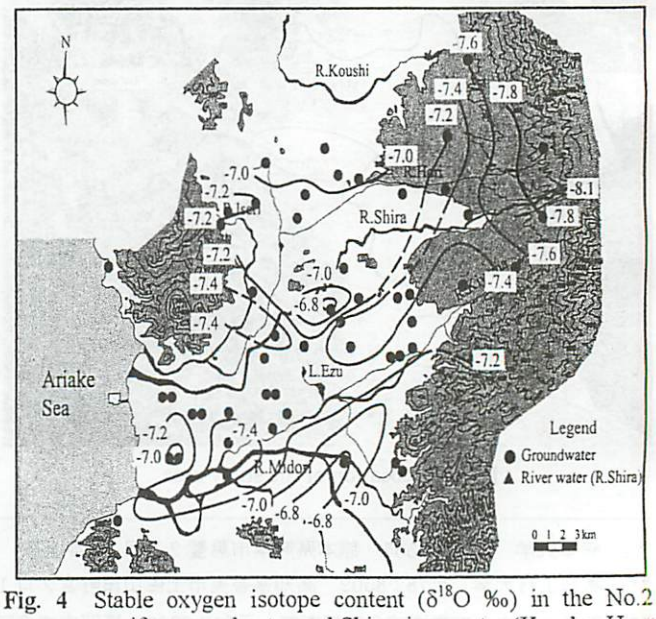


Fig. 4 Stable oxygen isotope content ($\delta^{18}O$ ‰) in the No.2 aquifer groundwater and Shira river water (Kosaka, H. *et al.* 2002)

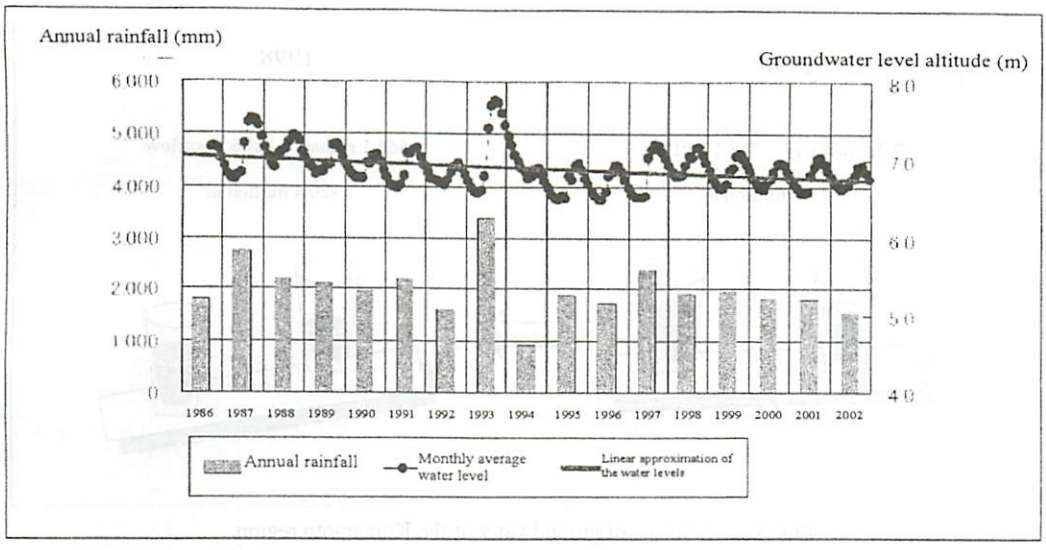
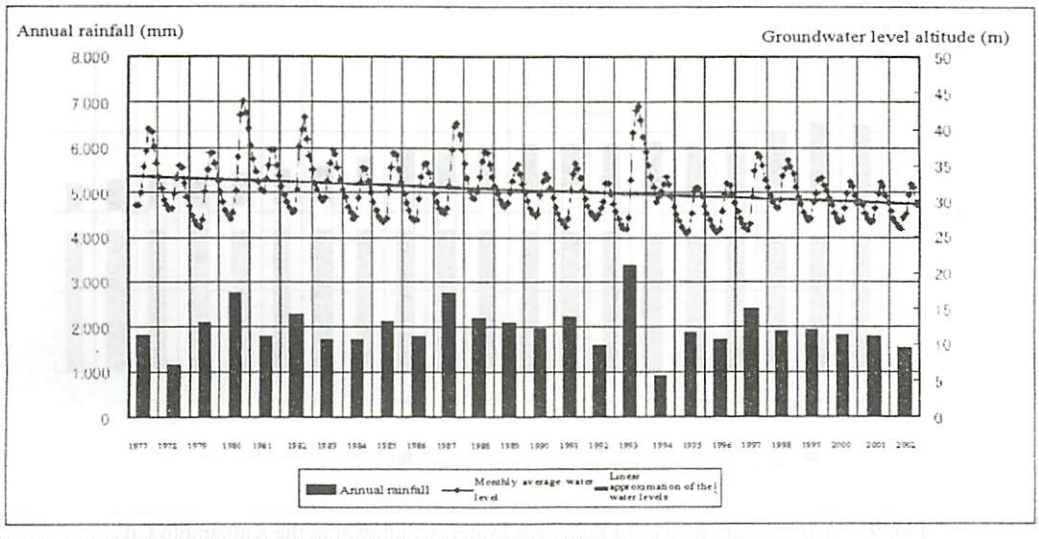
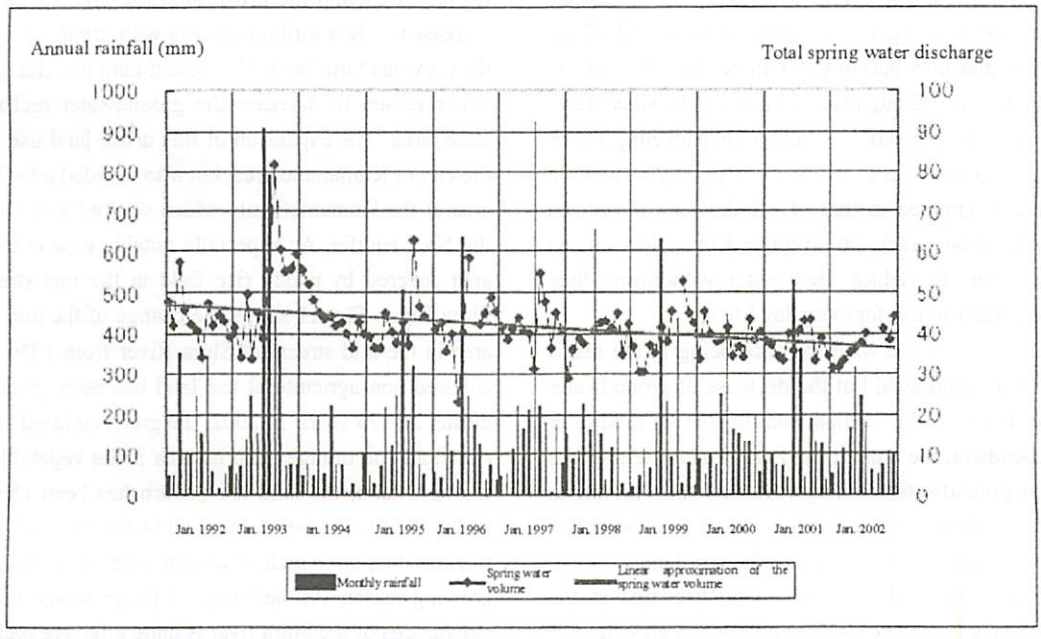


Fig. 5 Year-to-year changes of the groundwater level at the observation well of Suizenj



(Source) From data provided by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport

Fig. 6 Year-to-year changes in the groundwater level at Ozu in the mid-stream area of Shira River



