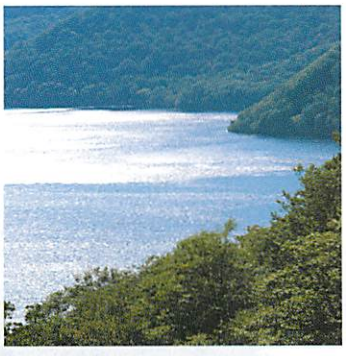
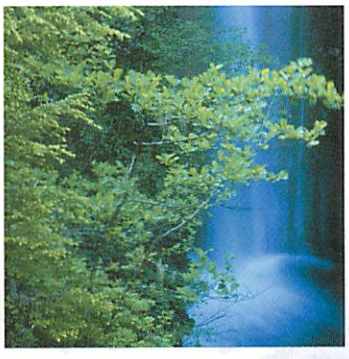
四万十・流域圏学会誌

第7巻　第1号

We Love "SHIMANTO"

2007
December

四万十・流域圏学会誌　第７巻 第１号（2007年12月）

目　　次

巻頭言

理想の郷

宅間一之（高知県立歴史民俗資料館）……1

招待講演要旨

ほたるの不思議・地球の奇跡

大場信義（大場蛍研究所）……3

論文（原著）

水生植物を植栽した溜池の水質浄化に果たすオタマジャクシの役割

林 紀男（千葉県立中央博物館)*、稲森隆平（福島大学理工学群)**、蛯江美孝（(独)国立環境研究所)***、稲森悠平（福島大学理工学群)**……7

Applicability of Japanese-style Basin Management Systems to Bangkok, Thailand ~ *Water-related Infrastructure Building Model Creation for Asian Cities under Rapid Urbanization* ~

Jun MATSUSHITA (Shibaura Institute of Technology)…… 13

解説論文

「エコロジカル・サニテーション」と「バイオトイレ」　*～大規模・集中から小規模・分散システムへの政策転換の意義～*

村上雅博（高知工科大学）……23

調査論文 ： ユースセッション

空芯菜を用いた２次生産型水質浄化農業の研究

愛媛県立北宇和高等学校　生産食品科　草花専攻班…… 29

調査報告

四万十材木造住宅

大原泰輔（大原計画研究所）…… 35

物部川と野市小学校の環境教育　*～やってみる！感じる！つなげる！のいちの子～*

野市小学校……39

報告

「焼畑サミット in 高知」の開催

橋尾直和(高知女子大学)……47

「四万十かいどう」が「日本風景街道」に登録される

橋尾直和(高知女子大学)……49

お知らせ

四万十・流域圏学会 第８回総会・学術研究発表会(2008)のご案内……51

添付

四万十・流域圏学会・会則……57

四万十・流域圏学会・役員リスト……60

四万十・流域圏学会・委員会……61

会員募集のご案内……62

入会申込書……63

四万十・流域圏学会誌・執筆要領（サンプル）…64

編集後記……66

[四万十・流域圏学会誌　第7巻　第1号　01-01　2007]

巻頭言

理想の郷

宅間　一之*

2001年9月，NHKスペシャル「日本人はるかな旅」第2集「巨大噴火に消えた黒潮の民」が放映された。その時ふとどこかで見た風景が飛び込んできた。そこが四万十川の支流椿原川に沿う幡多郡大正町木屋ケ内であることは白いスーパーで納得した。テーマはそこで発掘された円筒形の磨製石斧である。「この石斧は紛れもなく南九州で生まれたもの。彼らの持つ貝殻文様の土器も他の縄文土器とともに発見された。このことは海をこえて移動してきた黒潮の民がこの地の人たちと交わりあって暮らしたことを物語る」と言う。続いて和歌山県打田町出土のものも紹介され，「南九州で独自の文化を築いた人たちは，高度の航海術と森を切り開く道具を携え，黒潮に乗って東へ東へと散らばっていった」とナレーションは続いた。

同番組解説の小田静夫氏（東京都教育庁生涯学習部文化課主任・学芸員）は著書*でも，鬼界カルデラの大噴火は南九州の縄文文化を壊滅させた。南九州の縄文早期人の一部は，陸路九州中北部へ避難，一方海人集団の一部は，対馬海流に乗って西九州沿岸や日本海側に，黒潮に乗った集団は四国から紀伊半島，そして太平洋沿岸から伊豆諸島まで逃れたとする。円筒形磨製石斧が黒潮の流れに沿うように高知，和歌山，東京そして八丈島にまでおよび，また南九州発祥の燻製施設「連結土坑」も三重，愛知，静岡へと伝播していることを根拠に，「黒潮は海のコンベアーの役割を果たし，海産植物や陸上生物の拡散分布に役だっただけでなく，海上の路となって，先史時代以来多くの南方的要素をもたらしたことは確か」とする。木屋ケ内縄文人は南九州縄文人といかに交わり，彼らの持ってきた高度な技術がいかなる影響を及ぼしたろう。

四万十川流域には多くの縄文遺跡が広がる。縄文遺跡は県西部に集中するが，良好な河岸段丘を構成している四万十川とその支流域には特に多く，県教育委員会も44カ所を確認している*。発掘調査された遺跡は少ないが，採集遺物から見て早期から前期，後期の遺跡が多く中期と晩期は少ない。その中でも，山間部のオープンサイトとして早くから注目されていた遺跡に十川駄馬崎遺跡があった。昭和57(1982)年から4次にわたる調査が行なわれ，F区5層から豆粒文と隆起線文を併せ持つ土器片が発見された。この種の土器は縄文草創期の中でも古く位置づけられる土器群であり，県下初例で話題をさらった。またE区6層出土の大小2本の尖頭器も注目された。大型のものは県内最大の尖頭器で，全長19.2 cm，最大幅3.3 cm，最大部の厚さ1 cmである 。流紋岩製で両面より丁寧な押圧剥離により調整されている。これは岩石を周辺から入念に押し欠く技法で，石面が薄くはぎ取られ，美しく仕上がる精巧な造りとなる。もう一本は香川県金山産のサヌカイト製で，全長8.8 cm，最大幅1.9 cm，厚さ1 cmのものである。はるか遠方より物々交換により運ばれてきたものであろう。かなりの風化は使用痕も含めてであろうか。ともに縄文人たちの狩猟にかける思いが伝わる。ともあれ十川駄馬崎遺跡出土の縄文最古の土器と石器は，四万十川流域の縄文文化のすばらしさの証でもある。

12,000年以前の縄文草創期，それも早い時期の十川駄馬崎の縄文人，少し遅れて黒潮の民と交わった木屋ケ内の縄文人達，彼らにとって四万十川流域の自然は，豊かで理想の郷であったろう。山深い山間であっても，流域に沿う縄文遺跡の多さがそれを物語る。

残された遺物は小さく寡黙ではあるが，実に緻密に環境や技術を知らせ，壮大な歴史を教える。遺跡のある風景は歴史を実感させ，現代に語りかけ心躍る情報を与え，その土地の新しい意味を発見させて未来を考えさせる 。

参考資料

*小田静夫　「石斧のひろがりー黒潮文化圏ー」　『日本人はるかな旅』　日本放送協会出版会　2001年9月
*高知県教育委員会　『十川駄馬崎遺跡発掘調査報告書』　1991年3月

*　高知県立歴史民俗資料館・館長　〒783-0044　南国市岡豊（おこう）町八幡1099-1

[四万十・流域圏学会誌　第7巻　第1号　3-6　2007]

＜招待講演要旨＞

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

2.1 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。

2.2 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。

2.3 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湯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。

2.4 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。

2.5 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。

2.6 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

*　大場蛍研究所　〒239-0801 神奈川県横須賀市馬堀海岸 4-1-12-204

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個ず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。

2.7 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

3.1 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

一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。

3.2 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。

3.3 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。

3.4 「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。

第７回 四万十・流域圏学会・学術研究発表会「特別講演」
平成 19 年 5 月 26 日（土）高知大学

講師：大場信義（おおばのぶよし） プロフィール

1945年　鎌倉生まれ

企業の基礎研究所、公立中学校教諭を経て1975年に横須賀市博物館学芸員となる。

博物館初代館長であり、発光生物の世界的研究者である故羽根田弥太博士に師事して発光生物、特にホタルの研究を行う。

1983年に「日本産ホタルのコミュニケーション・システムの研究」で京都大学より理学博士の学位を授与される。

2006年　同館を定年退職

現在

横須賀市自然・人文博物館研究員（非常勤）
独立行政法人　産業技術総合研究所客員研究員
中国科学院昆明動物研究所客員教授
国立歴史民俗博物館共同研究員
横須賀市長井海の手公園ホタル館顧問
全国ホタル研究会名誉会長

現在の研究テーマはホタルを様々な側面（個体から分子レベルまで）から研究し、ホタルの進化の不思議を解き明かすことである。こうした研究を基盤としながら、自然科学のおもしろさ・楽しさを博物館の教育活動などを通して次代に伝えたい。また、ホタルを通した豊かな人里の保全・再生を実践し、生き物との触れ合える環境を創出することが夢である。中国科学院とのホタルの進化に関わる共同研究は６年目となり、今年度から継続して文部科学省国際学術研究が採択され開始。

著　書

中根猛彦・大場信義 1981. ホタルの観察と飼育. 121ページ. ニュー・サイエンス社
大場信義 1986　ホタルのコミュニーケーション. 241ページ. 東海大学出版会.
大場信義 1988　ゲンジボタル　　文一総合出版
大場信義1996. 森の新聞４　ホタルの里. 55ページ. フレーベル館（産経児童出版文化賞受賞）.
大場信義1997.　図解親子で楽しむホタルが先生ぼくらの環境学校. おもしろ選書15：78ページ. ハート出版
大場信義　1999.　驚異の世界−ホタル擬態　擬態　だましあいの進化論<1>.　上田恵介編著：50-61. 共立出版.
大場信義1997.　ホタルの点滅の秘密を解きあかす. 虫たちが いて, ぼくがいた：6-16.　中嶋康裕・沼田英治　共編. 海遊舎
大場信義　1999.　ホタルの生息環境. ビオトープの構造−ハビタット・エコロジー入門−, 杉山恵一・福留郁文　編：40-61. 朝倉書店
大場信義　2003.　ホタルの木.　どうぶつ社.
大場信義 2004. ホタル復活大作戦：199ページ. 合同出版, 東京.
大場信義 2004. ホタル点滅の不思議―地球の奇跡：199ページ. 横須賀市自然・人文博物館

以上の他、原著論文多数。

調査対象地　日本列島、特に南西諸島、韓国、台湾、マレーシア、タイランド、シンガポール、インドネシア、ニュージランド（文部省国際学術研究）、パプア・ニューギニア、アメリカ・フイージ・スリランカ・ブラジル・米国などでホタルの調査を行なっている。

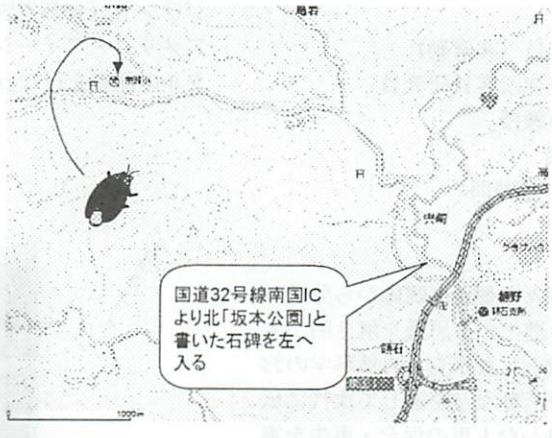
第7回 四万十・流域圏学会

ユースセッション フィールド・ツアー

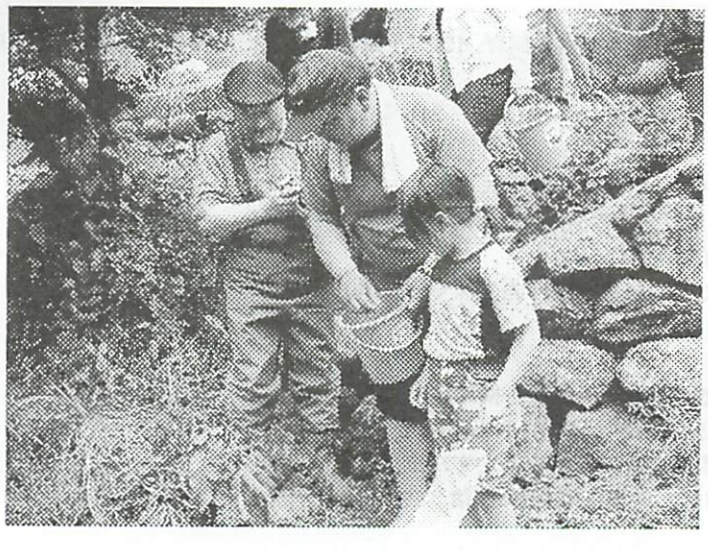
ホタルが生息する自然環境の観察

【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・流域圏学会誌　第７巻　第１号　　7-12　　2007]

＜論　文（原著）＞

水生植物を植栽した溜池の水質浄化に果たすオタマジャクシの役割

林紀男 * 稲森隆平 ** 蛯江美孝 *** 稲森悠平 **

Role of tadpoles for water purification in pond with aquatic plants

Norio Hayashi*, Ryuhei Inamori, Yoshitaka Ebie***, Yuhei Inamori****

* Natural History Museum and Institute, Chiba, 955-2 Aoba-cho, Chuo-ku, Chiba-shi, Chiba-ken 260-8682, Japan

** Faculty of Symbiotic System Sciences, Fukusima University, 1 kanayagawa, Fukushima 960-1296, Japan

*** Research Center for Material Cycles and Waste Management, National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken 305-8506, Japan

Abstract

The biota and characteristics of nitrogen / phosphorus removal had been investigated 5 years at water purification facilities using aquatic plants. Aquatic plants supplied niches to many kinds of aquatic animals such as aquatic insects, amphibian, reptiles and birds. These aquatic animals play important roles for nutrients removal through their life histories. Generally the contribution of these aquatic animals appearing at water purification facilities using aquatic plants was considered with under estimation. We try to estimate the roles and contribution of tadpoles for nutrients removal at water purification facilities using aquatic plants.

The total yearly removal amounts of nitrogen and phosphorus from water purification facilities located at Kochi were analyzed as 22,800 g and 1,800 g, respectively. The ratios of physical precipitation were estimated as 23.8 % for nitrogen and 40.2% for phosphorus. Stay in plant bodies as absorbed nutrients at facilities was estimated as 8.2 % for nitrogen and 16.1 % for phosphorus. Harvested nutrients with algae as maintenance was also estimated as 17.9 % for nitrogen and 31.1 % for phosphorus. The contribution of tadpoles such as *Rana rugosa* , *Rana nigromaculata*, *Rana ornativentris* and *Hyla japonica* through their life history such as emerge or preyed from natural enemy was evaluated as 4.7 % for nitrogen and 4.9 % for phosphorus.

Key words : tadpole, frog, aquatic plant, purification, nitrogen, phosphorus, removal

要　旨

水生植物植栽浄化法による実証試験において、窒素・リン除去の機構を検証した。面積 140m^2 の実験池に沈水植物のササバモ、セキショウモ、浮葉植物のオヒルムシロ、抽水植物のツルヨシなどを実験池周りの自然環境から移植して農業集落排水処理施設の処理水を導入し、水質浄化特性および生物相を５年間継続調査した。本法における植栽植物は、浮遊生物、付着生物のみならず、ユスリカやトンボなど水生昆虫の幼虫や、カエルなど両生類、これらを捕食しに参集するヘビ類や鳥類に至るまで多様な生物の生息空間を確保し、場の生物多様性を高める上で大きな役割を果たすことを明らかにすることができた。これら水生植物の植栽により創出されたニッチに誘因・定着する水生動物は、それぞれの生活史を通じて窒素・リンの系外排除に貢献しており、個体としての除去量は些少ながら生物群としては窒素・リン除去への貢献度が過小評価されてきたと考えられる。そこで本報では、同法におけるオタマジャクシ類の貢献度の評価を試みた。

本実験池における年間の除去量は窒素 22,800g、リン 1,800g と評価された。この内、物理的な沈殿などにより池底質に留まる比率が窒素 23.8%、リン 40.2%、植物に吸収され植物体として池内に留まる比率が窒素 8.2%、リン 16.1%、池の維持管理のため藻体として人為的に系外排除される比率が窒素 17.9%、リン 31.1% と見積もられた。また、実験池に出現したオタマジャクシに着目し、その変態・陸生化にともなう窒素・リン系外排除に果たす貢献度を試算したところ、ツチガエル (*Rana rugosa*)、トノサマガエル (*Rana nigromaculata*)、ヤマアカガエル (*Rana ornativentris*)、ニホンアマガエル (*Hyla japonica*) の４種を総計して、窒素 1,080g・リン 88g がこれら４種のオタマジャクシ変態・陸生化による窒素・リンの系外排除貢献量と推察された。この推定量は、総浄化量に対して窒素で 4.7%、リンで 4.9% に相当する量であった。

*　千葉県立中央博物館環境科学研究科　〒 260-8682　千葉県千葉市中央区青葉町 955-2

**　福島大学理工学群共生システム理工学類　〒 960-1296　福島県福島市金谷川 1

***　独立行政法人国立環境研究所循環型社会形成推進・廃棄物研究センター　〒 305-8506　茨城県つくば市小野川 16-2

1. はじめに

生態工学を活用した環境修復技術[1]は、環境負荷が小さく、消費エネルギーを抑制可能な持続可能な浄化手法として近年注目を集めている[2]。このような生態工学手法の中で水生植物植栽浄化法は、水生植物を植栽し、その植物が生長に資するために吸収する窒素・リンを植物体の刈り取り除去により浄化することを基本原理とする浄化法である[3]。湿地の水質浄化機能を有効活用することを応用した水生植物植栽浄化法についてはさまざまな研究[4]がなされ、フロート式水耕栽培浄化法[5]やバイオジオフィルター方式[6,7,8]、ビオパーク方式[9]などが実用化を目指し実践的な取り組みが成果[10]をあげている。

水辺に密接にかかわる生活史をもつ両生類カエルについては、幼生期であるオタマジャクシは水生生活を営み、口器の歯列で付着珪藻や付着性原生動物などを削り取って捕食する雑食性、成体期であるカエルは陸生生活を営み、バッタなど昆虫を捕食する肉食性へと大きな変化を遂げる[11]ことが知られている。水生植物植栽浄化法の水界においても、オタマジャクシの現存量は無視できない程高く維持される事例が数多くあることから、これらのオタマジャクシが捕食により窒素・リンを体内に取り込み、一方でヤゴなどの水生昆虫やサギ類などの鳥類に捕食され[12]たり、カエル成体に変態し水塊中から這い出ること[13]により物質循環の一翼を担っていることは容易に類推される。そこで、本報では水生植物植栽浄化法の実証試験施設において、窒素・リンの施設外（系外）排除におけるオタマジャクシ類の果たす役割に着目した検討を行うこととした。

2. 方法

2.1 実証試験方法

調査は地域資源循環技術センター（旧称：農業集落排水協会）の生態系活用型処理施設検討のための実証試験施設において実施した。調査地は、吉野川上流の中山間地域となる高知県土佐町相川（北緯 33 度 43 分 19 秒，東経 133 度 31 分 55 秒：世界測地系）に位置する。農業集落排水処理施設からの処理水に着目し、水生植物を活用した池や水路に同処理水を導入し、池や水路により形成される生態系を有効活用して処理水に残存する窒素・リンのさらなる除去を検討[14]することとした。

実証試験は、2000 年から 2004 年の 5 年間にわたって稼働した。ここではこの内、2002 年の 1 年間を調査期間とし、同期間に得られたデータを用いて解析を行った。調査期間中の実験地における日平均気温は -0.9 ～ 27.9℃、最低気温は -6.8℃（3 月 9 日）、最高気温は 35.6℃（8 月 3 日）で、年間降水量は 2,509mm、日降水雨量が 40mm を超えたのが 19 日間、同 100mm を超えたのが 5 日間認められ、最大日降水量は 295mm（9 月 1 日）であった。

実証試験は、幅 7m 長さ 20m 深さ 50cm の長方形型ため池を造成して実施した。同池には、オヒルムシロ（*Potamogeton natans*）、セキショウモ（*Vallisneria gigantea*）、ササバモ（*Potamogeton dentatus*）、ツルヨシ（*Phragmites japonica*）など複数の植物を植栽した。同規格の対照区（池）を併設し、水面を遮光シートで覆った暗条件で並列稼働させた。ここに農業集落排水処理施設からの処理水を処理水貯留槽経由にて定量ポンプを用いて流入させ、水生植物を植栽したため池型施設における浄化能を検討した。なお、植栽に用いた水生植物は、全て実験地周辺水域からの移植であり、種遺伝情報の攪乱が憂慮される他地域からの移植は行わないよう配慮[15]した。

2.2 生物調査方法

実証試験池の複合区に着目し、同実験池に生息するオタマジャクシの種類および現存量を通年観察して評価した。オタマジャクシの現存量については、標識放流・再捕獲法[16]に基づき種別の密度評価を行った。すなわち、実験池内に無作為に設置した 4 個の捕獲トラップにより捕獲されたオタマジャクシ全個体について、鰭の一部に人為的欠損による目印を付けて再放流し、12 時間後に同様の手法で再捕獲を試み、再捕獲されたオタマジャクシ個体群に占める鰭欠損目印個体群の割合から統計的に母集団たる池内のオタマジャクシ現存量を推定した。なお、標識用欠損箇所を背鰭、腹鰭のそれぞれについて前側、後側に分けて計 4 度調査を実施し、スミルノフ - グラブス検定[17]にてはずれ値検定を実施した上で評価した。

また、オタマジャクシが体内に蓄積する窒素・リン量は、採集したオタマジャクシを乾燥後、ヒスコトロン破砕し、ミリポア水を加えてホモジナイザーにて液状化処理して窒素・リン濃度分析を実施し、原単位を算定して現存量から換算した。