(Source) From surveys conducted by Kyushu Tokai University

Fig. 7 Year-to-year changes of the spring water discharge at Lake Ezu

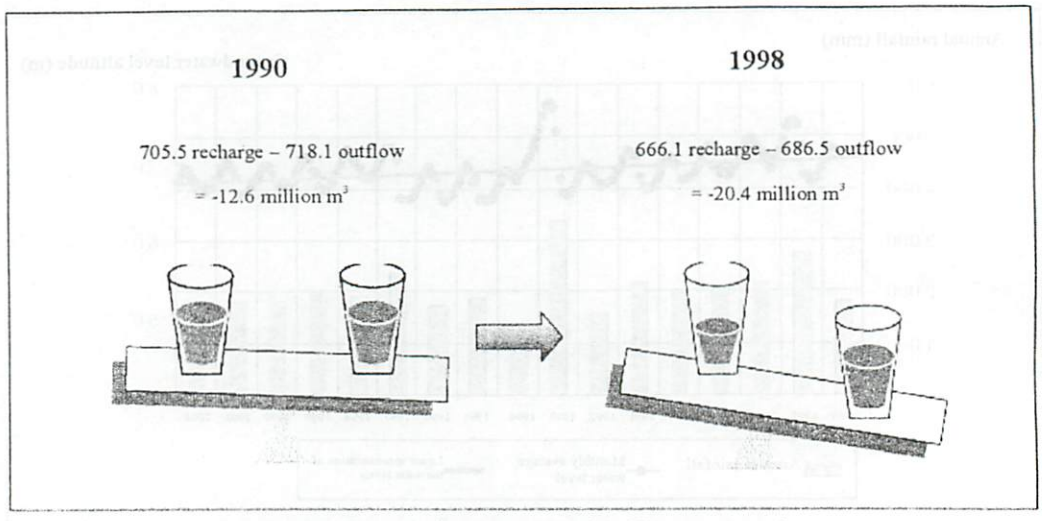


Fig. 8 "Balance" of groundwater of the Kumamoto region

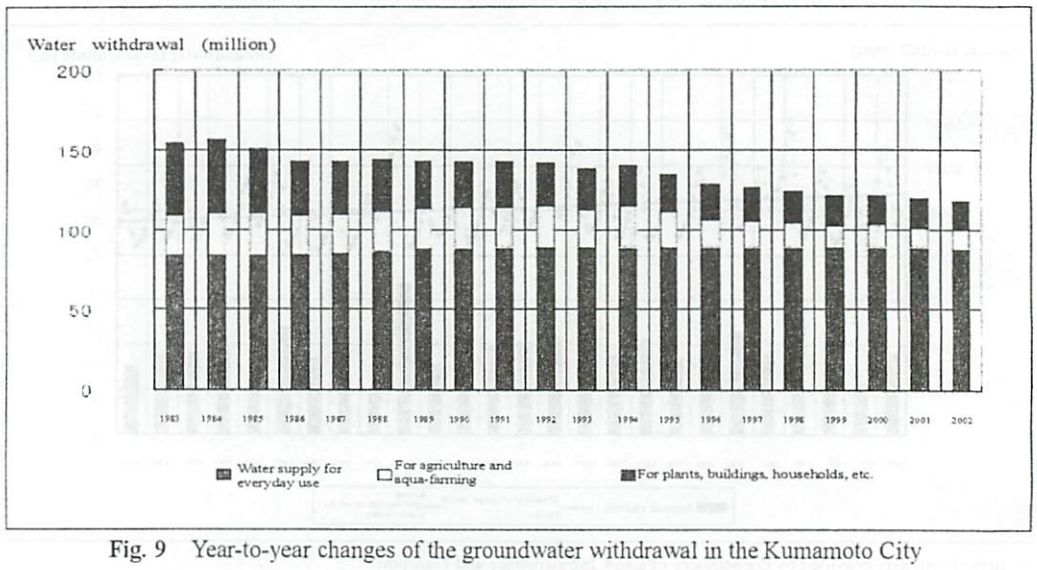


Fig. 9 Year-to-year changes of the groundwater withdrawal in the Kumamoto City

industrial and agricultural use. (**Fig. 9**) While, the water for everyday use has been occupying a larger share in the whole water consumption and now accounts for more than 70% of the whole consumption. Also, though the volume of everyday water consumed by a citizen each day has been either leveling off or slightly diminishing recently, it is still very large, at 254 liters in 2002 for instance. Compared to that of a Fukuoka City citizen (203 liters in the same year), an average Kumamoto citizen consumes more water. To reduce their water withdrawal, they need to reduce the water to use for everyday life.

The major reason to make the water balance being in the red is not the groundwater withdrawal but the decrease of groundwater recharge. **Table 1** show the comparison of the groundwater recharge rate depends on the type of land use. Paddy field works as the significant groundwater recharge source, while the urban land use such as homestead, building, and paved road works as very little recharge contribution compare to the farmland.

Fig. 10 shows the change of the urban land use area in the Kumamoto area during last 30 years. City population growth caused to expand the urban land use area so large and this has increased less infiltration area with urban land use replaced by the previous farm land. This recent land use change should be the major reason to decrease the groundwater recharge rate of the study area. The expansion of this urban land use was not only in the city of Kumamoto area, but also invaded into the marginal area of the Kumamoto city which worked as the recharge area of the No.2 aquifer. An especially notable case is the decline in the area covered by paddy rice field in the mid-stream area of the Shira River. **Fig. 11** shows the change of the non agricultural use area in the mid stream of Shira River from 1930 to present. Red collared non agricultural use land has been gradually expanding during last 70 years. In 2002, the green collared area is the paddy rice field and orange collared area is the vegetable field. Even in the farm land, the land use pattern has been changed from rice paddy field to dry vegetable field by the national policy to control rice production which does not need irrigation water for the growing season. As mentioned in the previous section III, the mid stream area of the Shira river is quite effective recharge area for

Table. 1 Volume of water recharged to the groundwater for different land uses type

	Water recharged to the reservoir	Area	Water recharged per 1km^2
Rice paddies in water-permeable soil	322.503 million m^3	84.820 km^2	3,802,000 m^3/km^2
Dry farming lands, forest, grass fields, etc. in permeable soil (excluding mountains)	287.736 million m^3	376.060 km^2	765,000 m^3/km^2
Mountains	91.134 million m^3	392.680 km^2	232,000 m^3/km^2
Total	701.373 million m^3	853.560 km^2	—

(Source) Comprehensive survey of groundwater in the Kumamoto region conducted by the Prefecture and Kumamoto City in 1994

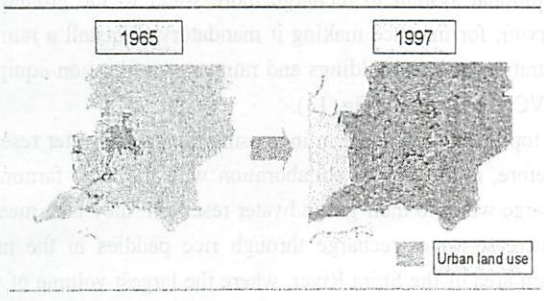


Fig. 10 Change of the urban land use area from 1965 to 1997 in the Kumamoto area.

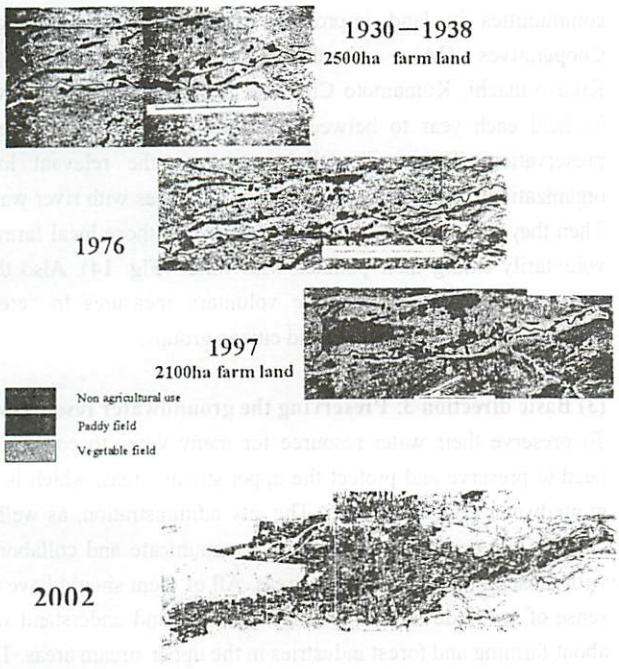


Fig. 11 The change of the non agricultural use area in the mid stream of Shira river from 1930 to present (Ichikawa, 2004)

the No.2 aquifer of this region. When the local farmer use this land as a paddy field, it was notorious to consume a lot of irrigation water because of leakage from the bottom of the paddy field. The average daily irrigation water leakage from the rice field is nearly 100 – 200 mm which is nearly 10 times bigger than that of the normal Japanese paddy rice field. This is caused by the coarse gravel layer deposited in this area. Although the high leakage is not good for the local farmer to produce rice, but it is good for the groundwater recharge of the region. About a half of the previous rice paddy field has been turned into residential land or the dry vegetable farming lands, which has reduced the volume of water recharged to the No.2 groundwater aquifer of this area. We believe this reduction has seriously affected the regional groundwater resources.

V. Integrated groundwater resources management

To preserve Kumamoto's abundant groundwater resources for their future generations, it is necessary to increase the recharging of water to the groundwater reservoir and reduce groundwater withdrawal, in order to preserve the groundwater reservoir in a reasonable condition considering the existing groundwater volume and the basic recognitions. Kumamoto prefecture government has to take specific measures to achieve these objectives. They have, therefore, defined the three directions listed **Fig. 12**, so they can take comprehensive and systematized measures. In addition, they have set a major target for each of the basic directions, considering their recognitions about the groundwater volume, to maximize the effect of the measures they take [3].

(1) Basic direction 1: Save water

To preserve this precious groundwater for future generations, the administration has to play a comprehensive and leading role. Still, since groundwater preservation involves many parties in many ways, the administration cannot play all the roles necessary. There is a limit to the role the administration alone can accomplish. Thus, the administration, citizens, and businesses should join hands and play their respective roles, with their respective initiatives, to carry out the plan to preserve and develop their groundwater.

To preserve the limited resource of water, we need to make "no wasting of water" regulations which every citizen has to observe. The portion of contribution made by a single citizen to water saving is small and hard to notice. To make water saving an established awareness of the citizens, the administration should not work alone. Rather, it should work with citizens, corporations, etc. and continuously try to increase and establish the save-water awareness. Therefore, it should be planned and proposed a system where citizens can recognize the importance of water, consider how to save water, and act accordingly, so that the efforts to save water can increase all over the city. At the same time, it is better to collaborate with schools and local organizations to let the local

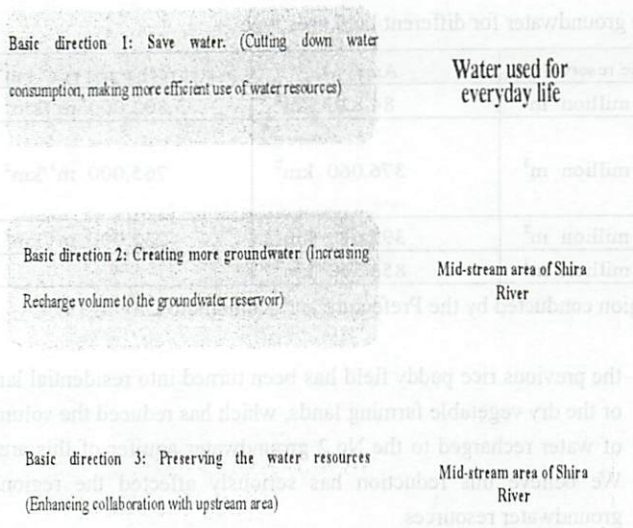


Fig. 12 Three major directions for the groundwater resources management.

They have set the following numerical goals of our efforts to be achieved by Year 2008.

Target figures	Target figures /To be achieved by	Current figure/Year
Increase in annual recharge to the groundwater reservoir (in 10,000m³)	3000 / 2008	- /2002
Reduction in annual groundwater withdrawal (in 10,000m³)	400 (1.13) / 2008	- (1.17) /2002
Consumption of water for everyday use by a citizen per day (in liter)	230/2008	254/2002

*The target figures in the increase in annual recharge to the reservoir are tentative figures, based on the supposition that an increase of 50 million m^3 is necessary for the whole Kumamoto region to restore the groundwater level stability of around 1985. Now, since Kumamoto City accounts for approximately 60% of the total water withdrawal of the region, the city should be responsible to boost up its annual recharge by 3,000 m^3.

communities start their efforts to raise citizens' awareness to save water and of their responsibility. Therefore, it is planned to install an organization, tentatively called the "Save-water Partnership Conference" in collaboration with "Eco Partner Kumamoto" and others organizing a citizens' movement to save water.

At the same time, they are in urgent need to begin reducing water wasting. Thus, they take specific and effective measures to reduce water wasting while at the same time raising the citizens' awareness to save water. Concurrently, they increase those tools and instruments that help citizens save water without conscious effort to do so, and consider institutional systems to facilitate water saving measures in buildings, etc. In addition, they will specify those devices and equipment that save water, and take other measures to spread such devices and equipment among houses and buildings newly built and remodeled.

(2) Basic direction 2: Creating more groundwater

Most of the water added to the reservoir comes as a byproduct from farming and forestry in the middle and upper stream areas of Rivers Shira and Midori. To increase this addition, it is crucial to preserve agriculture and forestry in those areas. At the same time, in those areas where there are both recharge to the groundwater and progress of urbanization, they need to take some effective measures to supplement for the loss in water recharge caused by urbanization, and strike a good balance between development and water reservoir preservation. They will set up some areas to recharge the water reserve within the urbanized districts, especially in the northeastern highlands. It is considered some institutional system to recharge more water to the groundwater reservoir, for instance making it mandatory to install a rainwater infiltration tank in buildings and rainwater infiltration equipment in PVC greenhouses (**Fig. 13**).

The top-priority measure in increasing the groundwater reservoir, therefore, is to work in collaboration with the local farming. To recharge water to their groundwater reservoir, they take measures to increase water recharge through rice paddies in the middle stream area of the Shira River, where the largest volume of water is recharged into the reservoir. More specifically, the "Conference to Utilize Rice Paddies for Groundwater Recharge along Middle Stream Shira River," a conference formed by the relevant local communities in land improving districts, Japan Agricultural Cooperatives (JA), and the governments of Ozu-machi, Kikuyo-machi, Kumamoto City, and Kumamoto Prefecture, will be held each year to between development and water reserve preservation. They will collaborate with the relevant local organizations to discuss plans to fill rice paddies with river water. Then they will provide financial assistance to those local farmers voluntarily filling their paddies with water (**Fig. 14**). Also they will consider how to promote voluntary measures to "create water" taken by corporations and citizen groups.

(3) Basic direction 3: Preserving the groundwater resources

To preserve their water resource for many years to come, they need to preserve and protect the upper stream areas, which is the groundwater recharging area. The city administration, as well as citizens and corporations, need to communicate and collaborate with those in the upper stream areas. All of them should have the sense of gratitude to the blessings of water, and understand well about farming and forest industries in the upper stream areas. This is because the big groundwater consumer lives in the city of Kumamoto and the groundwater recharge area in the middle and upper stream area belong to the different local government as shown in **Fig. 1**.

They, therefore, will provide assistance to the groundwater resource preservation efforts in the whole of the groundwater recharge area, through a foundation called the Kumamoto Groundwater Fund. In addition, they will provide assistance to those corporations, citizens, and other organizations communicating with the upper stream areas, for instance through voluntary activities, fellowship events of "trial farming", foods and agriculture, etc., so they can understand each other better and

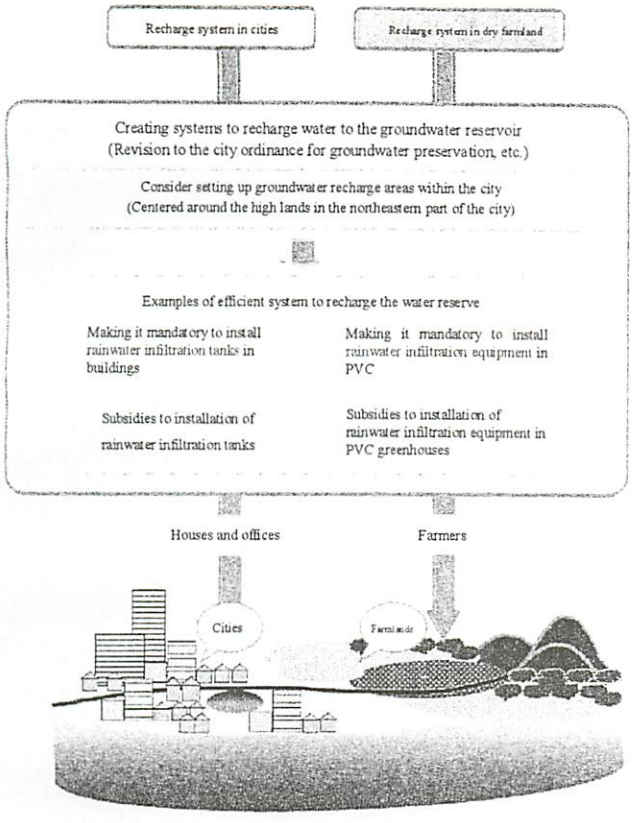


Fig. 13 Schematic view of groundwater recharge system in cities and dry farmland.