2.3 浄化能評価方法

実証実験池の水質浄化能については、同実験地を管理運営した高知県の収集した水質データ[18]から算定した。水質分析における測定項目および測定方法は以下に示すとおりである．SS（浮遊懸濁物質）：ガラス繊維濾紙法，BOD（生物化学的酸素要求量）：ウインクラーアジ化ナトリウム変法．COD（化学的酸素要求量）：100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素要求量法，TN（全窒素）：銅・カドミウムカラム還元 - ナフチルエチレンジアミン吸光光度法，NH_4-N（アンモニア性窒素）：インドフェノール青吸光光度法，NO_2 - N（亜硝酸性窒素）：ナフチルエチレンジアミン吸光光度法，NO_3-N（硝酸性窒素）：銅・カドミウムカラム還元 - ナフチルエチレンジアミン吸光光度法，TP（全リン）：モリブデン青（アスコルビ

ン酸還元）吸光光度法，PO_4-P（リン酸態リン）：モリブデン青（アスコルビン酸還元）吸光光度法，水温，気温、降水量。また、植物の生長を記録し植物体含有の窒素・リン量を定期的に定量し、実験池内に植物体として保持されている窒素・リン量および刈り取りに伴い系外排除される窒素・リン量を定量化した。

3. 結果および考察

3.1 水質分析

本研究にてオタマジャクシの検討を行った実験池において単純算術平均により算定した年間水収支は、表1に示すとおり[19]である。すなわち、流入水量 11.5 (3.8 ～ 22.4) $m^3 \cdot day^{-1}$、流出水量 11.4 (1.8 ～ 25.7) $m^3 \cdot day^{-1}$、実験池内滞留時間 4.7 (2.0 ～ 12.0) 日、流入窒素濃度 14.4 (10.8 ～ 23.4) $mg \cdot l^{-1}$、流入リン濃度 1.52 (1.13 ～ 2.26) $mg \cdot l^{-1}$、流入 BOD 濃度 13 (3.7 ～ 14.4) $mg \cdot l^{-1}$ であった。流入水の窒素形態は、1 ～ 7 月および 11 月下旬以降はアンモニア性窒素が優勢であり、8 ～ 10 月には亜硝酸性・硝酸性窒素が優勢であった。

流出水の単純算術平均水質は、全窒素 7.2$mg \cdot l^{-1}$、全リン 0.94$mg \cdot l^{-1}$、BOD4.9$mg \cdot l^{-1}$ であった。採水・水質分析のデータ収集毎に水質・流量から算定・積算した流入負荷量は 1.058$gN \cdot m^{-1} \cdot day^{-1}$、0.112$gP \cdot m^{-1} \cdot day^{-1}$、流出量は 0.611$gN \cdot m^{-1} \cdot day^{-1}$、0.077$gP \cdot m^{-1} \cdot day^{-1}$ と評価された。この結果から除去総量を算出すると、実験池では窒素 22,800g、リン 1,800g が 1 年間に浄化された総量と評価される。一方、植栽の無い対照区においても窒素 6.300g、リン 800g が除去されている。

3.2 水生植物

実験池に植栽した水生植物の種ごとの含水率、窒素・リン含有率、および実験池内の生育現存量から評価した実験区内に維持されていた植物体内含有窒素・リン量は表2のとおりまとめられる。植物体の窒素・リン含量は植物種により異なり、いずれも乾燥植物体重量あたり窒素 2.16 ～ 6.77%、リン 0.17 ～ 2.21% であった。実験池内に生育していた植物体としての保持量は、窒素 1,860g、リン 290g と算定された。また、維持管理のため実験池に異常繁茂した糸状性緑藻類を人為除去したが、この除去量は乾燥重量で 60kg であった。これは窒素 4,080g、リン 560g に相当し、総浄化量に対して窒素 17.9%、リン 31.1% に相当することが明らかとなった。

Table 1 Characteristics of water qualities

	Influent	Effluent
T-N ($mg \cdot l^{-1}$)	14.4	7.2
NH_4-N ($mg \cdot l^{-1}$)	5.34	1.98
NO_x-N ($mg \cdot l^{-1}$)	7.12	3.59
T-P ($mg \cdot l^{-1}$)	1.52	0.94
PO_4-P ($mg \cdot l^{-1}$)	1.16	0.75
BOD ($mg \cdot l^{-1}$)	13.0	4.9
COD_{Mn} ($mg \cdot l^{-1}$)	13.8	11.4
SS ($mg \cdot l^{-1}$)	6.6	4.0
pH	6.7	7.4
EC ($mS \cdot m^{-1}$)	23	18
DO ($mg \cdot l^{-1}$)	4.6	6.3
Influent water	11.5 (3.8 ～ 22.4) $m^3 \cdot day^{-1}$	
Effluent water	11.4 (1.8 ～ 25.7) $m^3 \cdot day^{-1}$	
HRT	4.7 (2.0 ～ 12.0) day	

3.3 ユスリカ類

本施設において、5 目 13 科 22 種の水生昆虫が確認されている[19]。特に本実験区においてはユスリカの仲間としてユスリカ属のウスイロユスリカ (*Chironomus kiiensis*)、オオユスリカ (*Chironomus plumosus*)、およびアカムシユスリカ属のアカムシユスリカ (*Propsilocerus akamusi*) の 3 種の生息密度が高いことことが確認され、これら 3 種のユスリカ類に着目して羽化に起因する窒素・リンの持ち出し効果について検討がなされた[19]。その結果、ウスイロユスリカ：窒素 90g・年$^{-1}$、リン 9g・年$^{-1}$、アカムシユスリカ：窒素 168g・年$^{-1}$、リン 17g・年$^{-1}$、オオユスリカ：窒素 107g・年$^{-1}$、リン 16g・年$^{-1}$ をそれぞれ実験池から系外排除することに貢献していると試算されており、これら 3 種のユスリカ総量としては、窒素 365g・年$^{-1}$、リン 42g・年$^{-1}$、と試算され、これは総浄化量に対して窒素で 1.6%、リンで 2.3% に相当する量であることが報告されている[19]。

3.4 オタマジャクシ

本施設において出現が確認された両生類カエルの幼生であるオタマジャクシは、ツチガエル (*Rana rugosa*)、トノサマガエル (*Rana nigromaculata*)、ヤマアカガエル (*Rana ornativentris*)、ニホンアマガエル (*Hyla japonica*) の 4 種である。これら 4 種のオタマジャクシとしての

Table 2 Calculated nutrients stay in or harvested aquatic plants

	Water content (%)	N content (% dry)	P content (% dry)	Biomass (kg dry)	net N (g)	net P (g)	Harvest (kg dry)	Harvest N (g)	Harvest P (g)
Phragmites japonica	72.7	2.16	0.17	12.5	270	21	0	0	0
Vallisneria gigantea	78.2	5.02	2.21	3.2	161	71	0	0	0
Potamogeton natans	48.4	3.31	0.67	2.0	66	13	0	0	0
Filamentous algae	86.9	6.77	0.93	20.1	1,361	187	60.3	4,082	561
Total				37.8	1,860	290	60	4,080	560

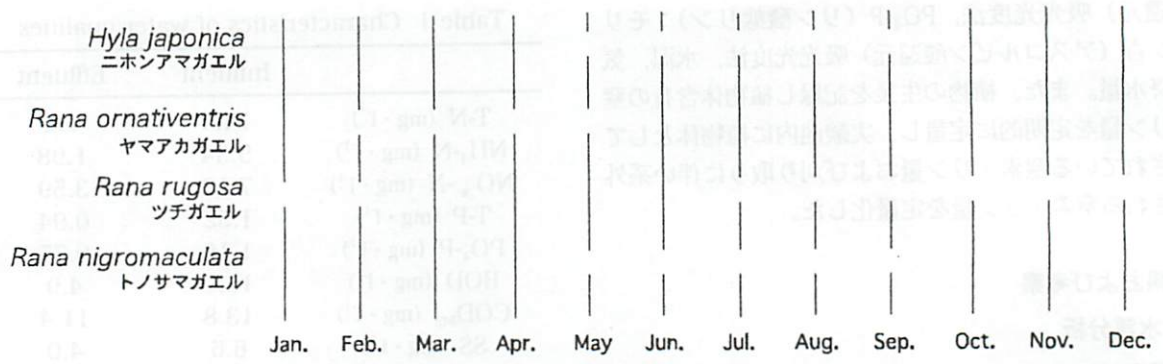


Fig. 1 Emergence period of tadpoles appearing in experimental site

出現期間は図1に示すとおり、ニホンアマガエル:5-8月、ヤマアカガエル:2-5月、ツチガエル:7-2月、トノサマガエル5-9月であった。この内、ツチガエルのみ、年内に変態せずにオタマジャクシの状態で越冬する個体が数多く見られたことが特徴である。4種のオタマジャクシについて、個体サイズおよび質重量、現存量は、表3に示すとおりである。また、4種のオタマジャクシ体内成分分析値は、概ね窒素 95mg・(dry)g^{-1}、リン 7.8mg・(dry)g^{-1}、乾重・湿重比:0.11であり、これらの値は種による有意差が認められなかった。

これらの値から換算したオタマジャクシからカエル成体への変態・陸生化による窒素・リンの系外排除貢献見積もり量は、ニホンアマガエル:窒素 2,200g・年$^{-1}$、リン 180g・年$^{-1}$、ヤマアカガエル:窒素 1,800g・年$^{-1}$、リン 150g・年$^{-1}$、ツチガエル:窒素 5,600g・年$^{-1}$、リン 460g・年$^{-1}$、トノサマガエル:窒素 1,200g・年$^{-1}$、リン 90g・年$^{-1}$と算定され、4種のオタマジャクシ総量として、窒素 10,800g・年$^{-1}$、リン 880g・年$^{-1}$と評価された。

実際には、オタマジャクシの全個体が変態に成功して陸生化し成体のカエルに成長する訳ではなく、ヤゴ・ミズカマキリ・ゲンゴロウなど水生昆虫、シマヘビ・ヤマカガシなど爬虫類、コサギ、アマサギなど鳥類などさまざまな高次捕食者に捕食され現存量を低下させること、同種あるいは別種のオタマジャクシに捕食される共食い現象[20]などで現存量の大きな割合が失われることが知られている。捕食されたオタマジャクシ個体については、捕食者の体に一部が変換されたと考えれば他経路により系外排除されたとする収率計算の視点もあるが、経路が未確認であること、丸呑みされるサギ類などを除いて食べ残された体の一部が腐敗して水塊へ回帰するなど評価に問題が多いのが現状である。ここでは、他の管理水域実験区において検証されたオタマジャクシの変態・陸生化成功率が10%という観察結果を参考に、先の算定値にこの10%の値を当てはめ考察することを試みた。その結果、窒素 1,080g・リン 88gがオタマジャクシからカエル成体への変態・陸生化による窒素・リンの系外排除貢献量と示唆された。この推定量は、総浄化量に対して窒素で4.7%、リンで4.9%に相当する量となった。無論、オタマジャクシの摂食活動に起因した窒素・リンの水中への回帰など、浄化と逆に富栄養化を促進するはたらきもあると推測される。同時にオタマジャクシの摂食活動による撹拌が底質に酸素供給を促し底質中の窒素・リンの溶出に影響を及ぼすなど、さまざまな要因が複雑にからみ合っており、開放系においてその全容を明らかにすることは極めて難しいことは論を待たない。ここで算出した値は、不確実な仮定が多く存在するため実際の浄化貢献度がどの程度になるのかは未知数であり、あくまで可能性として見積もられる推定値であることに注意する必要がある。それでも一般にはブラックボックスとして扱われてきた水生植物植栽浄化施設における小動物の窒素・リン除去に及ぼす貢献度を量的に評価できたことは意義深いものと考えられる。

3.5 沈殿など

実験池に併設した水生植物を植栽しない対照系の池において得られた通年の窒素・リン除去量は、窒素 6.300g、リン 800gであった。これは主に沈殿などの物理的作用により実験池内に留まることにより除去されたものと推定される。この対照とした実験池には植物を植栽せず、

Table 3 Characteristics of tadpoles appearing at experimental site

	Length (mm)	Weight (g)	Weight ratio (Dry/Wet)	N content (g/N)	P content (g/N)	Biomass (N/pond)	Gross N (g)	Gross P (g)
Hyla japonica	48	3.2	0.11	0.033	0.0027	68,000	2,200	180
Rana ornativentris	55	3.7	0.11	0.039	0.0032	490,00	1,800	150
Rana rugosa	74	4.9	0.11	0.051	0.0042	110,000	5,600	460
Rana nigromaculata	63	4.3	0.11	0.045	0.0037	27,000	1,200	90
						Total	10,800	880

表面をシートで被覆して迷入した種子等からの水生植物生育や藻類の増殖を抑制した。同措置により水生植物および藻類の生育は阻害できたものの、ユスリカ幼虫やオタマジャクシなどの水生動物の移入・増殖は阻止できなかった。

林らの報告[19]に則り、対照池においてユスリカ羽化に基づいて系外排除された窒素・リン量を試算すると、ウスイロユスリカ：窒素 19g・年$^{-1}$、リン 2g・年$^{-1}$、アカムシユスリカ：窒素 78g・年$^{-1}$、リン 8g・年$^{-1}$、オオユスリカ：窒素 36g・年$^{-1}$、リン 4g・年$^{-1}$と試算され、これら3種のユスリカ総量としては、窒素 133g・年$^{-1}$、リン 14g・年$^{-1}$となる。

同様に対照池におけるオタマジャクシからカエル成体への変態・陸生化に基づいて系外排除された窒素・リン量は、ニホンアマガエル：窒素 1,500g・年$^{-1}$、リン 120g・年$^{-1}$、ヤマアカガエル：窒素 1,300g・年$^{-1}$、リン 110g・年$^{-1}$、ツチガエル：窒素 3,700g・年$^{-1}$、リン 310g・年$^{-1}$、トノサマガエル：窒素 1,000g・年$^{-1}$、リン 80g・年$^{-1}$と算定され、4種のオタマジャクシ総量として、窒素 7,500g・年$^{-1}$、リン 620g・年$^{-1}$と評価された。ここでも実際の変態・陸生化率を10％として試算すると、窒素 750g・年$^{-1}$、リン 62g・年$^{-1}$と見積もられる。

すなわち、対照池にて浄化された窒素 6.300g、リン 800g の総量から、ユスリカ類の窒素 133g・年$^{-1}$、リン 14g・年$^{-1}$、オタマジャクシ類の窒素 750g・年$^{-1}$、リン 62g・年$^{-1}$を減算し、窒素 5,420g・年$^{-1}$、リン 724g・年$^{-1}$が純粋に沈殿などとして除去された分と結論づけられる。これは、総浄化量に対して窒素 23.8%、リン 40.2%に相当する割合であった。11

4. まとめ

高知県土佐町相川にて実施された水生植物植栽浄化法の浄化施設における生物相調査により、同法において植栽した水生植物が創出するニッチに生活の場を得て定着したオタマジャクシの浄化に果たす役割の一部を明らかにすることができた。同法は水生植物による無機栄養塩類の吸収・除去による水質浄化を基本原理としている。水質解析より、本実験区において1年間に除去された総量は窒素 22,800g、リン 1,800g であることが明らかとなっている。同時に対照系の評価から、このうち窒素 5.420g(23.8%)、リン 724g(40.2%) が物理的沈殿などにより場に留まった分、すなわち植栽した植物が直接寄与しない分であることも明らかとなった。また、植栽した植物および藻類の生育に伴い植物体・藻体として実験池内に保持されていた窒素・リン量は、それぞれ 1,860g(8.2%)、290g(16.1%) であること、維持管理により実験池から人為除去された藻体由来窒素・リン量は、それぞれ 4,080g(17.9%)、560g(31.1%) であることも明らかとなった。

実験池において高い現存量を示した3種のユスリカ (ウスイロユスリカ、アカムシユスリカ、オオユスリカ) については、その羽化により系外排除された窒素・リン量の最大見積もり値は、それぞれ 370g(1.6%)、42g(2.3%) であると報告[19]されている。本報ではさらにオタマジャクシ4種 (ツチガエル、トノサマガエル、ヤマアカガエル、ニホンアマガエル) の変態・陸生化により系外排除された窒素・リン量を、それぞれ 1,080g(4.7%)・リン 88g(4.9%) と見積もることができた。

これら試算値を模式すると図2のとおり示される。ここで、リンに比較して窒素でその他の比率が 43.8% と大きいのは脱窒反応により窒素ガスとして消散した分が包含されているためであると考えられる。またリンについては沈殿等の比率が 40.2% と大きくなっているが、これはリン蓄積菌による菌体内保持が包含されているためであると考えられる。

これまで植物体に保持蓄積され、刈り取り収穫管理により窒素・除去がなされると評価されてきた水生植物植栽浄化法であるが、本報では、その全体に占める比率は3分の1以下であることが明らかとなった。同法では、本報にて着目したオタマジャクシの他にも、数多くの水生生物が生息場所を得て[21,22]おり、これら多様な生物が食物網を通じて浄化に関与していることが明らかであ

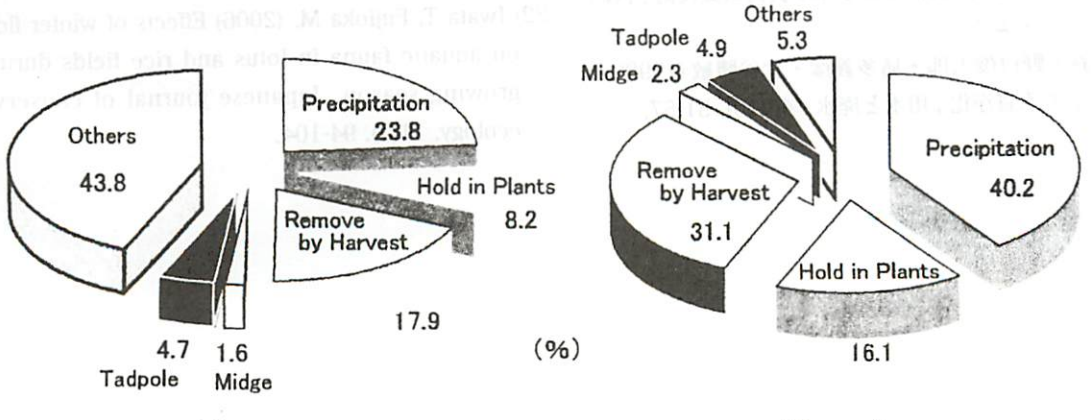


Fig.2 Ratio of nutrients removals at aquatic plants purification system

る。本実験区においては、オタマジャクシ以外にも水生昆虫のトンボ類などもヤゴの羽化などを通じて、物質循環に大きく関わっていることが推察されており、水質浄化に関与していることは明らかである。今後、水生植物植栽浄化法において出現頻度の高い生物群に着目し、その生物群の場生態系における位置づけと処理の効率および安定性との関係について評価・解析するという視点がますます重要な位置付けになるものと考えられる。

(原稿受付 2007年6月 4日)
(原稿受理 2008年1月17日)

引用文献

1) 岡田光正他編 (1999) 環境保全・創出のための生態工学, 丸善, 東京.
2) 稲森悠平・西村浩・須藤隆一 (1998) 生態工学を活用した水環境修復技術の開発動向と展望, 用水と廃水. 40(10), 7-18.
3) 縣和一・宋祥甫 (2002) 水質浄化と水辺の修景, 146pp. ソフトサイエンス社.
4) 岡田光正 (1994) 湿地 (Wetland) の水質浄化機能, 水環境学会誌. 17(3), 142-148.
5) 高柳正弘・林紀男・桑原享史 (2003) エコシステムとしてのフロート式水耕栽培浄化技術の開発と評価. 日本水環境学会シンポジウム. 神戸
6) 尾崎保夫・長峰徹昭・高砂裕之 (2001) 有用植物を用いた農業集落排水二次処理水の高度処理, 用水と廃水. 43(4), 318-322.
7) 尾崎保夫 (2001) 有用植物を用いた生活排水の資源循環型浄化システムの開発−合併処理浄化槽の処理水を水耕培養液とした新たな取り組み−, 農業および園芸. 76(4), 490-496.
8) 阿部薫 (2001) 植物-遮材系水路による付加価値型水質浄化, 農業電化. 54(4), 2-7.
9) 中里広幸 (2000) 植物の水耕栽培で水を浄化する総合システムビオパーク方式, 植物による環境負荷低減技術, (株) エヌ・ティー・エス.
10) 北詰昌義・野口俊太郎・島多義彦・倉谷勝敏 (1998) 人工湿地による水質浄化, 用水と廃水. 40(10), 51-57.
11) 長谷川雅美 (1999) 田んぼのカエルは今-生息地破壊とカエルたち-. 千葉県立中央博物館平成11年度特別展「カエルのきもち」展示解説書. 136-141. 千葉県立中央博物館.
12) 小城春雄・高橋奈々江・関川東明 (2000) オオセグロカモメの水田におけるオタマジャクシ捕食について. 北海道大學水産學部研究彙報. 51, 127-134.
13) 長谷川雅美 (2000) 水田耕作に依存するカエル類群集 (特集 農村生態系と保全技術) -- (特集1 農村生態系 (水田を中心として)). 農村と環境. 16, 31-35. 農村環境整備センター.
14) (社) 地域資源循環センター (旧称: 日本農業集落排水協会)(2007) 生態系活用型水質浄化施設整備の考え方. pp.142+38.
15) Kuwabara, T, M. Matsumura, N. Hayashi, K. Xu, Y. Inamori (2007) Evaluation of the role of the aquatic plants in floating type edible aquatic plant purification system. Japanese journal of water treatment biology. 43(2), 91-97.
16) 田中昌一 (1998) 標識放流. *In* 水産資源学総論. 284-341. 恒星社厚生閣.
17) 鈴木伸一・佐藤健二・富家直明・鳴田洋徳・坂野雄二 (1996) データ分析における外れ値の統計的評価に関する検討. ヒューマンサイエンスリサーチ. 5, 279-291.
18) 高知県土木部下水道課 (2005) 平成11年度〜平成15年度西石原地区自然水質浄化機能活用実験水質調査委託業務成果. (利用許可:16高下水第497号)
19) 林紀男・桑原享史・稲森悠平・須藤隆一 (2006) 水生植物を植栽した溜池の水質浄化に果たすユスリカ類の役割. 四万十・流域圏学会誌. 5(2). 35-42.
20) 東淳樹 (1999) 谷津環境におけるカエル類の個体数密度と環境要因との関係. ランドスケープ研究. 62(5), 573-576.
21) 市川憲平 (2004) 放棄田ビオトープによる里の自然再生とタガメやその他の水生動物の定着. Bulletin of the Hoshizaki Green Foundation. 7. 137-150. ホシザキグリーン財団.
22) Iwata T, Fujioka M. (2006) Effects of winter flooding on aquatic fauna in lotus and rice fields during the growing season. Japanese journal of conservation ecology. 11(2). 94-104.