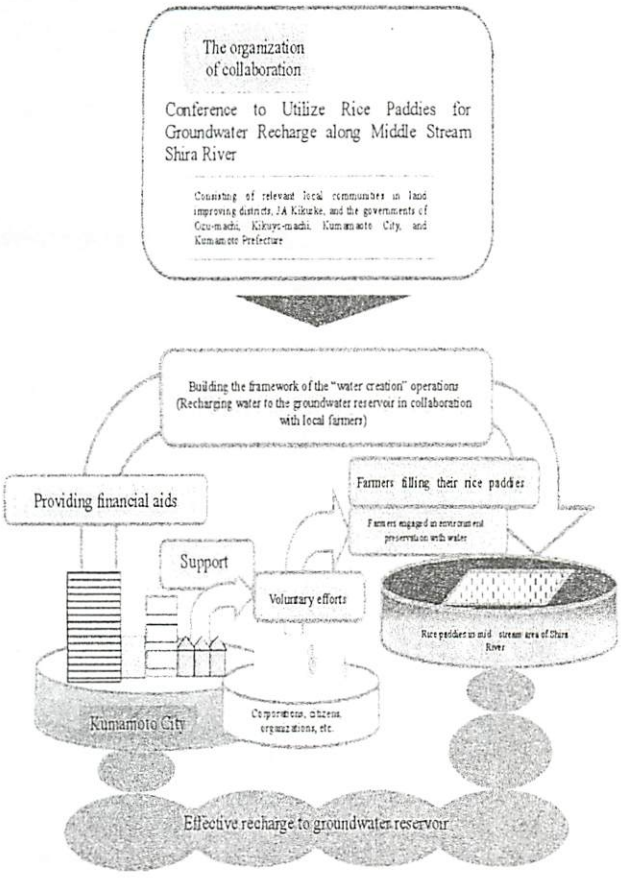


Fig. 14 Schematic view of the creation of groundwater resources through rice paddies.

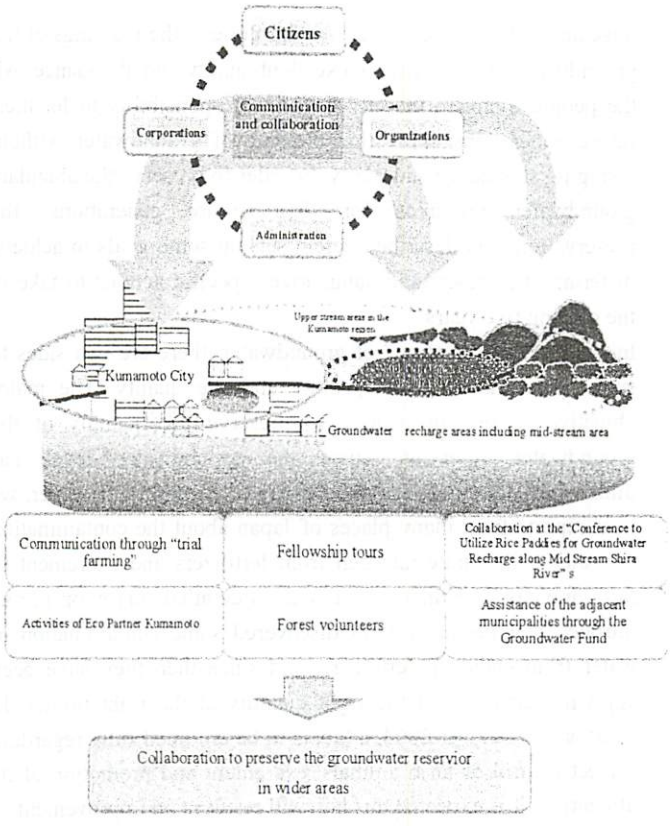


Fig. 15 Regional structure to preserve the groundwater reservoir.

work well together.

Especially with the rice paddies in the middle stream areas of the Shira River, they will build an organized collaboration system to conduct operations to recharge the reservoir, while promoting many kinds of fellowship activities such as "trial farming" among citizens, corporations, and other organizations (**Fig. 15**). They will enhance communication and collaborative activities with the upper stream areas, the groundwater recharge area, so that the citizens can learn more about farming and forest industries in those areas. They will promote communication among many different parties, needless to say including the adjacent administrative bodies, in order to take collaborative measures to preserve the groundwater reservoir for many years to come. The top priority is given to communication and collaboration with the middle stream areas of the Shira River [4].

VI. Concluding remarks

Kumamoto City is unique in that it depends on groundwater for the entire water supply for everyday use to its 670,000 citizens. No other city in Japan can say the same. Kumamoto's groundwater is also fed into many different industries as industrial water, and springs out of the ground surface to create Lake Ezu, a pond in the Suizenji Park, and other lovely water environment, where citizens can rest and relax. It is also notable that Kumamoto has never experienced a water stoppage or water supply restriction. The city has thrived with no need to build a water dam or an advanced water treatment plant, which requires a

huge amount of money. They owe all these to the blessings of the groundwater, which exists in excellent quality and abundance. All the people living in the city have the responsibility to let their future generations enjoy this blessing of groundwater without losing its abundance and purity. In order to preserve the abundant groundwater resources for their future generations, the preservation plan described herein sets up some goals to achieve in terms of numbers and summarizes specific actions to take in the coming five years.

In case of "preservation" of groundwater, there are two sides to such "preservation"; the quantity and the quality. The major objective of present plan is to preserve the quantity of the groundwater reservoir, since the groundwater level has diminished more than they had excepted. Recently, however, we hear reports from many places of Japan about the contamination of water with nitrate nitrogen from fertilizers and excrement of farm animals. In Kumamoto as well, a detailed survey on nitrate nitrogen that began in 1998 discovered some contamination of water from chemical fertilizers, and since then they have been applying fertilizers of the right quantity at the right timing. In addition, in October 2004, a law is to be enforced fully regarding correct control of farm animals' excrement and promotion of its utilization. It is expected this law will result in an improvement of the situation.

In order to maintain groundwater quality, it is planed to launch the activities listed below, in addition to all those measures they are already taking and will continue to take.

(1) Enhanced effort to reduce nitrate nitrogen
(2) Controlling newly-found contaminants
(3) Creating new institutions and providing more information

(原稿受付 2007 年 04 月 09 日)
(原稿受理 2007 年 05 月 30 日)

References

1) Ichikawa, T. (2004): The recent drawdown of groundwater discharge at Kumamoto area and the importance of mid stream area of River Shira. Proc. of Symp. on Healthy groundwater cycle from the aspect of quality and quantity sponsored by Jap. Ass. Groundwater Hydrology 2004. pp.21-28.
2) Kosaka, H. Shimada, J. and Sakamoto, M. (2002): The origin of the groundwater in the Kumamoto area by using the stable isotope ratio. Proc. of Annual meeting of Jap. Ass. Groundwater Hydrology, pp.140-143.
3) Kumamoto Prefecture & Kumamoto city (1995): Integrated groundwater survey report in Kumamoto area.122p.
4) Kumamoto city (2004): Kumamoto city's plan to preserve its groundwater reservoir 37p.