［四万十・流域圏学会誌　第７巻　第１号　　13-22　　2007］

＜論　文（原著）：　-Policy Paper-　＞

Applicability of Japanese-style Basin Management Systems to Bangkok, Thailand

Water-related Infrastructure Building Model Creation for Asian Cities under Rapid Urbanization

Jun MATSUSHITA*

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

Abstract

This paper intends to verify applicability of basin management systems (BMS) to Bangkok, where the need for new infrastructure had out-striped society's ability to put it in place in 1980s. To supplement urgently needed water-related infrastructure building under rapid urbanization, JICA experts proposed introduction of BMS for (1) flood-control and (2) water-pollution control. These systems had been developed during Japan's economic growth period in 1960s, when private initiatives based on 'cause-pay-principle' were needed to off-set weak governance for prompt infrastructure building and discordant development prevention. The author analyzes the way Bangkok Metropolitan Government (BMA), urban management body for the city, dealt with infrastructure building in 1980s-2000s by assimilating Japanese-style BMS under rapid urbanization. As a result, it is suggested that Bangkok makes contribution in creating models for sustaining urban management in rapidly urbanized Asian cities based on Thai-style BMS.

Key words: Japanese-style Basin Management System, Rapid Urbanization, Cause-to-Pay Principle, Thai-style BMS Assimilation, Models for Rapidly Urbanized Asian Cities

要旨

本文は、1980年代の急激な都市化のもとでインフラ整備が急務となったバンコクで、洪水管理と水質管理面からJICA専門家が提案した流域管理システムの適用性について検証するものである。この流域管理システムは、1960年代の高度経済成長期の日本で行政によるインフラ整備の不備を補い、原因者負担原則によって乱開発を防止するという役割も果たした。ここでは、バンコクの都市管理の責任を担うバンコク首都圏庁が、日本式の流域管理システムを現地の条件に適合させながら1980年代～2000年代にかけて急激な都市化のもとでいかにインフラ整備を進めたか、その方法について分析を行う。この結果、バンコクは、タイ式の流域管理システムに改装することによって、他のアジア諸国に向けた持続的な都市管理モデルの創造に貢献したということができるだろう。

1. INTRODUCTION

It is needless to say that infrastructure building is essential both to accelerate high economic growth and to enhance sustainability of the society. However, the new infrastructure had outstripped the Japan's ability to put it in place during so-called high economic growth period as of 1960s with rapid urbanization. The same was likely true in Bangkok where full-scale urbanization was started in 1980s causing various problems such as flooding, water pollution, etc.

Whereas, Japan had overcome these urbanization-induced problems through basin management systems (hereinafter called BMS) to off-set weak governance applying private initiative or *cause-to-pay principle* (Jun Matsushita, 2007). In contrast, such systems were proposed by JICA experts in 1980s for Bangkok Metropolitan Administration (BMA), municipal government, for two objectives: (1) flood-control and (2) water-pollution control. Herein, this paper analyzes assimilation process of the Japanese-style BMS by BMA and extension of the system to water-demand control in Bangkok.

Based on the mentioned-above notion, **Table 1** shows the comparison on water-related infrastructures building process between Japan (Tokyo) and Thailand (Bangkok).

Phase-1: Foundation of Waterfront City (17c-18c)

Both cities have similar historical roots in their foundation as a water city located on alluvial plain under monsoonal climate.

Phase-2: Civilization and Modernization (1860s-1900s)

The trails which both cities had traced so far are completely different. In Tokyo, railway networks had replaced previous canal networks, while canal networks had been newly formed by cut-and-bank land reclamation method to make Bangkok well-known as *Eastern Venice*.

Phase-3: High Economic Growth in Japan and Pre-economic Growth in Thailand (1960s)

Japan preceded Thailand in economic growth and due urbanization. At this stage, BMS was needed to promptly mitigate urbanization-induced problems, while such needs were relatively small in Bangkok due to the delay in its urbanization.

Phase-4: Aftercare for oil crisis in Japan, and High Economic Growth in Thailand (1970s-80s)

Japan had to reduce consumption of resources after the oil crisis in 1970s, while introduction of BMS was proposed by JICA experts for flood-mitigation and water pollution control under rapid urbanization in Bangkok.

Phase 5: Sustainable Society creation in Japan, and Assimilation of Japanese-type BMS in Thailand

Japan is trying hard to reduce Green House Gas, while assimilation of Japanese-style BMS to local conditions is made for solving above-mentioned problems in Bangkok.

Table 1 Comparison of Urbanization and Systematization of BMS in Japan (Tokyo) and Thailand (Bangkok)

Phase	Japan (Tokyo)	Thailand (Bangkok)
Phase 1 ●17C-18C	Foundation of Waterfront-type City (Tokugawa Era) ●Edo (1600s)	Foundation of Waterfront-type City ●Bangkok (1780s)
Phase 2 ●1860s-1900s	Civilization and Modernization (Meiji Era) ●Abandoning of canal networks ●Introduction of railway networks	Civilization and Modernization (Chulalongkorng Era) ●Forming of canal networks (Eastern Venice) ●Introduction of cut-and-bank land reclamation system
Phase 3 ●1960s	High Economic Growth ●Necessity of urbanization-assimilation policy ●Introduction of basin management systems (BMS) (Cause-to-pay to regulate discordant developments)	Pre-economic Growth ●Urbanization-induced problems (flooding, water pollution, traffic congestion, etc.)
Phase 4 ●1970s-1980s	Aftercare of Oil Crisis ●Establishing of basin management systems (BMS) ●Promoting of resources-saving policy	High Economic Growth ●Necessity of urbanization-assimilation policy ●Proposal on basin management systems (JICA experts)
Phase 5 ●1990s-2000s	Toward Sustainable Society Creation ●Kyoto mechanism for GHG reduction ●3-Rs policy: reduce, reuse, recycle	Assimilation of Japanese-type BMS to Local Conditions & Asian Model Creation ●Comprehensive flood-control systems ●Semi-combined sewerage systems

2. HYPOTHESIS OF THE STUDY

Herein, **Fig.1** shows the comparison on total framework of Japanese-style BMS and Bangkok-style ones regarding water-related infrastructure building under rapid urbanization for three objectives including (1) flood-control, (2) water-pollution control and (3) water-demand control.

In case of any objectives, Japanese-style BMS basically consists of two elements: (a) structural measures and non-structural measures.

Herein, structural measures are materialized as public works. And non-structural measures are induced mainly based on private initiatives or *'cause-to-pay principle'* for installation of rainwater run-off reduction measures, in-house wastewater treatment units and in-house water recycling systems for flood-mitigation, water-pollution control and water-demand control, respectively.

During Japan's economic growth period, private initiatives were needed strongly to prevent discordant developments and to off-set weak governance over implementation of structural measures.

It was relatively easier to make such private initiatives agreeable among private sectors in Japan's in-grope society on the condition that economic benefits were expected for them on the long-run. However, it became recognized soon that introduction of non-structural measures would contribute to enhancement of clean production schemes and corporate social responsibility.

On the contrary, modification of BMS might be needed in Bangkok so as to assimilate them to local socio-economic conditions. BMA had to be much endurable in negotiating with demanding private sectors, since they generally tended to put first priority on short-term economic benefits.

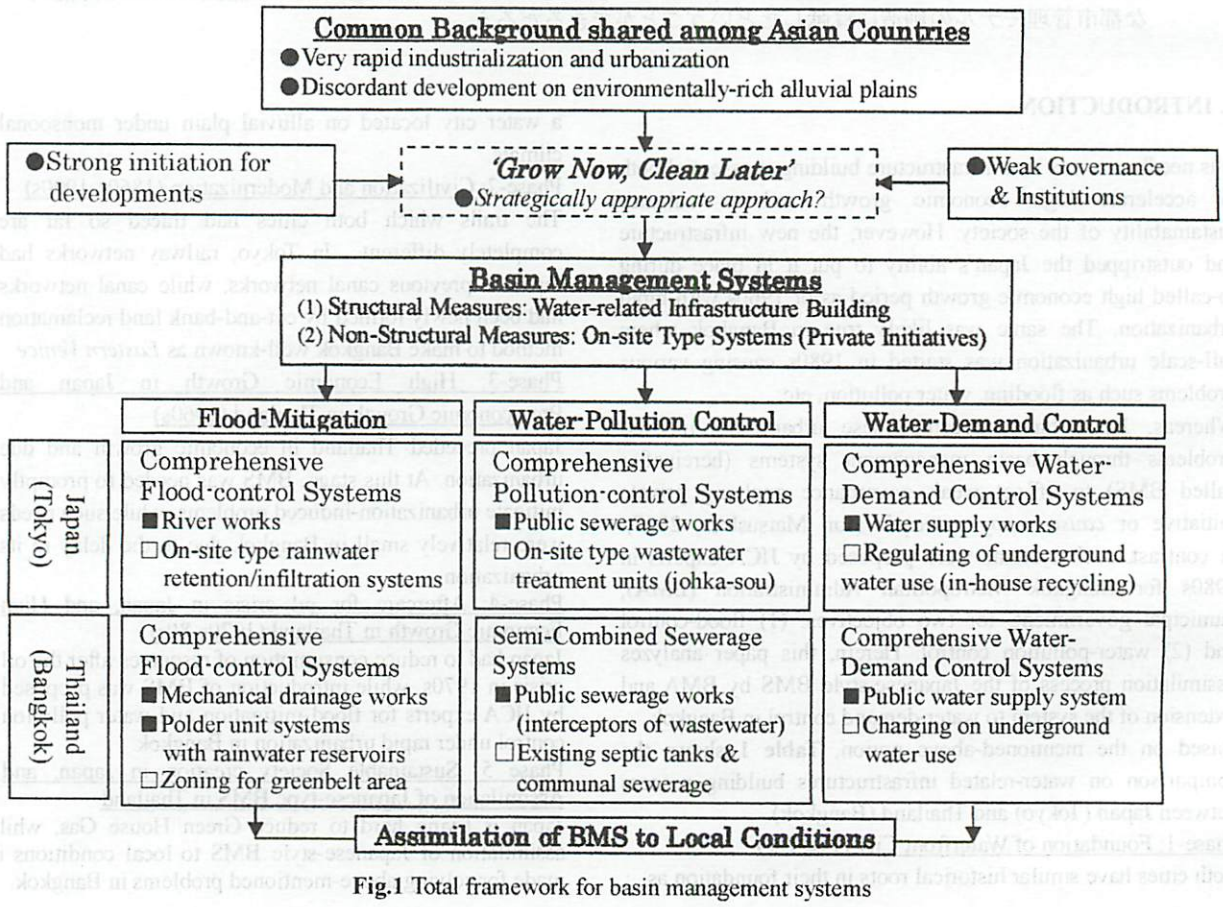


Fig.1 Total framework for basin management systems

3. COMMON BACKROUND SHARED BY TWO CITIES

3-1 Hydrological Background

Both cities are located on alluvial plains or lower basins of major trunk rivers as shown in **Fig.2**. Thus they tend to have risks due to flooding all the way commonly based on historical background as the water city.

The main source of water for Bangkok is Chao Phraya River which delivers only some 50 m3 per sec in dry seasons, although peak flow increases up to 4,000 m3 per sec. during rainy seasons. At the end of every rainy season, high discharge from the north coincides with the ebb-tide from the sea. The flood level increases and inundates a vast deltaic area of the basin including the city area.

This occurrence is well-known for centuries. Once every 100 years, the river rises to some 2.1 m above MSL. However, the average level of Bangkok city area is approximate 1 meter above MSL. When Thais and Burmese were at war around three hundred years ago, Thais was used to defend themselves by holding out the enemies within the city walls and to wait for the flood coming to enforce the invaders to give-up their attacks (Kasemsan Suwarnarat, 2005).

The first master plan for drainage/flood-protection systems for Bangkok Metropolis (Camp, Dresser & McKee, 1968) proposed polder systems. The plan divided the city area into several polder units to protect the city unit-by-unit against over-spills from the river. Rainwater run-off from the polder units was to be discharged into canal networks by pumping in the event of high exterior water levels.

Taking the rapid urbanization into consideration, the second master plan for flood-control systems in Eastern Bangkok Metropolis of 289km2 (JICA, 1985) proposed rainwater reservoirs to reduce the rainwater run-off rate under the limiting hydraulic capacity of existing canal networks.

On the other hand, polder-like systems were adapted in the Lower Tokyo Basin, where the flood way called Arakawa River was constructed by national government in 1911-30. However, the ground subsided up to at most 4.5 m because of groundwater exploitation creating below-high-tide area of around 124 km2 during economic rehabilitation in 1950s.

The rainwater run-off from the area is discharged to the flood levels particularly during typhoon season.

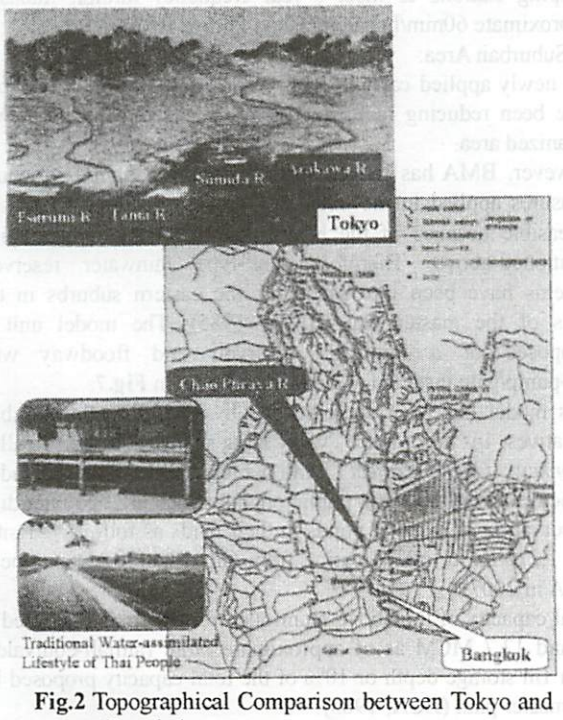


Fig.2 Topographical Comparison between Tokyo and Bangkok

3-2 Socio-economic Background

Both cities are under rapid urbanization with strong economic growth in the latter 20-th century as shown in **Fig.3**.

In terms of Densely Inhabited District (DID) as of 40 persons per ha or more due to Japan's statistics, DID of Tokyo Metropolis expands 1,003 km2 (1960) to 3,242 km2 (1995) by 323% in 35 years, while the population grows 12.9 million (1960) to 28.6 million (1995) by 222% during the same period.

In terms of Urbanized Area (UA) due to BMA'S statistics, UA of Bangkok Metropolis expands 100 km2 (1980) to 750 km2 (2000) by 750% in 20 years, while the population grows 2 million (1980) to 8.9 million (2000) by 445% during the same period.

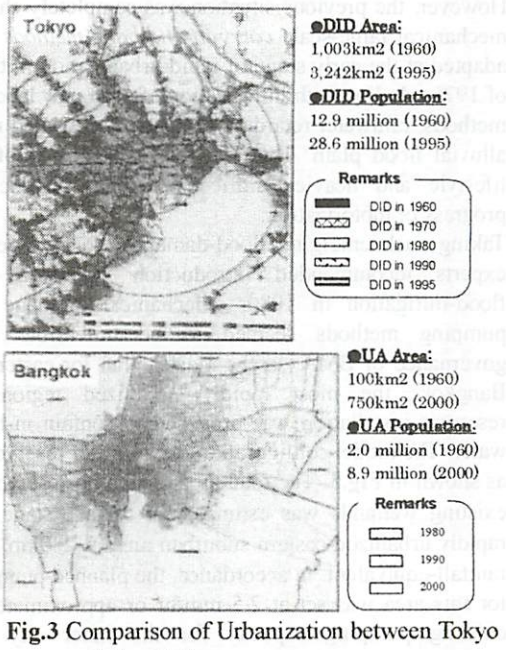


Fig.3 Comparison of Urbanization between Tokyo and Bangkok

As a result, both cities faced various urbanization-inducing problems under weak governance observed in particular at the early stage of economic growth.

In Bangkok, ordinary settlements of the population had been locking on to the water fronts. Floating houses on rafts were anchored to the water-fronts of the river. Piling foundation and stilts were the standardized housing styles. However, recent sprawling urbanization in the city has extended into the swampy wetland behind the levies of Chao Phraya River. The elevation of ground level ranges usually from 0-2.5 m above MSL, thus making the city vulnerable to flooding stepwise.

In addition, groundwater abstraction has resulted in high rates of land subsidence. Thai's national government directs Metropolitan Waterworks Authority (MWA) to stop groundwater pumping and exchange to surface water use since 1986. In addition, charging-on-usage scheme is introduced in line with new well-drilling regulation against industrial sectors. These combined measures help reduce the land subsidence rate step-by-step.

Meanwhile, water pollution became apparent at many canals in the city in 1980s. There are approximate half a million units of pour-flush style latrines with septic tanks. BMA is offering vacuum-car services to remove excess sludge from septic tanks installed at almost every household. These systems are a little effective for primary on-site pollutant reduction.

The master plan for sewerage systems in Bangkok (JICA, 1982) initially proposed separated systems. Operation of wastewater treatment was delayed until 1990s. Herein, interceptors were added to transfer wastewater in the existing drains onto newly constructed wastewater treatment plants. BMA is now operating 10 sewage works with total capacity of 124,000 CM per day (Kasemsan Suwarnarat, 2005).

4. ASSIMILATION PROCESS OF BMS TO BANGKOK

4-1 Flood-mitigation

Necessity of Prompt Flood-mitigation

As shown in **Fig.4**, *cut-and-bank methods* had been commonly utilized for land reclamation in Bangkok from 1900s-60s. Consequently, little flood-damages were imposed, since the canal networks, which had been created through such land reclamation methods, had enough rainwater retarding capacity in the urbanized zones. In addition, traditional boat-dependent transportation modes were helpful to support traditional flood-coping lifestyle of Thai people.

However, the previous situation was completely changed, while mechanical large-scale *carry-in-and-bank methods* were widely adapted at the early stage of rapid urbanization in the beginning of 1970s. In line with introduction of such new land reclamation methods, rainwater retarding capacity disappeared rapidly in the alluvial flood plain. This resulted in expansion of flood-prone lifestyle and heavier traffic congestion in line with rapid progress of motorization.

Taking such emerging flood-damage into consideration, JICA experts recommended introduction of BMS for prompt flood-mitigation in 1980s. Mechanical drainage systems by pumping methods seemed to be unfeasible under weak governance of BMA. In the master plan for eastern suburbs of Bangkok, the most rapidly urbanized regions, rainwater reservoir installation was proposed to contain in-land flooding water. The model configuration of rainwater reservoir systems is as shown in **Fig.5**. The total area of rainfall reservoirs including existing wetlands was estimated at 58km^2, some 17% of the rapidly urbanized eastern suburban area of 289km^2 with 48 mm rainfall-equivalent. In accordance, the planned pumping capacity for this area was set at 2.5 mm/hr or approximate 60% of the existing pumping capacity for the inner city area where rainwater reservation can not expected by any means (Jun Matsushita, 1985).

In contrast, installation of approximate 11 mm rainfall-equivalent rainwater reservoirs is materialized based on *'developer-pay principle'* in Japan's the most critically urbanized Tsurumi-gawa River basin of 235 km^2.

Assimilation to Bangkok's Local Conditions

The assimilation of Japanese-type BMS to Bangkok's local conditions has been continued by BMA in 1990s-2000s as follows (Teeradej Tangpraprutgul, 2007):

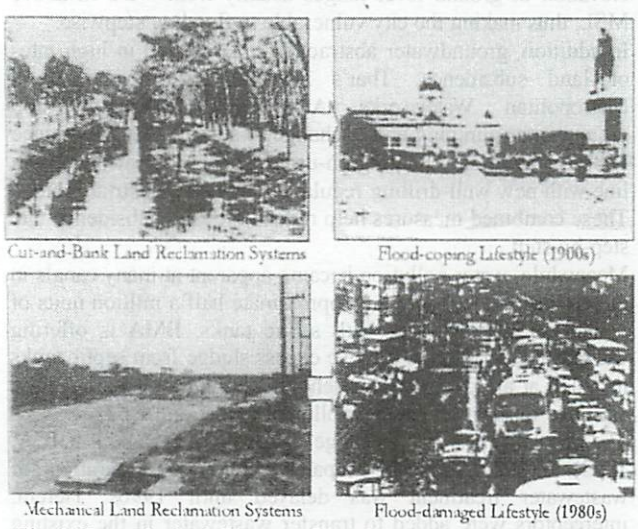


Fig.4 Chronological Change of Land Reclamation Methods in Bangkok

Fig.5 Model Configuration of Rainwater Reservoir Systems for Flood-mitigation in Eastern Suburbs

In principle, BMA should take responsibilities for structural measures such as construction of dykes, water gates and pumping stations. However, it has been recognized that implementing of conventional structural measures costs some 30 million Baht (100 million yen) per 1 km^2 to implement conventional flood-mitigation projects. In addition, land acquisition for installing water gates and/or pumping stations has become much difficult in densely populated city areas.

Consequently, it has been recognizable that BMA would be caught again in a vicious cycle without comprehensive measures supported by BMS: regular occurrence of flooding because of luck of drainage capacity due to shortages of financial resources.

Comprehensive Flood-mitigation Systems

Based on above-mentioned assumption, BMA has introduced the zoning scheme for boosting comprehensive flood-mitigation systems as shown in **Fig.6**.

(1) Inner City Area:

Rainwater retarding capacity was well maintained because of the previously applied cut-and-bank land reclamation methods. BMA already completed construction of water gates and pumping stations to meet 5-year frequency rainfall intensity (approximate 60mm/hr) along Chao Phraya River.

(2) Suburban Area:

The newly applied carry-in-and-bank land reclamation methods have been reducing rainwater retarding capacity in this newly urbanized area.

However, BMA has judged further extension of the structural measures applied in the inner city area to this area should be unfeasible because of the heavy construction cost estimation mentioned-above. Therefore, unit-type rainwater reservoir systems have been introduced for the eastern suburbs in the basis of the master plan (JICA, 1985). The model unit is composed of a rainwater reservoir and floodway with sub-pump/gate installed at a canal as shown in **Fig.7**.

This model has been spear-headed by BMA based on public initiatives in accordance with King's instruction, so-called *'Monkey's Cheek Project'*, with which BMA has concluded agreements with relevant public organizations in 2006 regarding preservation of existing ponds in their lands as follows: 21 sites and 1,270 ha in total (Hearing from City Planning Department, BMA in 2007).

Total capacity of the above-mentioned reservoirs is estimated at around 12.7 MCM as of approximate 6mm rainfall-equivalent with 1m storage depth or 10% of the total capacity proposed by the master plan (JICA, 1985).

As a result, construction of floodways, underground tunnels in

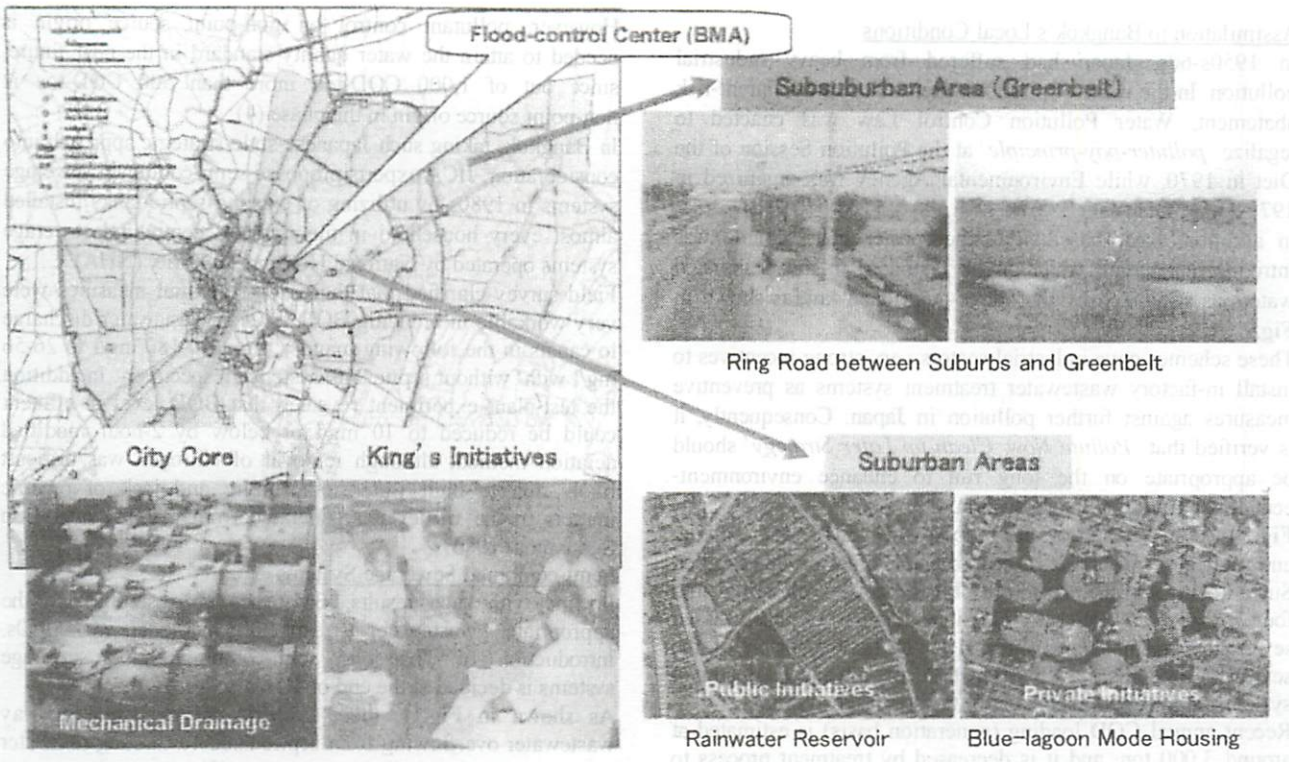


Fig.6 Zoning for Comprehensive Flood-mitigation Systems in Bangkok, (BMA)

some units, becomes needed to make-up for the insufficiency of retarding capacity in this area.

On the contrary, private initiatives have not been fully materialized yet. However, BMA is eagerly requesting developers for their cooperation on installing pumps at the *'Blue-lagoon Mode Housing'* project sites to utilize landscape-style ponds for rainwater reservoirs. Agreements are concluded so far with 7 projects of 46ha in total (Hearing from City Planning Department, BMA in 2007).

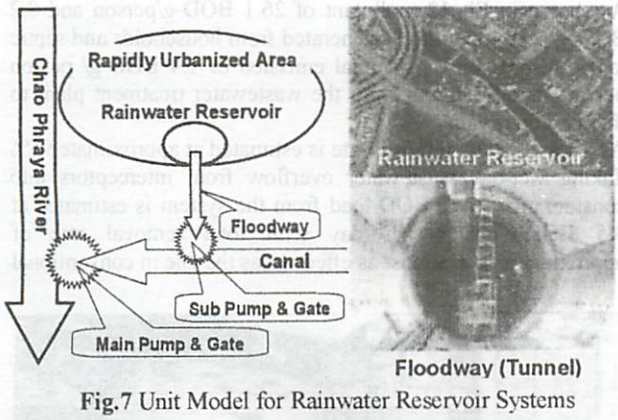


Fig.7 Unit Model for Rainwater Reservoir Systems

Sub-suburban Area:

The master plan (JICA, 1985) designated this area as *'Greenbelt Zone'* with complete ban on new building. However, taking strong opposition from developers into consideration, BMA has decided to introduce a kind of *'carrot-and-stick policy'* in 1990s: namely small-scale development projects should be allowed on condition of installing on-site type rainwater storage ponds to reduce run-off coefficient to 60% based on the system called Environmental Impact Assessment (EIA)

Applicability of BMS to Bangkok

It is clarified that BMA has established Thai-style BMS through modifying Japanese-type systems so as to assimilate them to local socio-economic conditions. Consequently, it is recognizable that BMS is workable to mitigate urgent urbanization-inducing flood in Bangkok. These systems could be applicable further to other Asian cities under similar conditions.

4-2 Water-pollution Control

Necessity of Prompt Water-Pollution Control

In 1980s, water pollution in Bangkok became apparent due to rapid urbanization as shown in **Fig.8**.

According to the survey conducted by BMA, BOD level was 50-100 mg/l in the inner city area. The floating market place, one of the tourist attractions with Bangkok-like landscape, had been deteriorated greatly. On the other hand, in the suburban area, the level was 10-40 mg/l strongly polluted enough to cause eutrophication and clogging of canals by growing water weeds.

BMA realized the necessity of water-pollution control. However, they had to put their first priority on the above-mentioned urgent flood-mitigation projects, as far as flooding imposed direct damages to the daily life of ordinary people in the city.

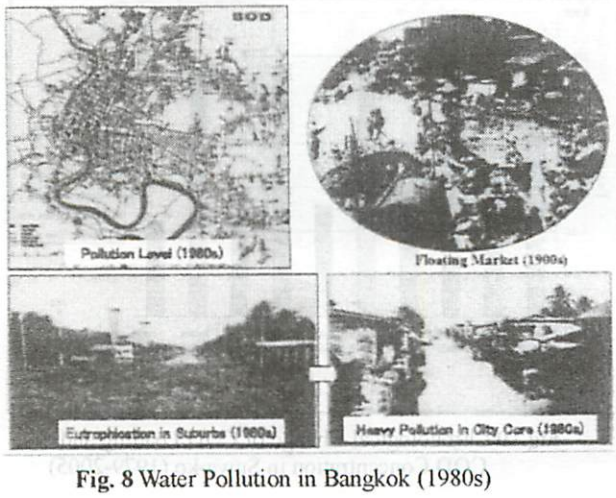


Fig. 8 Water Pollution in Bangkok (1980s)

Assimilation to Bangkok's Local Conditions

In 1950s-60s, Japan had suffered from heavy industrial pollution. In the wake of public awareness on environment-risk abatement, Water Pollution Control Law was enacted to legalize *'polluter-pay-principle'* at the Pollution Session of the Diet in 1970, while Environmental Agency was organized in 1971. (Jun Matsushita, 2007)

In addition, basin-based sewerage master plan scheme was introduced to attain water quality standard in the designated waters as stipulated by the above-mentioned law as shown in **Fig.9.**

These schemes gave industrial sectors very strong incentives to install in-factory wastewater treatment systems as preventive measures against further pollution in Japan. Consequently, it is verified that *'Pollute Now, Clean-up Later Strategy'* should be appropriate on the long run to enhance environment-economy balance. (Jun Matsushita, 2007)

Fig.10 shows application process of BMS for solving eutrophication problems in one of Japan's scenic lakes called Suwa-ko in Nagano prefecture. The process is classified into four phases as follows: (1) introduction of basin-based sewerage systems based on BMS, (2) 1st expansion of the sewerage systems, (3) introduction of advanced treatment systems and (4) 2nd expansion of the sewerage systems.

Recent annual COD loading (generation basis) is estimated at around 3,000 ton, and it is decreased by treatment process to around 1,000 ton by approximate two-thirds. The heaviest pollutant source is domestic un-sewered wastewater in the phase (1). Such un-sewered wastewater is treated initially by on-site wastewater treatment systems called *Johka-sou* in Japanese and step-by-step shifted to basin-based sewerage systems on the way to the phase (4) (Suhar Yanto, 2008).

Therefore, it is verified that BMS has been workable in managing heavy water-pollution in this lake.

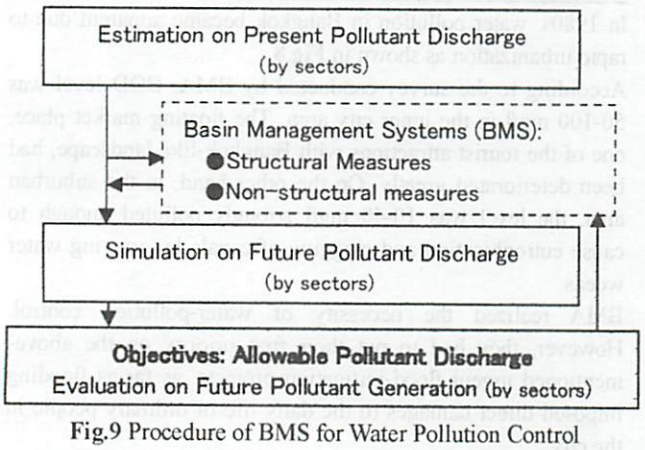


Fig.9 Procedure of BMS for Water Pollution Control

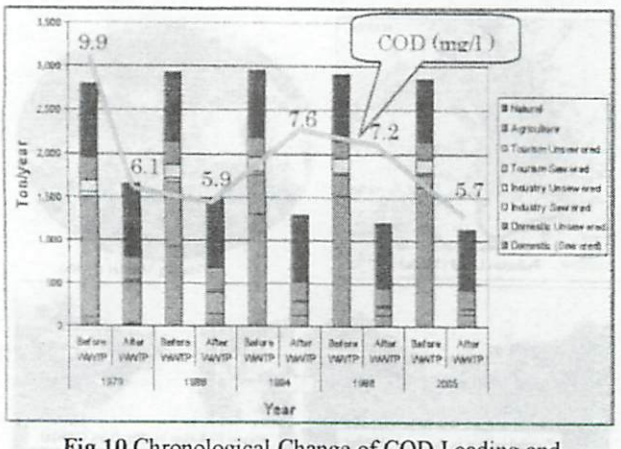


Fig.10 Chronological Change of COD Loading and COD Concentration in Suwa-ko (1979-2005)

However, pollutant control on non-point source origin is needed to attain the water quality standard in the near future, since out of 1,000 COD-ton more than 500 COD-ton is non-point source origin in the phase (4).

In Bangkok, taking such Japanese-style strategic approach into consideration, JICA experts proposed semi-combined sewerage systems in 1980s by utilizing of existing septic tanks installed almost every household in the city and communal sewerage systems operated by National Housing Authority (NHA).

Field survey clarified that these non-structural measures were very workable in reducing BOD level in wastewater discharge to canals in the following manner: from 50-180 mg/l to 26-56 mg/l with/ without septic tank systems, respectively. In addition, the test-plant experiment revealed that BOD level in effluent could be reduced to 10 mg/l or below by 2-hour modified aeration method, although removal of Nitrogen was difficult likely due to high water temperature and lack of organic matters in the wastewater generated from the city area (Jun Sumiyama, 1986).

Semi-combined Sewerage Systems

In line with such results, BMA has been scrutinizing the appropriate wastewater treatment methods in 1990s. Introduction of Thai-style semi-combined type sewerage systems is decided at the end of 1990s.

As shown in **Fig.11**, these systems are to intake dry-day wastewater overflowing from septic tanks to existing rainwater drains by newly installed interceptors. Wastewater intercepted before discharging to canals should be transferred into newly constructed wastewater treatment plants.

Applicability of BMS to Bangkok

Based on the above-mentioned notion, BMA has commenced implementation of the mentioned-above sewerage project through dividing the whole city area into 20 sub-divisions in total.

In 2006, BMA expands the operation to 7 sub-divisions out of 20 ones to serve 26 million people as of 2004 and to treat wastewater inflow of 609 thousand m^3 per day. Average BOD concentration is 37 mg/l for inflow and 5.9 mg/l for effluent, respectively.

As shown in **Fig.12**, pollutant of 26.1 BOD-g/person and 8.2 BOD-g/person per day is generated from households and septic tanks, respectively. And final emission of 1.4 BOD-g/ person per day is discharging from the wastewater treatment plant to the river on dry day.

As a result, BOD removal rate is estimated at approximate 95%. Taking wet-day wastewater overflow from interceptors into consideration, total BOD load from the system is estimated at 3.5 BOD-g/person per day with total removal rate of approximate 82% almost as effective as the one in conventional

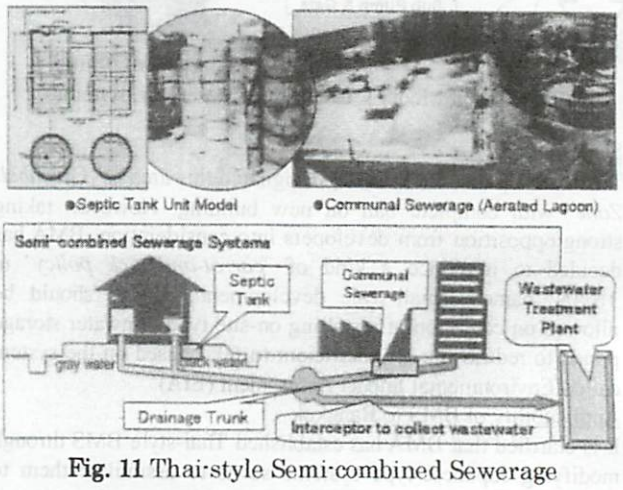


Fig. 11 Thai-style Semi-combined Sewerage

combined sewerage systems in Japan. (Kenichi Komada, 2008)
In addition, an anaerobic method is introduced to attain more efficient N/P removal in some of the treatment plants.
As a result, it is concluded that BMA has succeeded in urgent pollution-control with relatively low cost in the basis of Thai-style BMS assimilation through incorporating existing on-site septic tank systems into structural measures (newly constructed interceptors and wastewater treatment plants). However, introduction of charging system is desired to help sustainable operation and maintenance on the long run.
Consequently, it is verified that BMS could be applicable to other Asian cities where on-site septic tanks including communal sewerage systems are widely introduced and therefore full integrating of them into semi-combined sewerage system could be possible for urgent water-pollution control.

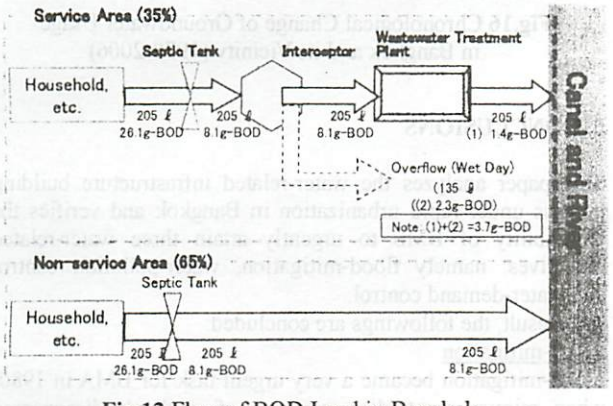
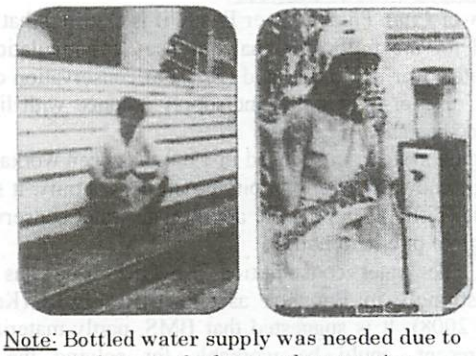


Fig.12 Flow of BOD Load in Bangkok
Unit: g-BOD/person per day

4-3 Water-Demand Control

Necessity of Prompt Water Demand Control

It is recognizable that recent water supply/demand balance has been tight due to rapid economic growth in the Lower Chao Phraya River Basin including Bangkok Metropolis. Although the previous predominant approach has been generally supply-sided, development of new water resources is more difficult because of higher costs and conflicts with environmental viewpoints.
In Tokyo, such supply/demand balance has been supported well in the by BMS with installation of multi-purpose dams and introduction of on-site recycling systems as follows: water demand of 5 MCM/day versus water production capacity of 7 MCM/day. (Tokyo Metropolitan Government, 2008)
In the Lower Chao Phraya River Basin, total water demand is estimated at 11.1-10.0 MCM/day in 2006. And it will be increased to 15.9-12.7 MCM/day by approximate 40-30% by 2020 due to ever stronger demand in industrial sectors (Pongsak Suttinon, 2008).
In particular, groundwater comprises an important component of water resources in both countries.
The Kanto Plain in Central Japan and the Chao Phraya Plain in Thailand are underlain by thick sedimentary layers containing aquifers which provide groundwater widely for long years. Recent whole groundwater use in the Kanto Plain and the Chao Phraya Plain is estimated at approximate 8 MCM/day (2.64 MCM/day for domestic use) and 3.4-4.0 MCM/day, respectively.
In the Kanto Plain, development of groundwater use had been developed since the beginning of 1900s in full-scale around Tokyo Metropolitan Regions mainly for industrial use. Regulations to control groundwater pumping were not enacted for a long time, since groundwater us was legally admitted to belong to right of a land owner.
As a result, disorderly exploitation continued for nearly a century to trigger groundwater-related hazards such as land subsidence and sea water intrusion. Such hazards were extended to Japan's economic growth period in 1960s. They became serious social issues including extensive flooding and un-equivalent sinking in residential areas.
In accordance, Industrial Water Law was enacted in 1956 to control extraction of groundwater in designated urban areas. Meanwhile, supply of piped water was ensured by Industrial Water Supply Law established in 1958. In addition, Building Water Law was enacted in 1962 to restrict new abstractions (Kazuki Tsuji, 2006).
In the basis of these combined measures, the land subsidence and sea water intrusion has been mitigated step-by-step since 1960s until now. In addition, oil crisis in 1970s has urged industrial sectors to save energy/water consumption and to promote in-house water recycling in the following manner: the recycled water ratio in industrial sectors has risen remarkably to nearly 80% by 2000s (Jun Matsushita, 2007).
In the Chao Phraya Plain, approximate one half of total recent groundwater use has been observed in the Lower Plain. This has caused steep land subsidence in the city center of Bangkok since 1980s as shown in **Fig.13**.
Further, the recent subsidence shifts extensively to industrial district in the vicinity of Bangkok. In the most critical zone, subsidence speed is standing at 3 cm per year or more as shown in **Fig.14.** Total accumulated subsidence up to now is as deep as 100cm at the maximum giving serious impacts to the region.
As a result, Thais have strong needs for introducing water conservation systems including regulations on free-style well-drilling for groundwater use in Bangkok and its vicinity.



Note: Bottled water supply was needed due to leakage in the loosened water pipes.