四万十・流域圏学会 第7回 学術研究発表会 プログラム

平成19年5月26日(土) 高知大学朝倉キャンパスメディアの森(付属図書館)6F メディアホール

9:00～　受付

9:25～9:30 **開会挨拶**(高知大学理学部長・川村和夫)　[司会進行:北条政司]

9:30～11:10 **企画セッション: 水の利用 -土佐の自然と地域産業-**　[コーディネーター:北條正司,司会:大年邦雄]

水をあやつる昆虫―アメンボの知恵と生態―
○原田哲夫(高知大学教育学部)

製紙業における水の利用について
○溝渕泰司(ニッポン高度紙工業)

酒造りと水の役割
○能勢晶(酔鯨酒造)

利水・治水と野中兼山
○小川俊夫(元小学校教諭)

よみがえった氷室のはなし
○宮川敏彦(氷室まつり実行委員)

11:10～11:20 休憩

11:20～12:00 **総会**

12:00～13:25 **昼食、ポスターセッション:(メディアホールロビー)**　[座長:大年邦雄]

P-1　高知県鏡川におけるアユの産卵場とその地形的特性
福留脩文、藤田真二、芳之内祐司、矢野孝幸(西日本科学技術研究所)

P-2　四万十川流域における山林保水力と流出負荷に関する研究
○山崎慎一(高知高専)、豊永真由(長岡技科大)、藤岡拓、大年邦雄(高知大学)

P-3　汽水域伏流水取水の淡水化事業の評価～香川県における適用を例として～
○梅津靖弘、村上雅博(高知工科大学)

P-4　高知工科大学の四万十川方式浄化システムの滞留時間の評価
○池巧、山本和弘、谷大介、宗石直樹、杉万祐一、村上雅博(高知工科大学)

P-5　絶滅危惧植物が生息する奥田川を対象とした流域住民の河川環境意識特性
○坪田恵美(高知工科大学大学院)、馬渕泰、村上雅博(高知工科大学)

P-6　物部川における広報活動向上のための環境教育プログラムの提案～ごみのない物部川に向けて～
○新家敏文(高知工科大学大学院)、渡邊法美(高知工科大学)

P-7　シンガポールとマレーシア・ジョホバルの国家水資源と都市流域水環境管理プロジェクト視察
○谷大介、梅津靖弘(高知工科大学)、Tamiru Fekaudu BIRRU(高知工科大学大学院)、工藤日和、宮嶋麻里(日本大学)、今富公太、前田志保、島村いづみ(山口大学)、正木一平(神戸大学)、柘植将之(群馬大学)、山敷庸亮(日本大学)、村上雅博(高知工科大学)

P-8　GROUNDWATER CONDITION IN ETHIOPIA
○Tamiru Fekaudu BIRRU(高知工科大学大学院)、村上雅博(高知工科大学)

P-9　西アフリカ乾燥地域における水をエントリーにした村落開発－PEPTACを参考にして－
○千頭麻子(高知工科大学大学院)、村上雅博(高知工科大学)

P-10 高知県の森林の再生に向けて
○斎藤由貴(社団法人高知県森と緑の会)

P-11 ロマン竹プロジェクト～みんなの竹ドーム～
○刈谷貴泉、立花大作、田渕健吾、渡邊法美(高知工科大学)

P-12 高知県の森林環境税を用いた森林保全活動に関する基本的考察
○井上雄太(高知工科大学大学院)、渡邊法美(高知工科大学)

P-13 高知県在住者におけるスギ花粉症発病危険度算出モデルの提案
○能勢順也(高知工科大学大学院)、渡邊法美(高知工科大学)

13:25～13:30 休憩・移動

13:30～14:20 **特別講演**「ホタル点滅の不思議―地球の奇跡―」　[座長:種田耕二]
○大場信義(横須賀市自然・人文博物館)

14:20～14:30 休憩

一般セッション講演(1)　[座長:宮崎利博]

14:30～14:50 高知県物部川における放流ウナギ2群の生残および成長過程
○立川賢一(流域総合研究会)、中島敏男(高知県水産試験場)

14:50～15:10 水収支式の空間表現に関する一考察～早明浦ダム流域を対象として～

○藤村和正(明星大学理工学部建築学科)、金谷隆平(フィット産業)

15:10～15:30 温暖化予測が可能な地域気候モデル TERC-RAMS による高知県で気象災害が多発した近年の気候再現
○西森基貴(農業環境技術研究所)、木村富士男(筑波大学生命環境科学研究所)、飯泉仁之直、横沢正幸(農業環境技術研究所)

15:30～15:50 風害対策に向けた可溶成分測定器の開発
○井上喬博(高知工科大学)

15:50～16:00 休憩

一般セッション講演(2) ［座長:西森基貴］

16:00～16:20 第四紀末の海水準変動からみたアジア・氾濫原沖積平野の地下水
○辻　和毅(不二グラウト工業株式会社)

16:20～16:40 黒尊川流域の地域活性化をめざした連携・協働による取り組み
○柏木喜代幸(四国森林管理局 四万十川森林環境保全ふれあいセンター)

16:40～17:00 フィールドミュージアムの展開におけるネットワーク組織の役割と課題
－幡多フィールドミュージアムを事例として－
○八木和美(法政大学大学院エコ地域デザイン研究所)

17:00～17:20 地域防災力の向上要因に関する研究
－高知県西南部豪雨災害被災地の事例からの一考察－
○三牧純子(京都大学・大学院)

17:20～17:30 休憩

17:30～18:00 **企画セッション: 四万十かいどう(四万十活性化小委員会)** ［コーディネーター:瀬戸口忠臣］
地域の文化を育む「四万十かいどう」＜趣旨＞
瀬戸口忠臣(JFE エンジニアリング(株))
風土調査について －西土佐村のフィールドワーク－
○園部理沙、福田倫子、橋尾直和(高知女子大学)
「四万十かいどう推進協議会」の取り組みについて
○三浦　治(四万十川広域観光推進協議会・事務局)

18:00～18:05 **閉会挨拶**〈本学会会長　今井嘉彦〉 ［司会進行:福永秦久］

18:30～20:00 **懇親会**(高知大学学生会館生協食堂イクス)

平成 19 年 5 月 27 日(日) 10:00～12:00
四万十・流域圏学会(第 7 回) ユースセッション フィールド・ツアー



●ホタルが生息する自然環境の観察（南国市奈路または高知市鏡川）

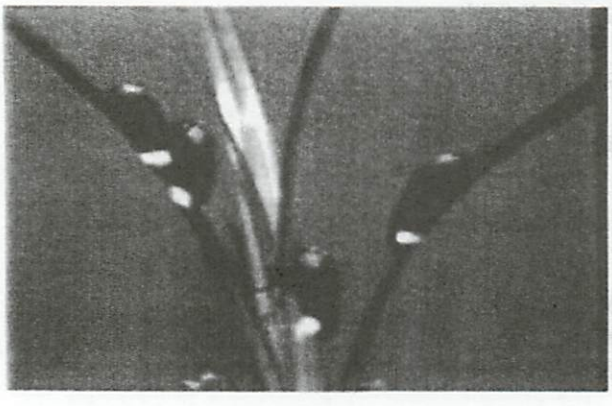
対象:小中学生（保護者および大会参加者も可）



講師はホタルの研究家、大場信義先生です。当日は、南国市奈路または高知市鏡川でカワニナを観察し、自然にふれていただく予定です。(当日の水況により変更になることがあります)なお、参加費は無料です。参加希望者は下記までお申し込みください。会場で 26 日に直接に申し込むことも可能です。

担当:石川妙子　TEL/FAX　088-850-1023、E-mail:n-river@kcb-net.ne.jp

集合時間・場所:　平成 19 年 5 月 27 日(日)　AM 10:00、奈路小学校正門前





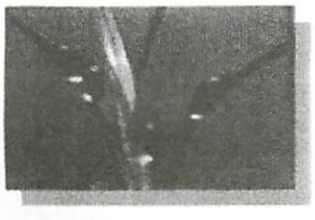
第7回 四万十・流域圏学会
ユースセッション フィールド・ツアー

ホタルが生息する自然環境の観察

【日時】平成19年5月27日（日） 午前10時～12時
（当日の水況および天候で中止になる場合もあります）
【場所】南国市奈路川
集合場所：奈路小学校正門前
【対象】小中学生（保護者および大会参加者も可）

・講師はホタルの研究家、大場信義先生（横須賀市自然・人文博物館元学芸員）です。
・当日は南国市奈路川で、ホタルのエサであるカワニナを観察し、自然にふれあっていただく予定です。
・川に入ったり、草むらを歩いたりします。当日は**長靴**をご持参下さい。
・なお、参加費は無料です。





参加申込先：四万十・流域圏学会ユース担当　石川妙子
TEL/FAX：088-850-1023　携帯電話：090-3783-0141
E-mail：n-river@kcb-net.ne.jp

四万十・流域圏学会会則

附則：平成１９年５月２６日から施行

第１章　総則

（名称）

第１条　本会は、四万十・流域圏学会（Japan Society of Shimanto Policy and Integrated River Basin Management）と称する。