Fig.13 Un-equivalent Land Subsidence in City Center of Bangkok (1980s)

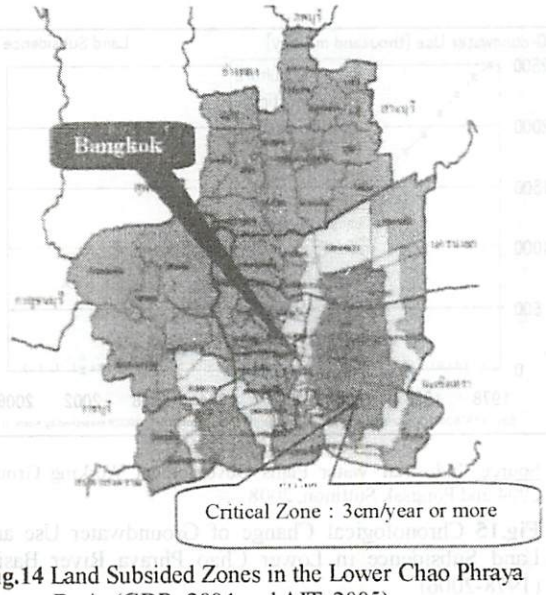


Fig.14 Land Subsided Zones in the Lower Chao Phraya Basin (GDR, 2004 and AIT, 2005)

Assimilation of Japanese-style BMS to Local Conditions

Thai government has been employing regulations on over exploiting of groundwater usage to mitigate above-mentioned land subsidence problems since 1970s.

Groundwater Act is enacted in 1977, and revised in 1992 and 2003. The act prescribes permission systems on new well-drillings, reporting on pumpage, designation of critical zone and setting-up of control committee, etc.

In Particular, groundwater use has been charged since 1984 in the basis of water use and conservation tariff. The rate has been increased step-by-step as follows: 1 Baht/m^3 in 1984-93, 3 Baht/m^3 in 1994-96, and 3-8 Baht/m^3 dependent on the consumption amount in 1997-present (Kazuki Tsuji, 2006).

It is apparent that such charging system effectively has been restraining abstraction of groundwater in recent years and results in mitigation of the land subsidence so far as shown in **Fig.15**.

Comprehensive Water Demand Control Systems

Comprehensive water demand control for groundwater/surface water use has not been materialized in Thailand.

Therefore, it is suggested that solving conflicts over appropriate water distribution among relevant sectors should be rather difficult under local socio-economic conditions. The most critical seems to be conflict between agricultural sector which is modernizing traditional flooding-irrigation and industrial sector which is rapidly expanding their demand.

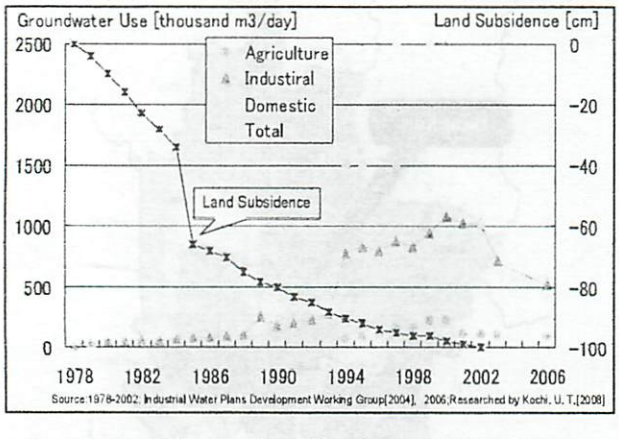
Further, it is realized during the joint seminar in Chulalongkorn University in 2007 that consensus making between both sectors is just commenced recently in the vicinity of Bangkok.

Applicability of BMS to Bangkok

In the Lower Chao Phraya River Basin, it is clarified that BMS is needed for the following dual purposes: (1) regulation for groundwater over exploiting and (2) water conservation on the condition of ever-tighter demand/supply balance with limited supply-side capacity

The charging system, introduced in 1984, has been workable to prevent groundwater over exploiting. On the contrary, it seems to be rather difficult to promote appropriate water conservation in the basis of public initiatives.

However, the water consumption per GRP basis has been reduced strongly in Bangkok as shown in **Fig.16** (Kenichi Komada, 2008). It is suggested that BMS, partly materialized up to present, could be workable for solving the tight demand/supply balance through introduction of in-house water-saving and/or water- recycling systems in the near future.



Source: Industrial Water Plans Development Working Group, 2004 and Pongsak Suttinon, 2008

Fig.15 Chronological Change of Groundwater Use and Land Subsidence in Lower Chao Phraya River Basin, (1978-2006)

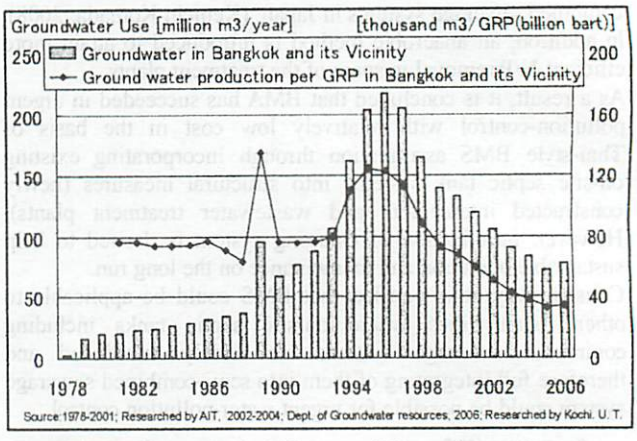


Fig.16 Chronological Change of Groundwater Usage in Bangkok and its Vicinity (1978-2006)

5. CONCLUSIONS

This paper analyzes the water-related infrastructure building process under rapid urbanization in Bangkok and verifies the workability of BMS to urgently attain three water-related objectives: namely flood-mitigation, water-pollution control and water-demand control.

As a result, the followings are concluded:

Flood-mitigation

Flood-mitigation became a very urgent task for BMA in 1980s when rainwater retarding capacity of wetlands disappeared promptly because of expansion of large-scale mechanical land reclamation methods.

Taking weak governance of BMA into consideration, recommendation was made for establishing rainwater reservoir and greenbelt systems by JICA experts in the newly-urbanized eastern suburb and sub-suburban area, respectively.

Since 1990s, BMA has created Thai-style BMS so as to be well assimilated to local conditions. The rainwater reservoir systems have been promoted based on public initiatives in line with King's instructions so-called *'Monkey's Cheek Project'*. And permission schemes have been introduced for small-scale housings with installation of on-site rainwater run-off reduction measures in the greenbelt zone.

As a result, it is clarified that BMA has succeeded in creating appropriate management systems for flood-mitigation with low cost in the basis of BMS.

Water Pollution Control

Water quality in the city's canal rapidly deteriorated in 1980s due to insufficient sewerage systems.

Taking into consideration financial deadlock to promote sewerage systems for BMA, incorporation of existing on-site septic tank systems into Bangkok-style semi-combined sewerage systems was proposed by JICA experts. Such particular systems were proved to be effective in reducing pollutant discharge by the test plant experiment. In 1990s, BMA has commenced the above-mentioned sewerage project at some of the 20 sub-divisions in total.

As a result, it is verified that BMA succeeded in boosting low-cost water pollution control within relatively short periods based on BMS, although introduction of charging system is desired for sustaining operation on the long run.

Water Demand Control

Water demand/supply balance becomes ever-tighter due to limited supply-side capacity and recent increasing demand. In particular, over-exploitation of underground water has caused strict land subsidence in the vicinity of Bangkok.

Adoption of BMS is not made in full-scale. In-house water-saving and/or water–recycling systems are not materialized yet, while charging system for groundwater use, introduced in 1984,

has been contributing to mitigate land subsidence.
In addition, the notion of water conservation seems to be infiltrating into Thai society steadily, since recent water consumption per GRP basis is reducing in Bangkok and its vicinity.

Future Tasks

As a whole, BMS are proved to be appropriate in solving water-related urbanization-inducing problems in Bangkok. They are possibly applicable to other Asian cities under similar conditions. Therefore, further extension of BMS to these cities would be very much desired.

ACKNOWLEDGEMENT

The author was engaged in the ODA executed by JICA in relation with flood-mitigation project in Bangkok in 1981-83. The support from many experts was very helpful to accomplish the assigned works.
The most memorable at that time is an opportunity to meet late Mr. Anuchit Sodathit, then deputy director general of Department of Drainage & Sewerage of BMA. He was all the way enthusiastically supporting our proposal on introduction of BMS. His strong will has been transferred to his successors: Mr. Mana Noppun., Dr. Kasemsan Suwanarat, Mr. Teeradej Tangpraprutgul, and Mr. Chanchai Vitoonpanyakiji, et al.
In addition, the author has been undertaken the case study on water-policy proposals for Asian countries financed by the Core Research for Evolutional Science and Technology (CREST) since 2004. The relevant research in Bangkok is very much contributing for preparation of this paper.

Mr. Anuchit S., 1981

REFERENCES

1) Camp, Dresser & Mckee, 1968, Master Plan for Drainage and Flood Protection in Bangkok, Thailand
2) Japan International Cooperation Agency (JICA), 1999, The Study on Integrated Plan for Flood Mitigation in Chao Phraya River Basin
3) Japan International Cooperation Agency (JICA), 1985, Master Plan for Drainage and Flood-control in Eastern Suburbs of Bangkok, Thailand
4) Jun Matsushita, 2007, Evaluation on Japanese Basin Management Systems－From the View Point of Appropriate Water-related Infrastructure Building under Rapid Urbanization, Japan Society of Shimanto Policy and Management, Vol. 5, pp16-24
5) Jun Sumiyama, Jun Matsushita and Kasemsan Suwanarat, 1986, Experiment on Municipal Wastewater Treatment in Bangkok, Thailand, Water Science Technology, Vol. 18, pp79-86
6) Jun Matsushita and Tunekazu Fukui, Appropriate Solutions for Urgent Pollution-control in Bangkok, Journal of Environmental Systems (Japanese), Vol. 14, pp81-86, Japan Society of Civil Engineers, 1985
7) Kasemsan Suwanarat, 2006, Impact of Flood Protection in Bangkok to the Area Up-stream, Proceedings of CREST
8) Katsuhide Yoshikawa, 2003, On the Watershed/Urban Regeneration in accord with Nature, National Institute for Land and Infrastructure Management
9) Kazuki Tsuji, Jun Matsushita and Sucharit Koontanakulvong, 2006, Comparative Study on Ground Water Conservation in the Flood Alluvial Plain: Tokyo and Bangkok, Proceeding of 3rd Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW) Conference
10) Kenichi Komada, Comparative Study on Basin Management Systems Tokyo and Bangkok, Master Degree Thesis, Shibaura Institute of Technology
11) Pongsak Suttinon, 2008, Water demand Management Model in the Lower Chao Phraya River Basin, Thailand, Doctor Degree Thesis (Kochi University of Technology)
12) Suhar Yanto and Jun Matsushita, 2008, Comparative Study on Wastewater Management Systems－Japan, The Netherlands and Indonesia, Proceeding of Social Management Systems Conference
13) Teeradej Tangpraprutgul, 2007, Bangkok Drainage and Flood Control System, Proceeding of Japan-Thailand-China Joint Symposium on Current Policy and Directions on Flood Damage Mitigation, Japan Science and Technology Agency
15) Tokyo Metropolitan Government, http://metro.tokyo.jp
16) Wilfrido Cruz and Kazuhiko Takemoto, 2004, Urban and Industrial Management in Developing Countries－Lessons from Japanese Experience, The World Bank
17) Yuji Hino, 2006, Land Subdivision Law of Thailand (Japanese Translation)

APPENDIX

A1: Regulations to Prevent Discordant Development in Thailand

It is not feasible to prohibit urban development strictly in the alluvial plain of Chao Phraya River, if such developments might be sustaining due expansion of flood damages.
In Japan, the scale of urbanization had been so huge that strict counter-measures against developments could not be feasible. Hence, the permission system is introduced to prevent discordant development projects in City Planning Act in 1968. Under this act, developers must install rainwater retardation facilities such as retardation ponds and/or infiltration trenches to reduce possible hydrological impacts to surrounding areas.
In contrast, Land Subdivision Law in 2000 stipulates the similar permission system to housing projects in Thailand. This law is drawn-up based on the precious Land Subdivision Control Law enacted in 1972, which stipulated the permission system by Ministry of Interior to the large-scale development with 9 housing lots or more.
Under this law, the development projects must clear the following requirements such as minimum lot area (200 m2), minimum width of road (8m), minimum drain diameter (50 cm), installation of communal wastewater treatment unit for 50 lots or more, creation of open spaces etc. (Yuji Hino, 2006)
As suggested from the comparison to Japan's permission system, the above-mentioned requirements are well prepared except for the one regarding installation of rainwater retardation facilities. (**Fig.A1** shows one of the typical housing projects in Thailand.)
Assumedly, adding such up-graded regulations to the present requirements is difficult from the socio-economic conditions in Thailand.

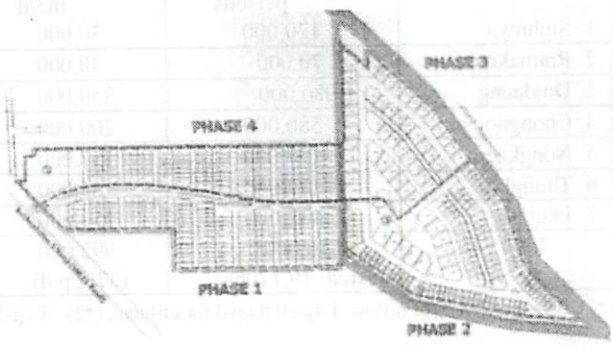


Fig.A1 Typical Housing Project Plan in Thailand
Source: Yuji Hino, 2006

As a result, BMA could introduce such regulations only for the housing projects in the Greenbelt Area as mentioned-above. This is why BMA officials are nowadays trying hard to make agreement with developers to install rainwater retarding ponds without legal background.

A2: Basin-wide Flood-mitigation in the Chao Phraya River

In case of flooding in Bangkok, the hydrological conditions in outer regions should be one of the key influential factors.

In the past, the flood water generated in Upper Chao Phraya River Basin inundated the basin and helped farmers to cultivate floating rice in rainy season. However, such natural irrigation mode has been disappearing rapidly, while high-yield short-stalk type rice has become popular. As a result, the flood water level in the Lower Chao Phraya River around Bangkok has been rising to impose flood risk to the city.

To solve the deadlock, JICA experts proposed the comprehensive plan for flood-mitigation in the Chao Phraya River Basin to Royal Irrigation Department (RID), the responsible body for water management in 1999. (JICA, 1999)

The plan is composed of tow elements: structural measures and non-structural measures as shown in **Fig.A2.**

Structural measures include mainly (1) river improvement including partial flood-control, (2) construction of flood way and (3) construction of dyke to protect Bangkok from the flood water.

On the other hand, non-structural measures include (1) conservation of rainwater retarding capacity in Middle Chao Phraya River Basin and (2) regulation to development projects in flood-prone areas in the basin.

Dyke construction project in Bangkok is commenced by BMA to solve recent inundation damages in the riverfront area, although local people oppose the project. Consensus making is strongly expected based on appropriate role allotments among relevant sectors in the near future. (Katsuhide Yoshikawa, 2003)

(原稿受付 2007 年 12 月 26 日)
(原稿受理 2008 年 1 月 25 日)

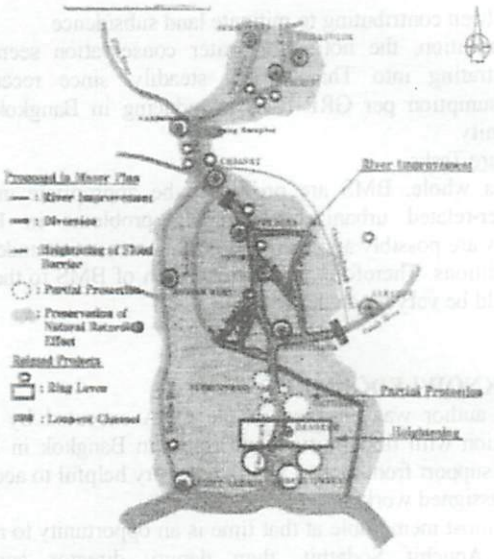


Fig.A2 Conceptual Plan for Comprehensive Flood-mitigation in Chao Phraya River Basin

A3. Development of Thai-style Semi-combined Sewerage Systems

Table A1 shows list of wastewater treatment plants which BMA started operations by 2004. And configuration of wastewater treatment sub-divisions in Bangkok is shown **Fig.A3**. (Hearing in 2004 and Site Survey in 2005-2006)

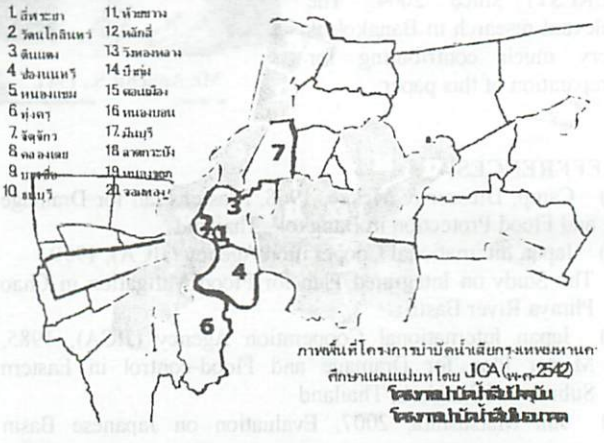


Fig.A3 Configuration of Sub-divisions for Sewerage Works in Bangkok (BMA, 2004)

Table A1 List of Wastewater Treatment Plant in Bangkok (2004)

Plant Location	Population Served	Design Inflow	Actual Inflow	BOD inflow (effluent)	TN inflow (effluent)
	persons	m3/d	m3/d	mg/l	mg/l
1. Siphraya	120,000	30,000	18,256	55.4 (5.0)	10.3 (4.1)
2. Rattnakosin	70,000	40,000	35,918	78.5 (11.3)	6.2 (4.3)
3. Dindaeng	1,080,000	350,000	175,484	35.7 (5.0)	18.3 (5.6)
4. Chongnonsi	580,000	200,000	129,033	32.1 (5.9)	9.0 (5.2)
5. Nongkaem	157,000	157,000	103,657	35.9 (5.5)	12.4 (7.4)
6. Thungkru	177,000	65,000	35,549	36.6 (5.0)	10.0 (6.7)
7. Jatujak	432,000	150,000	110,925	31.3 (7.5)	15.0 (11.2)
Total	2,616,000 Area: 19,170ha	992,000 (379l/p/d)	608,825 (233l/p/d)	37.3 (5.9)*1	13.3 (5.9)*2

(*1): 8.7g-BOD/p/d for inflow, 1.4g-BOD/p/d for effluent, (*2) : 3.1g-TN/p/d for inflow, 1.4 g-TN/p/d for effluent

[四万十・流域圏学会誌　第7巻　第1号　23-28　2007]

＜解説論文＞

「エコロジカル・サニテーション」と「バイオトイレ」

～大規模・集中から小規模・分散システムへの政策転換の意義～

村上　雅博*

1．はじめに

世界の総人口60億人(2000年)のうち10億人の人々が安全な飲み水を得ることができず、24億人が適切なトイレなどの衛生施設をもたない。世界で発生する排水の90%は不完全な処理または全く処理されないで排出されている。世界中に下水道を整備することは、全世界の経済レベルをはるかに超えていることが認識されており（Wildere 2001)、汚水を集中的に集めて処理をする従来型コンセプトの下水道では今後の問題解決策にはならないとの議論が展開されている。特に下水道建設費の約3/4は下水管路の整備に必要とされていることに注目すると、ドイツの例では今後の下水管路の更新と維持管理費に約1,000億ユーロ(=14兆円)必要となることが試算されている。

日本でも大都市圏では旧来の合流式下水道システムを基盤として整備事業が展開されてきた経緯から、分流システムの転換が困難な部分では合流改善を含めた高度な環境整備を行いつつ巨大な管路システムの更新に取り組む時期を迎える。都市型下水道整備が必要な地方の市町村レベルでは巨額の基盤整備資金投資が財政難の主要因となっており、さらに施設の維持管理や更新のために町が潰れるとの危機感まで出ている。

高知県香美市土佐山田町の例では、水道水源は伏流水(地下水)依存しているため安全な飲料水を90円/m^3という比較的低い水道料金で設定して収支がとれるが、15年前に完成した下水道は事業収支をとるために水道料金の2倍に当たる180円/m^3を町民から徴収している。利用者の立場に立てば、下水道が飲み水の2倍ものコストがかかっているという現実に注意と関心が必要である。さらに問題なのは、個人や集合住宅の敷地内部の汚水配管や水洗トイレ設置費用は民地内にあるため個人負担となり一軒当たり約70万円程度の支払いが必要となるため、下水道システムが完備されている町であるにもかかわらず一部の地域では水洗化が進まず、旧来型の“し尿”は汲み取り方式、“家庭雑排水”は用水路や河川に垂れ流しという状態が続いており、物部川の水質汚染の元凶と言われ続けている。

家庭で使用される水の25%程度が水洗トイレの洗浄水である。これはI飲料に適するレベルの淡水資源の浪費を意味している。またトイレで使用された洗浄水は標準型(活性汚泥方式)下水処理場で処理されるが、有機物(BOD)は90程度除去できるものの窒素・リン（N,P）は殆ど除去されないため、処理水中の栄養塩(N,P)が湖沼や海域に放流され、富栄養化を起こす主要因となっている。さらに水洗トイレ化によって、江戸時代に都市で発生した尿や糞便をし尿に替えて化学肥料を利用したことで、都市・農村結合型の循環型社会のケーテクノロジーを切り離し、農地環境は化学的な汚染が進み自然養分不足となる傾向が顕著である。我々は、日本の伝統的な衛生管理システムの原点を最評価し尿=排泄物という考え方から、し尿=資源の考え方に戻り、資源循環型社会の再生を目指す必要があると考えている。