（目的）

第２条　本会は、四万十川及び全国の流域圏を対象に、総合的・学際的調査研究及び学民産官連携による実践的取り組みを展開し、もって流域圏を単位とした自然重視の学際的な地域文化づくりの横断的な推進に資することを目的とする。

（事務局）

第３条　本会は、事務局を当分の間、高知工科大学社会システム工学科　村上研究室に置く。

（事業）

第４条　本会は、第２条の目的を達成するために次の事業を行う。

（１）講演会、研究発表会等の開催。
（２）学会誌、ニューズレター及びその他の刊行物の発行。
（３）四万十川流域における先駆モデル研究。
（４）四万十川流域と他流域との交流及び住民団体・研究者など多様な主体の交流を通じたネットワークづくり
（５）前各号のほか、本会の目的を達成するために必要な事業

第２章　会員に関する事項

（会員）

第５条　本会の会員は四万十・流域圏学に関心を持ち、本会の趣旨に賛同するものとし、正会員、学生会員、団体会員及び準会員をもって構成する。その他の会員については、理事会で決定する。

（１）正会員　　会費年額 5,000円を納める者。
（２）学生会員　大学学部学生・大学院学生・研究生で会費年額 2,500円を納める者。
（３）賛助会員　企業・団体で賛助会費（年額30,000円以上）を納める者。
（４）準会員（ジュニア会員）　小学生・中学生・高校生。会費は徴収しない。

（会員の権利）

第６条　正会員は、以下の権利を有する。なお、理事会の承認によって、学生会員、賛助会員及び準会員にも権利を付与することができる。

（１）調査研究成果を学会誌その他の刊行物または研究発表会において発表すること。
（２）本会が主催する研究発表会、講演会及び総会等に参加すること。
（３）本会の定期刊行物の無料配布を受けること。

（会費）

第７条　会員は、第５条に定める年会費を前納しなければならない。

２　既納の会費は、いかなる理由があっても返還しない。

（会員の入会）

第８条　会員になろうとするものは、入会申込書を提出し、理事会の承認を受けなければならない。

（会員の退会）

第９条　退会しようとするものは、退会届を提出しなければならない。この場合、未納のの会費があるときは、完納しなければならない。

2　理事会は、長期にわたって連絡のとれない会員を退会させることができる。

第３章　組織に関する事項

（役員）
第10条　本会には次の役員を置く。
（１）理事　２５名以内、うち会長１名、副会長３名以内とする。
（２）監事　２名。

（役員の選任）
第11条　理事及び監事は正会員の互選により、総会で決定する。
2　会長は、理事のうちから互選する。
3　副会長は、理事のうちから会長が指名する。
4　理事及び監事は、相互に兼ねることができない。

（役員の任期）
第12条　役員の任期は２年とし、再任を妨げない。
2　役員は任期満了となっても、後任者への事務引継ぎを終了するまでその職務を行う。
第13条　役員に欠員の生じたときは、後任を選任する。ただし、理事会でその必要がないと認めたときは、この限りでない。
2　補選された者の任期は、前任者の残任期間とする。

（役員の任務）
第14条　役員の任務は次のとおりとする。
（１）会長は、会務を総括し、本会を代表する。
（２）副会長は、会長を補佐し、会長に事故あるときはその職務を代行する。
（３）理事は、理事会を構成し、本会の運営に関する重要事項を審議する。
（４）監事は、本会の会計を監査する。

（総会）
第15条　総会は正会員をもって構成し、本会の最高決議機関として会の意志と方針を決定する。

（総会の開催）
第16条　通常総会は、毎年１回開催する。
第17条　臨時総会は次の場合に開催する。
（１）会長又は理事会が必要と認めたとき
（２）正会員の３分の１以上の者から請求があったとき
第18条　総会は、会長が招集し、議長となる。
第19条　総会の招集については、開催の２週間前までに、日時、場所及び会議に付議すべき事項を適当な方法によって会員に通知しなければならない。
第20条　総会は、正会員の５分の１以上の出席がなければ成立しない。ただし総会に出席できない正会員で、第１９条によって通知された事項の議決を他の出席会員に委任した者及び書面によって議決に参加した者は出席者とみなす。

（総会の議決）
第21条　総会の議決は出席者の過半数の同意による。可否同数のときは、議長の決するところによる。
第22条　総会では、次の事項を議決する。
（１）前年度の事業報告及び収支決算
（２）当該年度の事業計画及び予算案
（３）その他理事会が必要と認めた事項

（理事会）

第23条　理事会は、必要に応じて会長が招集する。
2　会長は、理事の過半数から請求があったときは、理事会を招集しなければならない。
3　理事会の議決は、出席者の過半数の同意をもって決定する。可否同数のときは、会長の決するところによる。
4　本会の運営を円滑に行うため、理事の中から代表幹事を選任し、幹事会を開くことができる。

（委員会）
第24条　本会は、必要に応じ委員会を組織することができる。委員会の規約は、別に定める。
2　各委員会は、理事会に委員会の活動状況について適宜報告し、また、本会の運営上特に必要であるとして理事会から諮問された事項について、答申しなければならない。
3　会長は、理事会の推薦を受け理事の中から委員長を任命する。
4　会長は、理事会の推薦を受け正会員の中から若干名を委員に任命する。

（支部及び部会）
第25条　本会は、必要に応じ支部及び部会を置くことができる。
2　支部及び部会の設置及び組織については、別に定める。

第４章　会計に関する事項

（会計）
第26条　本会の経費は、会費・助成金及び寄附金その他の収入をもってあてる。
第27条　本会に、一般会計のほか必要に応じて特別会計または基金をおくことができる。第
第28条　本会の会計年度は、４月１日から翌年３月３１日までとする。

第５章　会則の変更及び解散

（会則の改正）
第29条　この会則は、総会出席者（委任状及び書面による参加を含む）の３分の２以上の同意を得なければ、改正できない。

（会の解散）
第30条　本会は、総会出席者（委任状及び書面による参加を含む）の３分の２以上の同意がなければ、解散することができない。

第６章　その他の事項

（雑則）
第31条　この会則に定めるもののほか、学会の運営に関し必要な事項は理事会の議決を経て別に定める。

附則
1　この会則は、平成１３年２月８日から施行する。
2　本会の設立初年度の会計年度は、第２８条の規定にかかわらず設立の日より平成１４年４月３０日までとする。

附則
1　この会則は、平成１９年５月２６日から施行する
2　平成１９年度の会計年度は、第２８条の規定にかかわらず平成１９年５月１日から平成２０年３月３１日までとする。＜第４章第28条＞

四万十・流域圏学会役員体制

四万十・流域圏学会役員リスト
（平成１９年度）

会長

今井嘉彦	高知大学名誉教授	環境化学	県内

副会長

宇多高明	(財)土木技術研究センター審議役	土木工学	県外
宅間一之	高知県立歴史民俗資料館館長	民俗学	県内
福留脩文	西日本科学技術研究所所長	河川工学	県内

監事

北條正司	高知大学理学部教授	環境化学	県内
邑岡和昭	高知県環境研究センター総合環境科長	環境科学	県内

理事

池田　誠	東洋大学国際地域学部教授	社会システム	県外
石川妙子	水生生物研究家	生物学	県内
江渕倫将	高知県立小津高等学校教頭	教育学	県内
大年邦雄	高知大学農学部教授	防災工学	県内
坂本正夫	こうちミュージアムネットワーク会長	民俗学	県内
島谷幸宏	九州大学工学部地球環境工学科教授	土木工学	県外
陶山正憲	静岡大学名誉教授	森林環境工学	県外
瀬戸口忠臣	JFEエンジニアリング㈱顧問	土木工学	県外
西内燦夫	四万十川流域住民ネットワーク代表	流域圏学	県内
橋尾直和	高知女子大学文化学部准教授	言語学・方言学	県内
福田善乙	高知短期大学教授	経済学	県内
福永秦久	西日本科学技術研究所取締役	環境化学	県内
福元康文	高知大学農学部教授	蔬菜園芸学	県内
松田誠祐	高知大学名誉教授	水文学・河川工学	県内
松本聰	秋田県立大学生物資源科学部教授	応用生命科学	県外
宮崎利博	高知県土木部長	河川工学	県内
村上雅博	高知工科大学社会システム工学科教授	水資源・河川工学	県内
山﨑慎一	高知工業高等専門学校建設システム工学科助教授	衛生工学	県内

委員会

総務委員会	委員長　村上雅博
	委　員　各委員長＋代表幹事
	特　任　理事会担当補佐役（高知県文化環境部、清流・環境課）
財務委員会	委員長　福永秦久
編集・出版委員会	委員長　橋尾直和
表彰委員会	委員長　松田誠祐
企画委員会	委員長　石川妙子
代表幹事	石川　妙子（水生生物研究家）
	西内　燦夫（四万十川流域住民ネットワーク）
	橋尾　直和（高知女子大学文化学部）
	福永　秦久（西日本科学研究所（株））
	福元　康文（高知大学農学部）
	松田　誠祐（高知大学名誉教授）
	村上　雅博（高知工科大学。フロンティア工学教室）
	山﨑　慎一（高知工業高等専門学校・建設システム工学科）

四 万 十・流 域 圏 学 会
会 員 募 集 の 御 案 内

四万十川及び全国の流域圏を対象に、総合的・学際的調査研究と学民産官連携による実践的な取り組みを展開する「四万十・流域圏学会」(Japan Society of Shimanto Policy and Integrated River Management)が平成13年2月8日に設立されました。

毎年、高知の味自慢の一つである初鰹を御賞味いただけるベストシーズンの、5月末に総会・研究発表会と四万十川の現地見学会を予定し、2005年5月に第五回総会を終え、四万十・流域圏学会誌も第4巻2号まで刊行することができました。全国の流域圏と流域ネットワークをつくる方向で、四万十川から、土佐、全国、そして世界をみつめて、流域圏をキーワードに新しい学会の活動にふるって御参加下さい。

○学会の基本理念

1) 横断的・学際的な研究、現場に根ざした実践的な研究、住民と連携した取り組み(学民産官連携活動)を重視する。
2) 地域の学問から全国の横断的な流域圏のネットワークづくりと世界(国際交流・国際協力)へ向けての情報発信を行い、実際問題への適用をはかるために、学・官・民の研究者・技術者・地球市民との交流を促進する。
3) 次世代への展開(サスティナブル・シマント)と次世代をになう人材(若手を含む)の育成を重視する。

お問い合せ先

学会事務局本部:高知工科大学フロンティア工学教室 村上研究室
〒782-8502 高知県 香美市 土佐山田町 宮の口185
TEL:0887-57-2418, FAX:0887-57-24201, E-mail: murkami.masahiro@kochi-tech.ac.jp
理事会担当事務局:高知県文化環境部清流環境課 (高宮)
TEL:088-823-9795, FAX:088-823-9296, E-mail: masami_takamiya@ken2.pref.kochi.jp

P.S.

四万十・流域圏学会会則 抜粋

****

第2章 会員に関する事項

(会員)

第5条 本会の会員は四万十・流域圏学に関心を持ち、本会の趣旨に賛同するものとし、正会員、学生会員、団体会員及び準会員をもって構成する。その他の会員については、理事会で決定する。

(1) 正会員 会費年額 5,000円を納める者。
(2) 学生会員 大学学部学生・大学院学生・研究生で会費年額 2,500円を納める者。
(3) 賛助会員 企業・団体で賛助会費(年額30,000円以上)を納める者。
(4) 準会員(ジュニア会員) 小学生・中学生・高校生。会費は徴収しない。

会費振込先:

郵便振替 01670-7-3731 四万十・流域圏学会 または、銀行口座 四国銀行下知支店 普通預金0387519四万十・流域圏学会 会計 福永秦久

お願い: 領収書は発行いたしませんので、振込みの控えを保存して下さい。

****

会費の使われ方:

正会員・学生会員の会費は学会誌・ニューズレター・お知らせ等の印刷・郵送費等に、賛助会員の会費は小・中・高校生を対象としたユース(ジュニア)セッションの次世代人材育成プロジェクト活動資金に割り当てられています。

****

宛先： Fax.0887-57-2420 E-mail: murakami.masahiro@kochi-tech.ac.jp

入 会 申 込 書

四万十・流域圏学会・会長 様

平成　　年　　月　　日

氏名：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

住所：

連絡先住所（　自宅　・　勤務先　） 〒＿＿＿＿＿＿ Tel:＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿Fax:＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿ E-mail:＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿			
会員種別*	正会員　・　学生会員　・　賛助会員　・　準会員		
勤務先又は職業			
専門分野		生年月日	年　月　日

*会員種別については、該当するものを○で囲んで下さい。

備考覧

受付承認：　平成　　年　　月　　日

見 本

[四万十・流域圏学会誌　第??巻　第？号　???−???　200?]

ゴチック　16pt.

上辺マージン　23mm
右マージン　17mm

＜論　文（原著）＞

小規模河川の流量観測におけるドップラー式超音波流速センサーの簡易適用法

およそ 6mm

吉 田 正 則*　　村 上 敏 文*

ゴチック 11pt.

およそ 15mm

タイムズボールド 11pt.

A Simple Application of a Velocity Sensor based on the Doppler Effect of Ultrasonic Sound Waves for Measurement of Discharge from Small-scale River

およそ 6mm

およそ 4mm

Masanori YOSHIDA* and Toshifumi MURAKAMI*

* National Agricultural Research Center for Western Region, 2575 Ikanochou, Zentsuji City, Kagawa 765-0053, Japan

タイムズボールド，10pt.

タイムズ　9pt.

タイムズ　9pt.

タイムズボールド，9pt.

Abstract

A hydrometry of small-scale river using a velocity sensor based on the Doppler effect of ultrasonic sound waves was discussed. Cross-sectionally averaged stream velocity was estimated from velocity measured by the sensor. Then, discharge data including storm runoff were obtained safely and accurately, by the way of multiplying the cross-sectionally averaged stream velocity by cross-sectional area of flow estimated from water level. In addition, the hydrometry using the sensor was revealed to have advantages as follows: 1) settlement of the sensor in a river is authorized easily, 2) cost spent on equipment and the settlement is low, 3) frequent and automatic measurement is available. From above results, the hydrometry using the sensor is concluded to be worth utilizing for a long-term monitoring system to evaluate discharge and pollution load from small-scale river located on agricultural watershed in hilly and mountainous region.

10mm

10mm

タイムズボールド　9pt.

行あける

Key words : ultrasonic sound wave, the Doppler effect, agricultural watershed, stream velocity, storm runoff

およそ 11mm

1 行 25 字，1 ページ 56 行

明朝 9pt.（段落　行間・固定、間隔 13pt）

1．はじめに

ゴチック 9pt.

河川流量の実測データの取得は，農業集水域から発生する環境汚濁負荷量などを算定する際に欠かせない要素となっている[1,2]。しかし，流量せき法[3]や流速計による手計測 1 点法[4]など従来からの方法を用いた場合，高額の工事経費や河川管理者からの設置許可が必要なこと（前者），あるいは観測者の現地不在によるデータの断片性や観測者が洪水に巻き込まれる危険性があること（後者）などの理由から，連続的な流量データを任意河川で簡易に得ることは必ずしも容易ではなかった。このことは，河川管理者等による定期観測体制を持たない川幅 10m 程度の小規模河川（中山間農業集水域に多い）においてとりわけ大きな課題であったように思われる。

以上のことから，本センサーがもつ特質を活かすことにより，従来法が抱える問題点のいくつかを克服できる可能性が考えられた。そこで本研究では，自動採水装置などとの一体的運用が可能で，入手および取り扱いが容易な上記センサーを例にとり，現地河川への設置方法や流量観測法，得られたデータの特徴とその処理法などについて検討を行ったので報告する。

13mm

2．観測地点の概要と調査方法

ゴチック 9pt. 1 字下げる

2.1　観測地点の概要

今回観測を行ったのは，高知県四万十川流域内の農業集水域（集水面積 814ha，1993〜1996 年の平均年間降水量 2874mm）を流れる Y 川の末端部である。その河道幅は 11m，河床最深部から川岸までの高さは左岸，右岸とも 3m である。観測地点の選定は，流路が上・下流側とも 100m 程度にわたって直線的であること，大きな岩礫による狭窄や屈曲が存在しないこと，河床勾配の急激な変化が認められないことなどを条件に行った。

流れの特徴としては，右岸側に幅約 2m の砂礫堆があるため流心が河道中央よりやや左岸側に位置すること（平水時）や，観測地点の下流約 100m 地点で合流する H 川の水位上昇の影響をうけて，Y 川の水はけがやや滞る傾向がみられること（洪水時）などがある。なお本報では，豪雨による流量の増加が見込まれる 2000 年 5 月から同年 10 月にかけての 6 ヶ月間を中心にデータの整理を行った。

2.2　河道横断面形状の測量

ゴチック 9pt.