衛生対策とは、社会の平等性や社会の持続性を可能にする決定因子である。衛生対策への新しい挑戦がなされなければ、私たちは次世代へ問題を残さずに現世代の要求を満たすことができないであろう。それゆえに衛生対策というものは廃棄物を取り扱う考えではなく、資源を取り扱う考えなのである。 最近に注目を集めている新しい環境技術戦略の一つでるエコロジカルサニテーションは、従来の排泄物を“処分”するという考え方から、廃棄物を“出さず”・”再利用“するという考え方にコンセプトを変えていくことにある。 ”集めない“・”混ぜない“<集中⇒分散>という基本的なコンセプトを共有し、エコロジカルに浄化した未利用資源（人間のし尿：N,P）を農地や森林に戻すことで土壌の改良や植物の栄養素の補給に再利用し、環境を汚染することなく自然の循環系を持続的に繰り返す。水洗トイレの水の節約と水質汚染を同時に著しく軽減し、エコロジカルな適正技術であるがゆえに水資源の保全のみならず地球温暖化対策の一助にもなると期待されている。 もともとは、ベトナムの地方農村の伝統的なトイレにエコロジカルサニテーションの原理と適用のヒントを得たスエーデンの環境エンジニアが、自国でシステム化し周辺のドイツでも開発が進み、さらに水不足に苦しむアフリカ諸国のトイレ普及のための国際技術協力の戦略的なオプションとしても世界の注目を集めている(Steven, 2001)。

集中から分散への政策コンセプトに移行するために適合する地域はどこかというと、都市部ですでに下水道が完璧に整備されているところではなく、下水道整備が未だに行き届いていない地方で、小規模の住宅郡と農地や隣地が共存する地域にある。とくに高知県の中山間地域のように気候が温暖で農地（畑）と森林が近接するロケーションと自然環境はエコロジカルサニテーションの導入にインセンティブを与えているため、高知県西部地域の中山間地域をモデルに検討を進めている。エコロジカルサニテーションの原型は糞と尿の分離にあるが、資源循環に展開する段階で、糞は自然（発酵）乾燥により量・容積ともに大幅に減少するものの大量に発生する尿は未処理のまま密閉して貯蔵し運搬する過程におい

* 高知工科大学　フロンテイィア工学コース　〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮の口 185

て問題が生じている。本研究の概念モデルで提案している四万十循環コンセプトは、家庭排水から生活雑排水（Grey water）とし尿（Black water）を分離するが、尿と糞便をわけずにし尿としてオガクズ（間伐材の切りカス）と混合して加熱する好気式のコンポストトイレと雑排水(Grey water)を自然循環式（四万十川方式）浄化システムおよび土壌処理を軸としたサステイナブル・サニテーション・システムの適用が地方村落地域の衛生環境管理の新しい政策的なオプションになることを期待している。

2．下水道システムの現状と最先端の課題

下水道システムは基本的に雨水と汚水を混ぜるタイプの“合流式”と分離するタイプの“分流式”からなり、都市下水道整備では過去は合流式、今日は分流式が主流である。分流式タイプの下水道整備は生活排水（雑排水(Grey water)、し尿(Black water)）を集めて集中的に標準活性汚泥法による二次処理を行い、処理水を水系に放流している。都市域では下水道整備（国土交通省所管）が基本であるが、地方の人口非密集地域では下水道の配管コストが著しく高くなるため、水洗トイレ化を進めるために日本独自の技術で開発された合併浄化槽（厚生省所管）の普及が進んでいる。下水道システムか合併浄化槽システムにするかは、汚水を集めて流す配管（ポンプアップを含む）費用の占める割合によってほぼ決まる。

浄化槽には汚水のうち、1）し尿(Black water)、2)生活雑排水(Grey water)、3）し尿(Black water)＋生活雑排水(Grey water)の3者を対象として、それぞれの目的に合わせた規模で処理をしている。このうち今日では最も普及が進んでいる、し尿と生活雑排水を合わせて処理する合併浄化槽には一軒の家庭レベルの個別浄化槽から数百～千人規模を処理対象とした中型浄化槽まである。合併浄化槽の欠点は、処理（滞留）時間が標準活性汚泥法の8時間に対して24時間と3倍ほど長く、処理施設の設置面積がより必要なため、コスト的な問題で人口が密集して高度な土地利用がなされる都市部に適応されることは殆どない。

最近では生ゴミのデイスポーザー処理が進んできているため、汚濁負荷量増大に対応した浄化槽の開発も進められている。さらに最先端の研究では、全ての生ゴミ（デシスポーザー）と生活排水（雑排水＋し尿）をUASB方式等で一括して嫌気処理してメタンガスを発生させた後に処理水中に含まれる未利用微量有用成分を抽出するシステムも検討されている。さらに生活生ゴミをし尿と一括して処理をするコンポスト型バイオトイレの開発も進んでいる。下水処理技術の最先端では、衛生対策というものは廃棄物を取り扱う考えではなく、資源を取り扱う考えに転換してきている。従来の排泄物を処分するという考え方から、廃棄物を出さず再利用するという考え方に変えていくことから大切な水資源を保全する循環型のコンセプトにチャレンジするために開発された手法がエコロジカルサニテーションであり、生活雑排水とし尿を分離して、1）糞便と尿を分離して処理する、2）糞便と尿を合わせて処理する、の2系統のアプローチがある。共に水洗便所とは異なり、基本的に水で洗い流すことはしないが、衛生状況を確保するために霧吹きで便器を洗うため、水の使用量は水洗便所の 8-10 リットル/回に比べて、1/100以下とごく微小である。この方式は生物分解型（エコロジカル・サニテーション）バイオトイレとも呼ばれ、今回に適用するエコロジカル・サニテーションの概念（水を使わず人間の排泄物を安全なものとし、農業に利用する）に最も近いものである。原理としては、水を一切（殆ど）使わず、おが屑と排泄物中に含まれる腸内バクテリアの働きによってし尿を分解するというものである。使用済みおが屑は窒素、カリウム、リンなどの無機物を含んでおり、肥料として循環再利用できるエコロジカルなシステムである。

3．エコロジカル・サニテーションシステムとバイオトイレ

生活排水処理の要点は、家庭雑排水とし尿をいかに処理するかにあるが、し尿の処理はトイレのシステムを工夫することから、水を使わないで処理可能な処システムが検討されている。上に述べたような水洗トイレの問題点から、新しいタイプのトイレが開発されている。それらのトイレは大きく洗浄水循環型、焼却・乾燥型、生物分解型（バイオトイレ）に分けられる。

（1）洗浄水循環型：一度洗浄に使用した排水を浄化し、再び洗浄水として利用するというものである。したがってし尿の洗浄、運搬に使用される水は繰り返し使われるので、ほとんど排水されない。このことは水を浪費しないという点では評価できる。しかし、し尿に含まれる栄養素は土壌に還元されないという問題が残る。

（2）焼却・乾燥型：ドライトイレとも言われるが、排泄物の水分を蒸発させて（焼却して）、灰にしてしまうというものである。洗浄水として多少の水も使用できる。排泄物が少量の灰になり、扱いが容易になる反面、エネルギーが大きく、コストもかかる。

（3）生物分解型：バイオトイレとも呼ばれ、エコロジカル・サニテーションの概念（水を使わず人間の排泄物を安全なものとし、農業に利用する）に最も近いものである。原理としては、水を一切使わず、オガ屑と排泄物中に含まれる腸内バクテリアの働きによってし尿を分解するというものである。使用済みオガ屑は窒素、カリウム、リンなどの無機物を含んでおり、肥料として利用できる。バイオトイレは便器の下が昔のくみ取り式の便槽になっている。 使用後にスイッチを押して便槽のオガ屑の中のスクリューを回転させる。バクテリアの働きを活発にするため、オガ屑を下からヒーターで暖め、更にスクリューでかき混ぜることで 酸素を供給する。糞尿 は約4～8時間で分解処理される。オガ屑の交換は便槽の容量や家族数で異なるが、年に1～2回の交換で済む。

人間の排泄物は、微生物やその卵、その他様々な生物を含んでいる。生物の中には病気を引き起こすものもいて病原体と呼ばれている。また、人間に寄生しているものもいる（寄生虫）。これらの生物のほとんどが糞便中に発見されているが、尿は一般に無菌である。新鮮な人間の糞便中にはバクテ

リア・ウイルス・原生動物・蠕虫（腸内寄生虫）といった四つの主な生物のグループがある。これらの生物は排出されたあと、すぐ感染するもの・感染までにある期間を要するもの・感染するまでに媒介としての宿主を必要としたりするものに分けられる。汚染された環境は人間を感染症や病気を引き起こす病原体という危険にさらす。

上述した環境条件の一つ一つは、病原体が生存するのに適したいくらかの幅を持つ。自然変化や人為的によって条件が変化すれば、病原体の死滅速度も変化する。例えば、温度が上昇すれば病原体の死滅速度も増加する。土壌中で糞便性大腸菌が 99%死滅するのに、夏場は約２週間、冬場は約３週間かかる。温度が 60℃以上になると、糞便中のほとんどの病原体はすぐに死滅する（表-1 参照）。

温度が 50℃から 60℃の範囲においては、バクテリアは成長することができず数分で死滅する。ほとんどの病原体は 30 分以内で死滅す原生動物から排出されたクリプトスポリジウムの接合子は、非常に強い抵抗性を示す。それらは回虫以上に環境のストレス（寒さ・高温・塩素やオゾンを用いた水処理）に耐えると考えられている。しかし、脱水化であればクリプトスポリジウムを死滅させることができる。実験によると２時間乾燥させたら 97%のクリプトスポリジウムの結合子が死滅し、4 時間ですべてが死滅した（松井　2003）。

4．エコロジカルサニテーションと物質循環

日本における一人当たり生活雑排水の BOD 負荷量は 27g/day、し尿排水の BOD 負荷量は 13g/day（(財)日本環境整備教育センター、2001）である。家庭排水の発生源別汚濁物質負荷を整理すると、し尿の負荷は有機物(BOD)で 44%、アンモニア態窒素で約 97%、リンで 80%を占める。し尿(Black Water）を分離・処理すれば栄養塩の循環再利用が可能となる。すなわち、排水を発生源で分離し、処理する、「集めない」システムの導入が望まれる。

人間の排泄物中の植物栄養素のほとんどは尿中に発見されている。成人一人当たり年間で約 400L の尿を排出し、それには 4.0kg の窒素、0.4kg のリン、0.9kg のカリウムが含まれている。面白いことにこれらの栄養素は植物に吸収されやすい理想的な状態で存在する（窒素は尿素の形で、リンは過リン酸塩の形で、カリウムはイオンの形で）。尿中の栄養素のバランスは化学肥料のそれと比べて充分に適している。1 年間各々の人間によって排出される 400～500Ｌの尿は、1 年間一人を充分養える 250kg の穀物を育成するのに充分な植物性養分を含んでいる。スウェーデンで 1993 年に排出された人間の尿中の窒素・リン・カリウムといった栄養素は、肥料総使用量の 15～20%に匹敵する。化学肥料と比べて重金属の混入が極めて少ないというのも尿を利用した肥料の利点の一つである。密閉型のコンテナで保存すれば、アンモニアの減少は最小限に抑えられる。

人間の糞便は主に消化されずに残った有機物、例えば食物繊維などを含む。一人１年当たりの糞便の量は 25～50kg で、0.55kg の窒素、0.18kg のリン、0.37kg のカリウムを含む。栄養素の含有量は尿より少ないが、それらは非常によい土壌改良剤である。脱水化や分解により病原体が死滅されてできた無害の有機物は、土壌の有機物量・保水能力・栄養濃度などを高めるために利用される。分解の過程によってできた腐植土は、植物を土壌の病原体から守る有用な土壌生物の健全な数を維持するのも助ける。

5．栄養塩の管理と再利用

家庭で使用される水の 25%程度が水洗トイレの洗浄水である。これは水資源の浪費を意味している。またトイレで使用された洗浄水は下水処理場で活性汚泥方により二次処理されるが、有機物（BOD）の 90%は削減されるものの栄養塩の代表である窒素、リンが殆ど除去できないために湖沼や海域に放流され、富栄養化を起こす原因になっている。富栄養化現象は水中のリン濃度に最も強い支配を受けているため、河川（流域）で 100%近く下水道整備が行われたのにもかかわらず、下流域の湖や沿岸海域では水質汚染問題（富栄養化）が未だに解決されていないという現実がある。さらに下水道の普及（水洗トイレ化）によってし尿を肥料としないことから起こった問題もある。これはし尿に替えて化学肥料を利用したことで、農地が養分不足となったことである。最近の有機農業へのチャレンジは食の安全性と土壌・生物資源環境の保全という地球環境的な視点から、日本のみならず、世界共通の問題意識になっている。特にリンは植物生産上の必須元素であるが、我が国は、リン需要のほぼ 100%を輸入に頼っている。輸入されたリンの多くは、肥料として利用されており、農産物を通して人間に吸収されている。一方、人間は、リンを 3～4ｇ/日・人程度（P205 換算）排泄しているため、し尿には多量のリンが排出されている。リンは限りある貴重な天然資源であるが、21 世紀末までにはリン鉱石資源の枯渇が確実視されているため、エコロジカルサニテーション技術を適用した未利用生物資源（し尿）の物資循環利用の可能性に注目が集まっている。 肥料の国内市場規模については、国内の化学肥料の販売額は、平成 11 年度で国内約 1,570 億円程度である。この内、熔成リン肥の市場は 50 億円/年程度である。

肥料要素である栄養塩（N,P）のうち、リン鉱石資源の枯渇が目に見えてきたことから、新しい未利用資源の一つであるし尿に多量に含まれるリンの回収が求められている。し尿から衛生的に肥料要素(N,P)を回収し、農業に循環再利用するシステムが構築されれば、結果として湖沼や沿岸海域の富栄養化の防止や軽減につながる。

下水処理分野では「リンが汚泥中に濃縮する下水道の特性を活かし、そのリンを活用する資源化技術」は、汚泥の最終処分という廃棄物問題だけでなく、天然資源枯渇問題にも貢献でき、供給側と利用側の思惑が一致した「付加価値の高い資源化製品」として流通させることが可能になると考えられているため、別途に開発研究が進められている問題は一般の都市下水には重金属や微量汚染物資（ホルモンや医薬品残渣）が含まれる可能性があるため循環再利用には注意が必要である。一方、本研究は住宅地系であるために生活排水のみを対象にできるため、排水の質が比較的に一定で安定しているため処理・再利用に適している。

6．中山間地域の仮想宅地開発計画におけるエコロジカルサニテーションの予備的検討

エコロジカルサニテーションの適用の具体的なケースとして、高知県中山間地域の仮想宅地開発計画について以下に検討する。このニュータウンは総人口1,333人と設定し、人口構成は1）一戸建て住宅（660人）、集合住宅（140名）、老人ホーム（50名）、寄宿舎・小学校（430名）である。地形的には丘陵地のゴルフ場を想定し、周辺は森林と農地(畑)に囲まれている。　集合住宅、老人ホーム、寄宿舎・小学校は地形の低い場所にまとめて配置される土地利用計画である。よって配管費用の制約が低いために通常の合併浄化槽の適応が可能で、全ての生ゴミ（デシスポーザー）と生活排水（雑排水＋し尿）をUASB方式等で一括して嫌気処理してメタンガスを発生させた後に処理水中に含まれる未利用微量有用成分を抽出するシステムの検討も可能である。計画対象地域内に分散して配置されている一戸建て住宅（660人）は雨水排水も下水排水も地形と地理的な条件から配管費がかかりコスト高になることから、分散型のオンサイト処理が有利であるとい一般に考えられる。計画総人口の50%を占める一戸建て住宅(660人)に、生活排水のうち、一般雑排水(Grey water)は単独浄化槽（自然循環型・四万十方式）、糞便と尿をあわせておがくずを循環利用して自然（微生物）熱処理するタイプのエコロジカルサニテーション（バイオトイレ）、を適用する。バイオトイレで処理する糞便はから生成される最終生成物（コンポスト）が植物（農作物ｂ）の肥料としてのポテンシャルを計算した。　原単位は計画水量：300l/日/人、　計画生活排水量：240 1/日/人、尿量：400 1/年/人、糞便量：36.5kg/年/人と仮定した場合、最終プロダクトとして生成されるコンポストの栄養塩(窒素：N,　リン：P,　カリ：K)は、尿系からN=2,460ｋg/年,　P= 264ｋg/年,　K= 594ｋg/年、糞便系からN=363ｋg/年,　P= 119ｋg/年,　K= 244ｋg/年　生産できるポテンシャルがある。　し尿系の合計ではN=2,823ｋg/年, P= 383ｋg/年, K= 838ｋg/年である。一方、殆どが尿系に含まれる塩分は原単位を 9g/日/人と仮定すると年間で2,168kg生産される。よって尿系は極めて効率の良い窒素肥料の代替となるが塩分を含んでいるため、土壌が降雨でリーチングされる野外の露地栽培に適していると考えられる。エコロジカルサニテーションが最初に検討されたスウェーデンの試算によれば、1993 年に排出された人間の尿中の窒素・リン・カリウムといった栄養素は、肥料総使用量の 15～20%に匹敵するとの例もあるため、より気候（雨量と日射量）に恵まれる高知県での適用性に期待がもてる。

7. エコロジカルサニテーション(バイトトイレ)を成功させるための条件

エコロジカルサニテーション（バイトトイレ）を計画する際に、以下の４点の留意事項と問題点と課題に注意が必要である。

（１）　キャパシティービルディング（利用者の認識、管理不足）の問題

最初に、世界で大規模にエコロジカルサニテーション（バイトトイレ)を導入して失敗したプロジェクトのレビューを紹介する。具体的には、使用者の認識、管理不足の問題使用者に適切な使用方法を教育することなしに実施して失敗した例がある。1992 年から 1994 年にかけて IDB（米州開発銀行)の社会投資基金財政でエルサルバトル政府がエコロジカルサニテーション（バイトトイレ）を 50,263 台導入した。導入の際の地域住民の参加はなく、地域住民に対する訓練もほとんどなかったということである。1994 年エコロジカルサニテーション（バイトトイレ）の使用状況に関して 6380 家庭に対してサンプリング調査が行われたが、39%が適切に使用され、25%が不適切に使用され、36%が全く使用されていなかったという結果が出た。その後この結果を踏まえて、家庭訪問による家族全員に対する教育、女性の参加、教育資料、使用者に分かりやすいモニタリングと評価といった衛生教育戦略ができた。最初の教育後に再度調査が行われ、そこでは適切に使用されている比率が 72%、不適切に使用されていたのが 18%、使用されなかったのが 10%という結果であった。このことから、エコロジカルサニテーション（バイオトイレ）を成功させるためには、トイレを設置する際に住民を参加させ、衛生教育を行うことがいかに大切であるかが分かる。使用者を参加させることで、自ら問題や必要性を完全に把握し、解決策の工夫、発見、健康と環境への影響を把握させるのである。

（２）コストとメンテナンスの問題

エコロジカルサニテーション(バイオトイレ)は現時点で、一般家庭用（一日 16 回使用）で 68 万円（本体価格）のコストがかかる。当然のことながら適切な維持管理が必要で合併浄化槽並みの費用もかかる。　現段階ではバイオトイレと浄化槽と水洗便所導入のいずれもが 70 万円程度の費用がかかる。水洗便所導入の場合は、水使用量の 25%を占める水道代金に加えてより高い下水処理代金までをも支払う必要がある。をエコロジカルサニテーション（バイオトイレ）の場合は、毎回の噴霧器洗浄など使用者が自分自身で手動でやらなければならない部分と、専門的なスタッフが定期的に施設のメンテナンスをおこなう部分に配慮しなければならない。どのタイプのトイレにおいても定期的な衛生検査と最終的にできた生成物（コンポスト）の除去が必要となる。基本的な操作やメンテナンスのマニュアルが整備され、自治体やNPO方式の衛生環境管理に民間委託専門スタッフが参画してシステマティックに維持管理が実施されるならば、利用者の負担が最小限に押さえられ可能性がある。

（３）　地域への適応性

エコロジカルサニテーション（バイオトイレ）には様々なタイプがあるが、どれだけ地域の個別の環境・社会条件に適応するかが成功の鍵である。適切なエコロジカルサニテーション（バイオトイレ）を選択するために考えられる地域的な環境・社会条件の留意点は以下の９点である。

1）気候（温度、湿度、降水量）
2）地形、土壌の特徴（水や汚染物質の土壌浸透状況）
3）エネルギー（太陽熱などの地域特有エネルギーが利用できるかどうか）
4）社会性や文化性（習慣、信仰、価値観）
5）経済（エコロジカルサニテーション（バイオトイレ）を支援するための個人、地域社会の経済的資源）

6）技術能力（地域特有の技術や道具で支援できるかどうか）
7）社会基盤（エコロジカルサニテーション（バイオトイレ）を支援する社会基盤や教育システムがあるかどうか）
8）人口密度や集落形態（処理する場所、貯槽する場所、生成物を利用する場所の有効性）
9）農業（地元農業や家庭菜園の特徴）

（4）行政の役割

都市部においてエコロジカルサニテーション(バイオトイレ）を進める場合には、政府や地方公共団体の協力が必要になる。例えば日本では合併浄化槽の設置や生ごみ処理機を購入する際に補助金を出している。これと同様に次世代型トイレであるエコロジカルサニテーション（バイオトイレ）にも補助金を出すシステムの整備が必要である。都市部での大規模なエコロジカルサニテーション（バイオトイレ）の実施は浄化槽に対応するような行政の援助や支援が今のところは不可欠である。さらに、最終生産物としてのコンポスト（堆肥）の農地への還元ルートを作り、堆肥に病原菌が含まれていないか定期的に検査するモニタリングシステムを整備する必要がある。できればバイオトイレのメンテナンスと堆肥の回収も浄化槽の管理のように自治体が中心になって民間委託も含めて行うか、将来的には専門性の高いNPO法人の育成行いながら、最終的には地域のNPOによるコミュニティーベースの自主的・持続的維持管理が可能となるような社会システムの形成を視野に入れる必要があると考えている。

今後の課題について考えてみると、エコロジカルサニテーション（バイオトイレ）は手動の霧吹き洗浄が必要なため、水洗トイレに比べるとやはり面倒である。現在、日本でエコロジカルサニテーション（バイオトイレ）を設置しようとするならば、事前に家の設計を考慮するか、リフォームに工夫が必要である。また、処理の最終過程で出来たコンポスト(堆肥）は定期的な回収ルートの確立が必要である。今までのところ都市部では家庭菜園で使用する程度であり、システマティックな農地（畑）への循環ルートは需要予測を含めてまだ確立されていない。分離された尿中に含まれる塩分は連続灌漑の過程で土壌の塩分集積問題が発生する可能性があるのでハウス栽培ではなく露地栽培で試験的に肥料効果を確かめて行く必要がある。日本では平均年間降水量が最も大きく太陽光にもめぐまれる高知県の中山間地域で住宅地と農地（畑）と森林が隣接して共存できる環境があるところからエコロジカルサニテーション（バイオトイレ）の展開をモデル的に図っていくことを提案したい。ただし、未来型の新しい提案であることから、エコロジカルサニテーション（バイオトイレ）が他の複数のオプション（代案）と技術的な妥当性や経済性を比較検討された上で適応が意思決定されるものであり、最終的な選択は地域（コミュニティー）の利用者が鍵を握るべきであろう。

8．おわりに

次世代の下水道システムと目されるエコロジカルサニテーションにおける「集めない」・「混ぜない」排水処理システムの利点を、土壌の汚染、物質循環、ならびに健康リスクなどの多様な視点から以下のように整理することができる。

- し尿の輸送に水（淡水：水道水）を用いないことから、水消費量を削減させ、水需要構造を転換し水不足・水資源管理のリスクを軽減できる。
- し尿に含まれる栄養塩類を水循環過程から分離でき、水質環境を保全につながる。
- し尿は安定な有機物源（コンポスト）に変換され、コンポスト内に濃縮保存されている栄養塩を農業に利用できる。
- し尿に多く含まれる微量有害化学物質を（ホルモン類、医療薬品残渣）を水循環系から分離し、科学物質拡散を防ぐことが可能となる。
- 病原性微生物・有害物質が水循環系から分離されることにより、水利用に伴う健康リスクを低減する。
- 処理すべき雑排水量が減少し、処理装置のサイズが小さくなり、運転コストも低減し栄養塩レベルも低下する。
- パイプ（配管）を必要としない（下水道建設の70%を管路費用が占める）

さらに、災害時には水洗トイレが使用不可能になる場合が多い。1995 年の阪神・淡路大震災では、トイレ数の不足、排泄処理をめぐってパニック状態が起きた。被災地では断水状態であるにもかかわらず、避難所のトイレで用を足す人が後を絶たず、数百基の仮設トイレもすぐに満杯になり使用不可能となった。多くの被災者がトイレのために飲食を控えていた報道が記憶に新しい。水を使用しないバイオトイレは危機管理の一つの切り札になる可能性がある。

本研究の概念モデルで提案している、家庭排水からし尿を分離するが、尿と糞便(Black water)をわけずに同時に混ぜて処理をするオガクズを使った好気式のコンポスト型トイレ（サステイナブル・サニテーション・システム）は、臭気を発生させず比較的限られたスペースで済むという特色があり、家庭雑排水(Grey water）を四万十川方式浄化システムおよび土壌処理を軸としてエコロジカルに処理・再利用可能であるという視点も考慮して、高知県の中山間地域のみならず、発展途上国の衛生改善のための一つの新しいオプションになるものと考えている。

エコロジカル・サニテーションは、特に水不足と環境汚染に悩む多くの発展途上国においての適用性はもちろん、先進国においても今後の不確実な水資源問題を解決していく上でも有効な代案システムとしてクローズアップされるときがくるかもしれない。エコロジカルサニテーション（バイオトイレ）が水洗トイレに替わる存在として、持続可能な循環型社会を担う一つの戦略的な代案（オプション）として大きな可能性を持っていることに確信を持ちたい。

（原稿受付 2007 年 10 月 02 日）
（原稿受理 2007 年 12 月 10 日）

引用文献

船水尚行　(2005) 持続可能なサニテーションシステムの開発と水循環系への導入に関する研究、科学技術振興機構(JST-CREST)、水の循環系モデリングと利用システム、第2回領域シンポジウム、講演要旨、pp. 50-63

松井三郎・監訳・(2003) 都市水管理の先端分野　行きづまりか希望か、技報堂出版

松井三郎・監訳、(2001) エコロジカルサニテーション: SID(Swedish International Development Cooperation Agency: Stockholm) 発行所：日本トイレ協会

虫明功臣・監修、船水尚行・橋本健・監訳 (2005) 分散型サニテーションと資源循環、技報道出版、pp, 117-132

Sanitation and Reuse (edited by Lens, P., Zeeman G. and Lettingga G.). IWA Publishing, London U.K., pp. 39-54

Steven A Esrey、Jean Gough、Dave Rapaport (2001) "Ecological Sanitation", SID(Swedish International Development Cooperation Agency: Stockholm)

Wildere P.A. (2001) Decentralized versus centralized wastewater management. In Decentralized

Web 資料：

石崎勝義、他　(2003) サステーナブルサニテーションによる流域の水・物質循環の健全化、
http://www.f.waseda.jp/ishizaki/ronbun/sasutenaburu.doc

山田恵 (2002) エコロジカル・サニテーションの概念とわが国への応用について、
http://www.f.waseda.jp/ishizaki/13/yamada.pdf

四万十・流域圏学会誌　第７巻　第１号　29-34　2007

＜調 査 論 文 ： ユースセッション＞

空芯菜を用いた2次生産型水質浄化農業の研究

愛媛県立北宇和高等学校　生産食品科　草花専攻班

1. 序論

近年、施設土耕栽培では、化学肥料、農薬を使うことにより大量の栄養塩類（窒素、リン）を含んだ余剰廃液が地下や河川に垂れ流され、水環境の悪化が問題になっている。

本校が位置する鬼北町でも、地元広見川の水質を分析すると、生活排水や農業畜産排水の流入により、窒素、リンが多く富栄養化している（図１参照）。

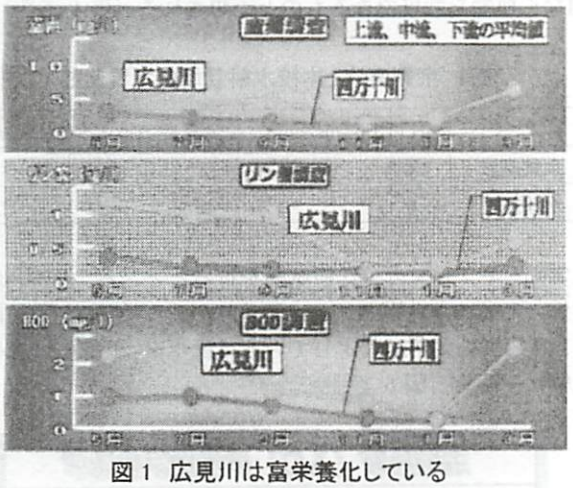


図１ 広見川は富栄養化している

こうした状況に先輩たちは、地域環境を見つめ直し「きれいな川（K）絶対（Z）増やす（F）」、略して KZF 活動と名付け、広見川などの水環境の保護活動を継続している。しかし、広見川流域の環境保護には微妙な問題をはらんでいる。広見川の水質汚濁の原因の一つは、農業排水による栄養塩類を含んだ泥水である。この栄養塩類を阻止しなければならないが、環境保護のための設備投資には多大なコストや労力がかかるためその取組が遅れているのが現状である。

KZF 活動では、４年前に生産農家に協力していただき、農業廃水の垂れ流しが少ない農業用水リサイクル型竹炭浄化水プールベンチを開発し、農家への普及に努めている。竹炭浄化水プールベンチは、循環式を採用しているため、汚濁水を川や地下に垂れ流す心配がなく、竹炭の水質浄化作用が一層、効果的である（図２参照）。

図２ 農業用水リサイクル型竹炭浄化水プールベンチ

しかし、プールベンチ栽培は、苗物や鉢物といった、花卉栽培中心の方式であるため、土耕による野菜栽培中心の鬼北町では農家への普及が思うように進んでいない。また、新しい施設の導入による多額のコストも農家への負担になっている。

2. 研究目標、計画

本研究では、農業による水質汚濁を減らすため土耕栽培において、リサイクル型竹炭浄化水プールベンチの技術を用いて、循環型隔離ベットを作り余剰廃液を流さない工夫を用いた。また、その廃液を水質浄化するため植物を使い２次生産として利益を生み出すことができれば解決に繋がるのではないかと考え、植物を使用した場合の水質浄化効果や、利益があるかという点を検証した。さらに、本研究は水耕栽培の余剰廃液を浄化するため、植物による水質浄化を研究している高知工科大学と連携し、農業生産に利用されることを前提として研究に取り組んでいる　。

研究計画は以下の通りである（図３参照）。

①循環型隔離ベットとミニ浄化池の作成
②ミニ浄化池での植物の生育と水質浄化効果の検証
③経済性の評価に加え、持続可能なプランであるか検証する

＊　愛媛県立北宇和高等学校　生産食品科（河添晋悟）〒798-1397 愛媛県北宇和郡鬼北町近永 942

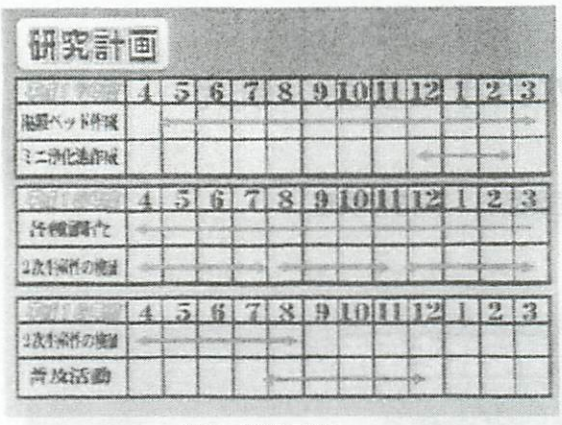


図 3 研究計画

3. 実施内容

3.1 循環型隔離ベッド、ミニ浄化池の作成

隔離ベットとは、培土を耐水シートの上に敷き込むことにより、地面と完全に隔離する方法である。特徴として、培土の交換が安易にでき、廃液を地下や河川に流さない環境に優しい栽培方法である。本活動では、80 cm深さ 30 cm強の溝を緩い傾斜をつけて掘り、畦の後方、一番傾斜がきつい箇所に水のたまるプールを確保した。このプールに溜まった余剰廃液を植物により浄化し、循環する。これは、ベットで栽培する植物の必要以外の廃液を再利用できるため、水資源の有効利用に繋がる。灌水と施肥は、培土上面に点滴灌水チューブ２本を設置した（図４参照）。

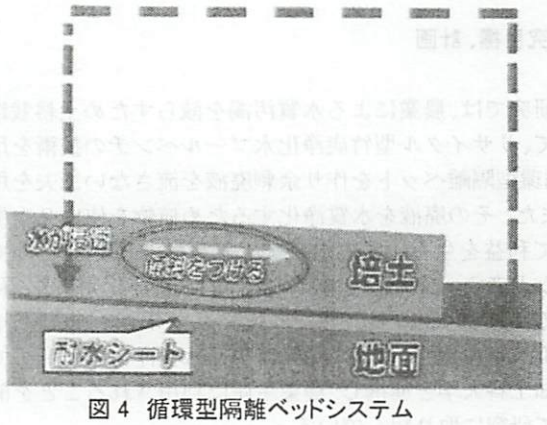


図 4 循環型隔離ベッドシステム

ミニ浄化池には、浮島式栽培床を３段設置し、汚濁水を植物により順に軽減していくビオトープ方式を導入した。余剰廃液は隔離ベットのプールからミニ浄化池にポンプアップし、水質浄化する植物の生育促進を図る（図５参照）。

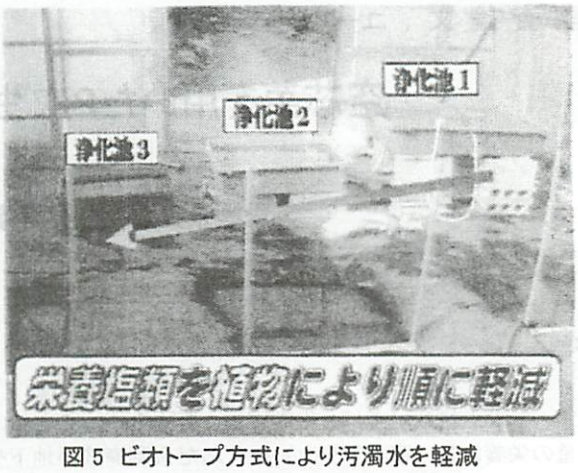


図 5 ビオトープ方式により汚濁水を軽減

3.2 水質浄化効果のある植物の選定

このミニ浄化池に溜まる余剰廃液の水質はph: 6.4、EC: 0.8 (ms/cm)、全窒素: 10(mg/l)、リン酸性リン: 2.5(mg/l)と、本校水耕栽培施設の溶液との比較でも大きな違いは見られず、問題なく植物を栽培できるものと予想される（表１参照）

表１ 余剰廃液と本校水耕栽培の水質比較

	pH	EC(ms/cm)	全窒素(mg/l)	リン(mg/l)
余剰廃液	6.4	0.8	10	2.5
水耕施設	6	0.75	9	3.5

実際、キンセンカで比較試験を行ったところ、土耕栽培と同等の品質の草花が栽培できた。しかし、水質浄化効果は薄く、高知工科大学が設定している目標窒素、リン酸削減率を大幅に下回る（図６参照）。

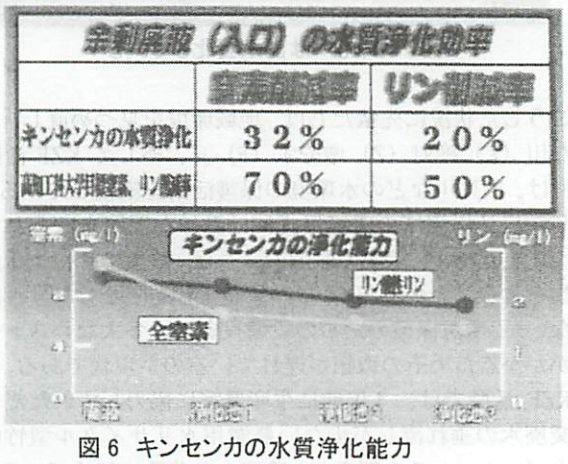


図 6 キンセンカの水質浄化能力

つまりミニ浄化池で栽培する植物の条件は、水質浄化効果があり、利益を生み出せる植物であることが上げられる。そこで、水質浄化効果の高い朝顔科の野菜、空芯菜に注目した。空芯菜は水質浄化能力に大変長けた植物で、一般に植物が育たない汚い水質でも育つといわれている。また、中華料理に利用され、市場では 1kg1,200 円で取り引きされる高級食材である。

3.3 実施テスト

この空芯菜を用いて、水質浄化の実施テストを行い、空芯菜の生育状況、水質浄化効果、循環式隔離ベットの節水率を調査し、高知工科大学のデータと比較した。浄化池１、２では、十分な成長が見られ、窒素、リン酸の吸収率も高い状態である。しかし、浄化池３では、空芯菜の成長に適した窒素、リン酸の濃度が足りないため生育不良を起こしている。（図７参照）また、浄化池による窒素、リン酸の削減率では、高知工科大学と同様に減少傾向にあり[1]、空芯菜の浄化能力は高く、効果的であることが分かる（図８ 参照）。

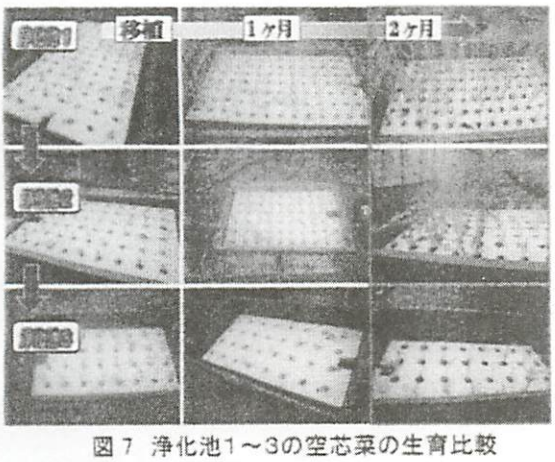


図７ 浄化池1～3の空芯菜の生育比較

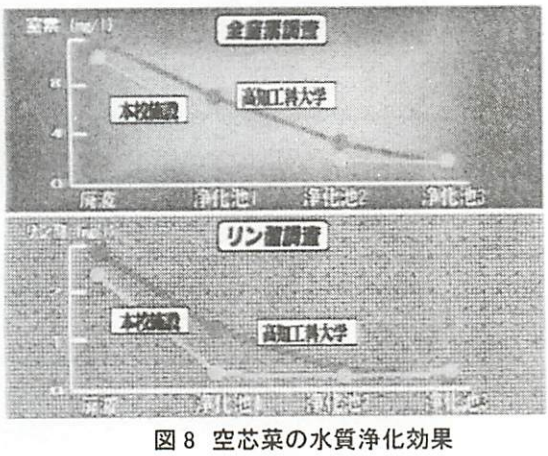


図８ 空芯菜の水質浄化効果

しかし、空芯菜は生育適温が 15℃から 30℃であるため、施設栽培でも冬場は枯死してしまう。そこで水槽用のサーモヒーターを設置し、課題に対応した。

節水率は、循環式隔離ベッド導入以前は 1kg の切り花を生産するのに 1,000 リットルの水を必要としたが、導入後、65%に繋がった（図９ 参照）。

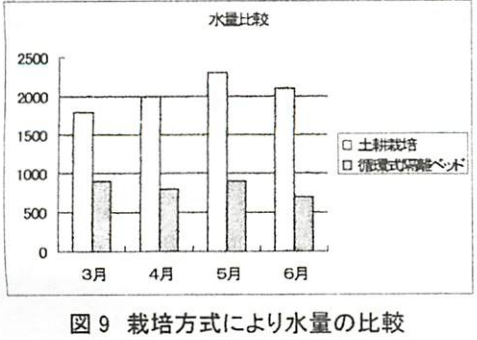


図９ 栽培方式により水量の比較

また栽培用土が安易に交換できるため、土壌消毒や土作りのための有機物施肥等の土壌管理への労力が削減できる。さらに連作障害への対応もでき、１次生産においても品質が向上され、16%の収入増になった（図 10 参照）。

図 10 ひまわりの収穫量の比較

3.4 経済性の評価

本研究をより多くの農家に取り入れてもらうには経済性の評価が重要になる。研究当初、空芯菜は認知度が低いため、販売や市場への出荷は困難を極めた。しかし、空芯菜の料理方法や本研究をまとめたチラシを作り配布した結果、徐々に売れるようになった。その結果、浄化池 1,2 の空芯菜を１年間で 20 回収穫、１束 200 円で販売し、53,000 円の収入になった。循環式隔離ベッド、浄化池の初期投資の 46,000 円と空芯菜の種代、2,800 円の費用を差し引くと 4,200 円の利益となる。単位面積当たりの収穫高は 554 円平方メートルとなり、浄化池の面積を増やせば農家における持続可能なプランであることが確認できた（表 2 参照）。

表 2 空芯菜の経済性の評価

	施設土耕栽培		循環型隔離ベッド栽培	
期間	本数	金額	本数	金額
5月	600	39000	820	54940
6月	1300	55900	1350	58050
合計	1900	94900	2170	112990

こうした研究結果は、各種イベントで関連パネルや空芯菜を利用した２次生産型水質浄化システムの小型モデルを展示した。また、普及センター、農協、農家を対象に講習会を行い、普及に努めている。

本研究の実験、結果をまとめてみると、循環式隔離ベッドの導入により 65%の節水、16%の収入増に繋がった。また、空芯菜を利用した水質浄化システムは窒素、リンの削減に大きな成果を上げた。さらに、空芯菜による経済性は費用対効果が高く、２次生産性があることが明らかとなった。

3.5 今後の課題

・浄化池３でのさらなる水質浄化の方法を検討すること
・施設周辺の環境改善効果や社会経済的評価の調査を実施すること
・　２次生産型水質浄化農業をマニュアル化し、多くの農家

に導入しやすい環境を創ることなどである。

4. おわりに

本論は愛媛県立・北宇和高校・生産食品科・草花専攻班と高知工科大学・フロンティア教育プログラムが高校-大学連携の地域環境研究教育プログラムを試行的に立ち上げたプロセスの一端を調査研究報告というかたちで取り纏めたものである。

2006年5月に高知女子大で開催された第6回四万十・流域圏学会学術研究発表会に北宇和高校・生産食品科の生徒が参加したさいに、ポスターセッションで高知工科大学と意見交換が行われたオリジナルな論文「空芯菜を用いた二次(植物)生産型水質浄化（千頭、村上)」をもとに発展させているので、参考資料として概要集からの抜粋(25-26頁)を以下に添付する。

謝辞

エコポンド方式の水耕栽培による第二次植物生産型の原型は高知県窪川町の「田井農園」にあり、高知工科大学と共に四万十川上流域の環境保全に取り組んでいる田井後御夫妻の協力と理解には記して感謝の意を表します。

（原稿受付 2007 年 12 月 21 日）
（原稿受理 2007 年 12 月 26 日）

参考文献

1) 千頭麻子、村上雅博（2006）空芯菜を用いた二次(植物)生産型水質浄化、四万十・流域圏学会第６回学術研究発表会、概要集、pp. 25-26

[四万十・流域圏学会誌　第７巻　第１号　　33-34　　2007]