それぞれの区分 i（i は区分点番号を示す）の幅 d_i，その中点の水深 h_i，および h_i 測線上の深さ方向平均流速点の流速 V_p^i（下付き添字 p は手計測の意）を測定した。

* 近畿中国四国農業研究センター傾斜地基盤部　〒765-0053　香川県善通寺市生野町 2575

左マージン 17mm，下辺マージン 23mm

また，このときの流水横断面積 A_p と断面平均流速 V_p^m（流水横断面内流速分布の平均値，上付き添字 m は断面平均の意）は，次式により求めた。

$$A_p = \sum_{i=1}^{n} d_i h_i \quad (1)$$

$$V_p^m = \frac{1}{A_p} \sum_{i=1}^{n} V_p^i d_i h_i \quad (2)$$

2字下げる　1字左へ下げる　タイムズボールド 13級，9pt.

Fig. 4 は，手計測法による 10 回の観測のうち最大の V_p^s を記録した 2000 年 8 月 1 日 12:00 の V_p^i，V_p^m，および V_s を，河床横断面形状，深さ方向平均流速点（×），センサー設置位置，センサー感知幅（模式的）などとともに示したものである。河床最深部（水平距離 9m 地点）のセンサー位置における V_s が，それに対応する V_p^i の値にほぼ一致していることがわかる。

10 回の V_p^i の横断面分布をみると（**Fig. 5**），V_p^i の最大値が，6 月 6 日を除くすべての日時でセンサー設置位置（水平距離 9m）を挟む±1m の範囲内に収まっていることがわかる。これらのことから，河床最深部を目途に定めたセンサー設置位置が，V_s の測定位置として妥当なものであったことが確認できる。

このように本観測地点では，河床最深部と深さ方向平均流速の最大位置がほぼ一致していたため，センサーの位置決めは容

よび流量の測定結果

Fig. 6 (a), (b), (c) に，水位，流水横断面積，センサー設置位置流速のそれぞれに関する手計測法全 10 回の測定値と，その手計測とほぼ同時に観測されたセンサー法測定値（流水横断面積は推定値）との比較結果を示す。いずれの図も，センサー法の測定結果が手計測法のそれによく対応しており，センサー法による水位，流水横断面積，流速の測定結果が妥当なものであることを示している。特に **Fig. 6 (c)** において V_s が V_p^s に一致したことは，V_s 値が深さ方向平均流速として信頼できるものであることを裏付けている。しかし V_s 値が，センサー設置位置の両側 1m 地点の V_p^i 値とは明らかに方向平均流速を与えるに過ぎなかったことから，Q_s を V_s の関数として表わすためには，V_s と V_s^m の関係を明らかにしておく必要があると考えられた。そこでまず，手計測とほぼ同時に観測された V_s と，その手計測結果をもとに(2)式で求めた V_p^m の関係をプロットしたのが **Fig. 7**，○印である。その結果，両者のあいだには，ある一意の関係が存在することが推察された。そこで両者の関係を，V_s を独立変数とする二次の多項式で近似することにし，さらに，その式から計算される値を V_s^m と仮定すると，つぎのような経験式を導くことができる（r^2=0.938）。

$$V_s^m = 0.344 V_s + 0.121 V_s^2 \quad (4)$$

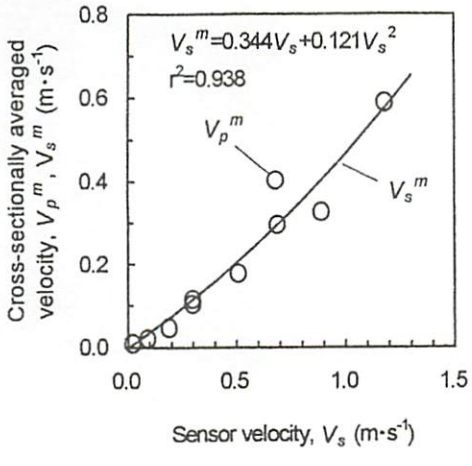


Fig. 7 Relationship between sensor velocity and cross-sectionally averaged velocity derived from manual measurement (O), and regression curve of cross-sectionally averaged velocity as a function of the sensor velocity (—)

図表は上段か下段につける

5．おわりに

以上，ドップラー式超音波流速センサーによる河川流量測定法の概要を，現地河川への適用事例をもとに述べた。今後は，本報で紹介したセンサー法が河川の水質管理や流域環境保全などの方面で広く活用されることを期待し，センサー法の精度向上や運用方法の改善に向け検討を進めていく予定である。

謝　辞

本研究を実施するにあたり，ご指導をいただいた中央農業総合研究センターの藤原伸介氏，森林総合研究所の吉永秀一郎氏ならびに関係各位，現地調査でご支援をいただいた高知県土木事務所と自治体関係の皆様，畜産草地研究所の山本　博氏，(株)日科機バイオスの竹田敏之氏，(株)日進機械の高橋好弘氏に深く感謝の意を表します。なお本研究は，環境省公害防止研究の一環として行われたことを付記する。

（原稿受付　200?年??月??日）
（原稿受理　200?年??月??日）

ゴチック 8 pt.

引用文献

1) 黒田久雄（1997）非灌漑期農業地区からの NO_3-N 日流出負荷量の検討－流出負荷予測タンクモデルに関する研究（II）－，農土論集，189，51-58.

2) 中曽根英雄，黒田久雄，茂木真司（1997）水田灌漑がなされている小集水域の L－Q 式の問題点と期別区分による改善，農土論集，190，71-76.

3) 石原藤次郎，森　忠次（1965）新版測量学応用編，pp. 251-310，丸善，東京.

4) Kuraji K and Kowit P (2000) Hydro-meteorological research and its application to watershed management for solving local conflict over water in Mae Tia watershed, Northern Thailand. Proceedings of the Fresh Perspectives on Hydrology and Water Resources in Southeast Asia and the Pacific, Christchurch, New Zealand, pp.189-196

編 集 後 記

第6巻第2号が，やっとのことで発刊の運びとなりました。

招待講演論文の「ホタル点滅の不思議－地球の奇跡」は，蛍がなぜ光るのか？光方は異なるのか？光に方言があるのか？光のコミュニケーションとは？熱帯の蛍の生態は？などの「蛍の不思議」に対する疑問に答えてくれる，大変興味をそそられる論文でした。本学会第 7 回学術研究発表会において特別講演をお引き受けくださった，横須賀市自然・人文博物館の大場信義氏による論考です。

解説では，「高知県の森林の再生に向けて」と題して，社団法人高知県森と緑の会の「緑の募金」による森林整備や緑化事業の取り組みについて掲載しました。

論文では，四万十川方式水処理技術が，中華人民共和国・台湾における水環境問題にとって有効性があるのかどうか検討した調査研究の結果について述べている「中華人民共和国・台湾の水環境問題における四万十川方式水処理技術の有用性」，鏡川におけるアユの産卵場の位置，規模などの実態と問題点について述べている「高知県鏡川におけるアユの産卵場とその地形的特性」，ベトナム南部のナムボ平野の地下水利用と保全について述べている「アジアモンスーン地域・氾濫原沖積平野の地下水利用と保全政策－（その 4 ）海水進入と残留塩類による水質劣化に直面する沖積平野－」，その他，日本の戦後の高度経済成長期に洪水管理，水質管理，水需要管理の視点から緊急に必要となった水系インフラ整備プロセスを分析した論文，阿蘇山西部の地下資源の管理と政策に関する論文（いずれも英文）などを掲載しました。

いずれも，流域圏の活性化に向けて行ったフィールドワークに裏付けられた理論を構築・展開した論文です。実用性を明らかにするには，まず綿密なフィールドワークを実施して，具体的なデータを示すことである，ということを再認識させられた次第です。

（橋尾直和）

We Love "SHIMANTO"



2007.5

■発　行　四万十・流域圏学会
Japan Society of Shimanto
Policy and Integrated River
Basin Management
URL:http://www.lab.kochi-tech.ac.jp/shimanto/

■事務局　高知工科大学 フロンティア工学コース 村上研究室
〒782-0003 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185
TEL:0887-57-2418　FAX:0887-57-2420
E-mail:murakami.masahiro@kochi-tech.ac.jp