＜参考資料：抜粋＞「四万十・流域圏学会第6回 学術研究発表会 概要集, pp.25-26, 2006」

空芯菜を用いた二次（植物）生産型水質浄化

○千頭麻子（高知工科大・大学院）、村上雅博（高知工科大学）

1. はじめに

近年河川や湖沼において富栄養化による水環境の悪化が各地で問題となっている。これは河川や湖沼へ生活廃水、農・工業排水が流入して発生する現象で、これらの廃水に含まれる栄養塩(窒素・リン)濃度が高いことが原因である。富栄養化を阻止するためにはこの栄養塩を排水から除去する必要があるのだが、今日の技術レベルでは、除去システムは高価で維持管理も含めて経済的に大きな問題がある。

高知県窪川町でナスの水耕栽培を営んでいる田井農園では、水耕栽培が高濃度の栄養塩を含んだ排水を大量に発生させていることを危惧し、隣接する遊休農地に池を掘り、浮島方式で水生植物を利用した水質浄化を行っている。この浄化システムは大変に効果的なもので、他の水耕栽培農家にも導入されれば、周辺環境の悪化を防ぐなど、社会的にも大きな効果を生むはずである。しかし、ここでは２つの問題があり、第１は、田井農園の浄化池では多種類の植物を混ぜて栽培しており、どの植物が浄化に効果的であるかなどの基本的な評価がされていない。第２は、このシステムは最初に土地を確保して池をつくり、植物の収穫などの手入れも必要であり、更に、経済的利益は生まないため、積極的に取り組まれていないのが状況にある。

現在、第１の問題に関しては多くの研究がなされている。そこで第２の問題に着目して、各農家が取り組みやすい浄化方法が必要であると考える。農業排水の窒素・リンの除去は法的には義務付けられていないため、各農家が余剰廃液の浄化に独自に取り組むには環境保全の目的の他に“＋α”が必要である。そこで、浄化に使用する植物を食用のものにすれば、食物連鎖型の環境保全と共に二次生産として利益を生み出すことができ、より積極的に地域レベルで取り組まれる可能性が出てくる。

2. 二次（植物）生産型廃液浄化の目的

田井農園における水生植物による水質浄化効果を明らかにし、水耕栽培で発生する栄養塩を多く含んだ余剰廃液排水を低コストで浄化するために植物(野菜)を使った二次生産型廃液浄化システムを提案し、上記浄化システムの経済性の評価を加え持続可能なプランであることを明らかにすることが本論の目的である。

3. 田井農園における水質浄化効果

田井農園に設けられている浮島方式の浄化池（以下田井池）の略図を図-1 に示す。

水耕栽培において排出される余剰廃液は窒素・リン濃度が非常に高いが、農薬などは混入されておらず、農業用水としての基準もクリアしている。この余剰廃益を図-1 に示すようなルートで各池に浮かせた植物によって窒素・リンを吸収・吸着させる。池(1～5)には底にシートを張ってあるが、5 池は底に土を入れている。図-2 に田井池の全窒素(T-N)調査の結果を示す、原液とは余剰廃液のことを示す。

窒素濃度は池を下るに従って池 1 から池 3 にかけて約 300 mg/ℓ から約 4 mg/ℓ へと、著しく低下している(図-2 参照)。川の窒素濃度の平均が 1.16mg/ℓ に対して、第 4 池では窒素濃度平均が 1.54mg/ℓ となった。最終の第 5 池では窒素濃度の平均が 1.75mg/ℓ と濃度が上昇したが、これは、池の底に土を入れていることが影響していると考えられる。リンに関しても窒素とほぼ同様の結果が得られ、これらの結果から田井池の植物による浄化効果があることがわかる。

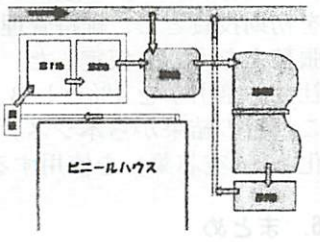


図-1　田井池の概要図

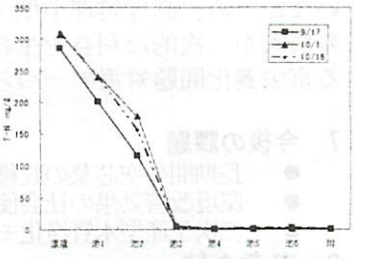


図-2　田井池の全窒素濃度変化

4. 二次生産型水質浄化システム

水生植物を利用して水質浄化を行うことにより、より低コストでエコロジカルに窒素・リンを除去し、下流の河川・湖沼への環境負荷を軽減させる。そして、一度使用して捨てられるはずの余剰廃液によって、更に食用の植物を二次的に栽培することで利益を発生させることを意図して、以下の実験を田井農園にて行った。

農園内の一角に浄化池のミニモデルとして一辺約 120cm 水深 40cm の池を 3

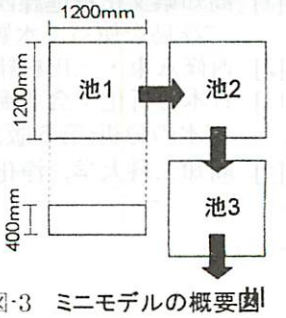


図-3　ミニモデルの概要図

つ連続してつくり、水耕栽培の余剰廃液を受けて水生植物の成長量と浄化能力を測定する。ミニモデルの略図を図-3 に示す。

実験に使用する水生植物には食用種を選び、夏季は「空芯菜」、冬季は「クレソン」とする。「空芯菜」は中国原産の植物で、広くアジアで食されており、悪質な水環境でも育つ植物で、水質浄化能力の高い野菜である。実験期間は「空芯菜」が 2005 年 8 月 26 日～10 月 16 日で行った。冬季は「クレソン」の栽培が可能であると考えていたが、2005 年度の冬季は異常寒波で、クレソンの成長が平年に比べて小さかったため、考察に値する結果を得ることができず、「空芯菜」のみの結果について考察する。

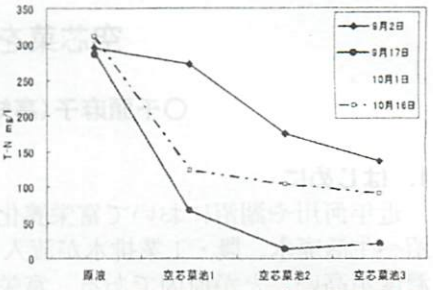


図-4　空芯菜池の全窒素濃度変化

「空芯菜」を栽培したミニモデル池(以下空芯菜池)における実験期間中の全窒素(T-N)濃度の変化を図-4 に示す。

上記のグラフからわかるように、空芯菜池２から３への間であまり激しい低下が見られない。更に「空芯菜」の成長に関しても空芯菜池１，２はほぼ同等の成長であったのに対し、空芯菜池３は目に見えて成長が小さかった。これらの結果から、本ミニモデルを使用して「空芯菜」を栽培した場合、空芯菜池１，２で多く全窒素・リン酸態リンが吸収・吸着され、空芯菜池３程度の濃度では「空芯菜」の成長に十分な濃度ではないと考える。リン酸態リン(PO4-P)もほぼ同様の減少傾向が得られた。これらの結果を踏まえて、雨量を顧慮した「空芯菜」の全窒素・リン酸態リンの吸収・吸着による削減率を調査間隔の２週間ごとに平均値より算出した。結果(表-1)は全調査期間の平均値である。

高知工科大学で導入されている回遊式間欠ばっ気浄化槽(二次・三次併用処理)では全窒素の最大削減率は 70%、全リンは約 50%が目標値とされている。このような高性能水処理システムと比較しても、「空芯菜」の浄化能力は高いことがわかる。

表-1　空芯菜の栄養塩減少率

全窒素削減率	リン酸態リン削減率
85%	83%

5. 田井池をモデルとした費用と収益

実験の結果より、「空芯菜」を田井池の第 1,2 池にて栽培し、第 3 池以降で通常の植物によって更に浄化を図ることができる。そこで、「空芯菜」の二次生産効果を検証するため費用と収益の概算を行なった。

収益(Benefit)の概算では、仮定条件として 1,一度の収穫で 1 株から 1 束収穫(200 円)　2,5/1～10/15 の栽培期間で 2 週間に 1 度の収穫　3, 単位面積当たりの収穫量はミニモデルから算出して 2.8 束(556 円)とする。概算の結果は 1 期で約 11 万 8500 円となった。

次に 費用(Cost)の概算だが、田井農園の経験を参考として、田井池全 5 池を掘り、シートを張るまでを初期投資とし、維持管理費として、1 年目に 3 万円、2 年目以降は 2 万円、更に 5 年ごとにシートの張替えをすると仮定した。

社会的割引率を 4%としB/Cを算出すると 10 年間で 2.2、20 年間で 2.6 であった。

これらの結果から本システムはそのまま排出すれば環境負荷となる水耕栽培の余剰廃液を高い率で浄化し、「空芯菜」を使用することで、二次的な利益を生むことができる。

6. まとめ

本研究は現在水耕栽培を営む個人農家において余剰廃液を浄化して排出することは義務付けられていないため、高度処理小型プラントの導入や水生植物による水質浄化の導入に踏み切らなかった多くの農家が二次的な利益を生むことにより本システムを取り入れやすくなり、同時に河川・湖沼における富栄養化問題対策の一つとなる可能性を秘めている。

7. 今後の課題

- 長期間の空芯菜の収穫量と物質収支の測定
- 環境改善効果の社会便益の評価
- 二次生産型水質浄化モデルのマニュアル化

8. 参考文献

[1] 高知県文化推進課四万十川流域進行室,
“浮島を使って水質浄化”, (パンフレット)
[2] 西條八束・三田村緒佐武, “新編湖沼調査法”, 講談社, pp.69-103, 1995 年
[3] 日本分析化学会北海道支部編,
“水の分析(第５版)”, ㈱化学同人, pp.307-331, 2005 年
[4] 高知工科大学, 浄化槽設備工事特記仕様書

[四万十・流域圏学会誌　第7巻　第1号　35-38　2007]

＜調査報告＞

四万十材木造住宅

大原　泰輔*

1．はじめに

日本海から太平洋までを高速道で結んだことを誇るように、米子を後にしてしばらく走ると「太平洋まで250ｋｍ」との表示板が現れる。松枯れのあとも痛ましい中国山地や荒々しい花崗岩地帯の瀬戸内を過ぎ、鬱蒼としたスギの造林地を両側に見るのは、「太平洋まで50ｋｍ」の表示を目にする高知・徳島の県境近くになってからである。まことに「木の家」を建てられる優良な木材の供給地は250ｋｍのうちの最後の50ｋｍなのかと、その貴重さへの思いを深くする。

高知県内の人工林（針葉樹）面積は3,883平方キロメートル、県土の55%を占める。その蓄積材積は94,129千㎥にのぼり、わが国有数の降雨量と日照時間がもたらす成長材積は毎年3,220千㎥といわれる。材価不振の現在ではあるが、その蓄積成長量を山から原木市場まで降ろせば総額500億円（平均単価15千円／㎥として）に値する。これに製材・乾燥の手間を加え、建築用材とすれば1,000億円（建築材／原木の減歩率50%、建築用材平均単価60千円／㎥として）の材価となる。蓄積成長量だけで「木の家」10万戸分に相当するが、その大工手間賃もざっと1,000億円になる。もちろんこの全てを高知県内で取り込むことは出来ないのだが、県内ＧＤＰが２兆円と言われる県民経済にとって、目を見張るような付加価値を生みだす可能性がある資源が目前にある。

しかしながら、県産素材の供給量は全樹種で405千㎥（平成15年）であり、県内にあまねく存在し、いつまでも持続的な利用が可能な資源、森林の利用率（生産量／成長量）は10数%にすぎない。しかも県産素材の大半は原木のまま県外に移出され、県内で製材される建築用材は他県材・外材を含めても155千㎥にとどまっている。そして山は荒れ、中山間の過疎化はとまらない。

2．高知県の木材住宅

一方で、「木の文化県」を標榜する高知県は、３階建て木造県営住宅や木造アーケードをはじめとする公共施設等の木造化に力を注ぐと同時に、県産材を利用する木造住宅新築に対する助成制度も整備・拡充してきた。しかし、県内の公共施設の木造化率は19.4%（平成15年度）と、全国平均23.1%におよばず、高知県は平成16年10月に「県産材利用推進方針」を策定し、県有施設の原則木造化などによる木造化推進に取り組んでいる。

また、住宅供給面においても、県産材による住宅供給の主力である地元供給業者、すなわち「地元ビルダー及び工務店・大工」の手になる住宅戸数は、林産地を誇れるほど多くはない。表１(p-5)に示すように、地元供給業者による住宅戸数の比率はかろうじて全国平均を上回るものの徳島県にはおよばず、愛媛県や森林資源を持たない香川県と同程度の77%である。また、県産材を多用する可能性がある「在来軸組み構法」は全戸建て住宅（平成15年度 2,490戸）の約半分、千数百戸と推計できる。

県産材に係わる状況を要約すれば次のようになる。

1) 県内人工林の年間成長量は県産材供給量の10倍に上り、膨大な資源が活かされないまま眠っている。
2) 高知県は県産材利用の促進に取り組んできたが、公共施設の木造化率は２割弱であり、全国平均を大きく下回る。
3) 県産材を多用する地元業者による「在来軸組み構法の住宅」供給戸数は、年間千数百戸であり、全戸建て住宅の半分に過ぎない。

3．高知県の木材産業

本調査の目的は「住宅への県産材利用促進による循環型社会の構築」にある。そのために、上記のような状況をもたらす問題点は供給側（川上・林業）にあるのか需要側（川下・住宅産業）にあるのか、あるいは双方をつなぐ加工・流通（川中・木材産業）にあるのか、まずその解明からはじめた。

その結果判明したことは、余りにも細分化された各業種の「零細分立」状況である。建て主の要望に応え、家一軒分の木材を揃えるために必要な商品も情報も零細に分散している。川上から川下まで、小規模な事業所同士が地縁や人縁を頼りに、狭い範囲でつながって、お互いの需要と供給をやりとりしている。

事業所の零細分立すなわち商品や情報の零細分立は、業者間の問題として比較購買の機会を失わせ、コストへの取組みを曖昧なままに終わらせる結果になっている。そして同時に、消費者（建て主）による商品や情報への近接権を阻害し、「木造建築は不明なことが多すぎる」というマイナスイメージを拡散することにつながっている。地元の大工や工務店に頼むと、価格や性能に信頼性がおけないと言われる背景である。

なぜ林業・木材産業は零細分立しているのか？調査取材を通じて判明した理由が二つある。

1) 一つは、木がクセを持つ生き物であるために、木に係わる職種すべてが個人に属する技能「職人ワザ」で支えられていることである。このことが組織的な課題解決を妨げ、企業的な取組みへの発展を阻んでいる。
2) 二つ目が、現行の「公的な助成制度」が事業所の零細分立を守る機能を果たしていることにある。森林組合・協同組合など業種ごとの水平的な連携・協業

* 〒787-0029　高知県四万十市中村小姓町31

化は、助成制度適用の前提条件となる例が多く、助成を受けた事業の実施を通じて、零細な各組合員の成立基盤を整える。近時、組織や事業所の統合を働きかける助成制度が増えつつあるが、一つ目の理由とあいまって、ぬるま湯から抜け出す決断は少ない。また木の流通を円滑にするために欠かせない、組織間の「縦の連携」も見られない。

しかし、いずれの理由も消費者の都合ではなく、生産者内々の都合である。零細分立の弊害はクレーム対応力の低下につながる点にもある。俗に「住宅産業はクレーム産業だ」などと言われる。手作りが多いことの他に、生き物である木を使うことにも起因する。木は、色艶を増したり渋みを感じさせる経年変化はともかく、「経年変形」が避けられない。クレームは工務店から材木商へ、材木商から製材業へと、商品の流れとは逆に遡っていくが、多くの事業者はそれを受け止めるだけの事業規模を持たない。関連業界が零細分立のままでは、「土佐の木の家」の推進は困難である。

その解決のための提案と試行として、二つのモデルの具体化に取り組んだ。

1) 業界間へ：県産材の「バーチャル木材市場」（A コース：土佐の木のネット市場）のプロトタイプの作成
2) 産消間へ：「地元の木で家を造るネットワーク」の四万十川流域における具体例（B コース：幡多の木の家をすすめる会）の構築

A、B 二つのコースはいずれ一体化すべき手段ではあるが、現時点ではともに未成熟であり、実用への道半ばである。しかし関係者の評価は高く、参加を希望する意見も多い。これを現時点での到達点として、調査・研究の成果を報告する次第である。

4．課題と展望

本調査の結論として、これからすすめていくべき方向は次の三点と考える。

1) 木材コンビナート（第５章第１節：高知県林産品活性化ビジネスモデル）に代表されるような「木材に係わる諸事業の垂直的統合」を、県外市場を視野におきながら推進すること。
2) 木に係わる業者間の取引条件を開示しながら、流通を促進するために「IT 利用によるオープンな“B to B”の仕組み」（第５章第２節：土佐の木のネット市場）を、鹿児島建築市場に代表される住宅供給側のロジスティック改革に呼応する形で開発すること。
3) 森林から住宅まで、木に係わる人々が連携して、「地元の木で家を建てるための学習と交流の場」（第５章第３節：幡多の木の家をすすめる会）を県内各地で構築すること。

この二方向のテーマは、すでに具体化に向かって走り始めている。

1) 「木材に係わる諸事業の垂直的統合」は、高知工科大学・高知大学などの連携の元に、「高知県林産品活性化ビジネスモデル」として、平成 17 年度中にフィージビリティスタディの実施が予定されている。
2) 「IT 利用によるオープンな“B to B”の仕組み」は、この調査・研究を通じて作成された「土佐の木のネット市場」システムを運用するための、NPO 設立準備の段階に来ている。仮称「特定非営利法人フォレスト」の設立を待って、参加会員の募集やシステムの確立を目指す考えである。
3) 「地元の木で家を建てるための学習と交流の場」は、この調査・研究の中で開催した「幡多の木の家をすすめる会」（準備会）を、本件業務受託者である四万十楽舎が中心となって発展・拡充させていく予定である。

以上のような提案とその実施は、木に係わる業界への取材を通じて得られた様々なヒントに負う。それは次のようにまとめられる。

◇木に係わる業界で語られた「県産材振興のためのヒント」

1) 積極的に木の良さをＰＲし、木の良さを知ってもらう必要がある。

- 木の家の良さを消費者へのアピールする
- 県産材の一部屋を薦めることから始めて、土佐の木の家を推進する
- 山から建て主までの縦の連携を目的に、小さなネットワークを作ろう
- 「幡多の木の家をすすめる会」への参加を含めて、川下側の学習の機会を作ろう
- 産地ブランドが重要である。その確立への支援を求む
- 環境への貢献度を明示することも大事

2) ローコスト化への取組みをする。

- 信頼のネット市場を整備し、参加する
- ローコスト住宅や規格化住宅の開発が必要である
- 川上から川下までを結ぶ「縦の協同組合」を作りたい
- 山側に木材総合センターを整備して、山側で製材まで行う
- 若齢木の商品化や多用途の開発をする
- 川下では国産材価の 20%圧縮を求める声がある
- ローコスト化の本命とも言える中間流通の短絡化を明確に打ち出す意見がある一方で、中抜きは地域経済に寄与しないとの声もある

3)　業界の体力と競争力の向上を図る。

- 山林整備で良材安価の基礎を作る
- 小規模林家の団地化、製材所の統合、材種別に特定市場への集中、県産材総合市場など「大規模化・集約化・統合」の声は非常に多い
- 川上対策と同等の製材等加工業への助成を求める
- 物流コストの高さを上げる意見が多い。すでに数件の共同物流機構が検討されているが、帰り荷がないという高知県の宿命をどう乗り切るか
- そして大量出材期へ対応準備とすべきである

4)　品質保証が欠かせない。

- 木のトレーサビリティを構築しよう
- 価格という品質を安定させるため、相場の平均化機構が欲しい
- コスト構造の明示を求める
- 産地認証をすすめ、県内産地認証材への公的助成を求める

5)　需要を開発をする。

- 設計士との連携などで、商品計画の機構をつくるコスト構造の明示を求める
- 県外大手等の需要を開発する
- 低金利住宅ローン商品を期待する

注記：

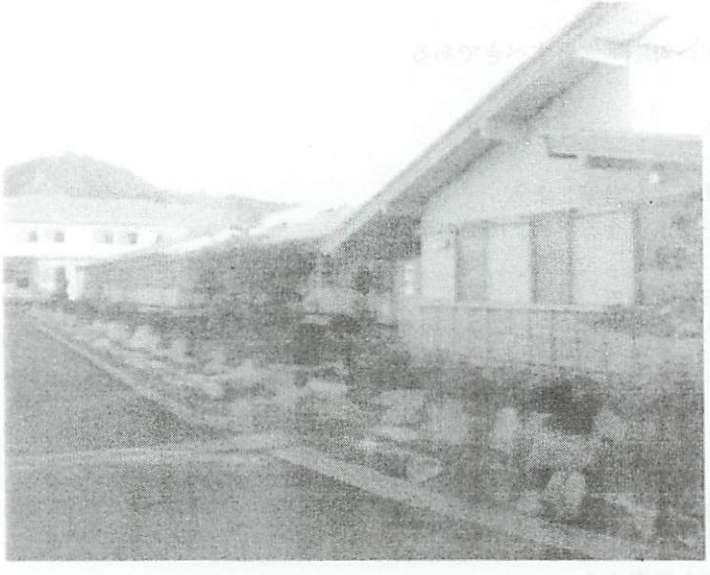
素材から建築まで、木に係わる全ての業種が集う社団法人高知県木材協会は、27の団体と43の個人で構成されている。構成団体は各種助成制度の窓口でもある。

在来軸組み構法による住宅供給戸数のデータはない。住宅統計（県住宅企画課）によると、平成１５年度県内新設住宅は5,815戸、うち木造が2,096戸（36%）である。戸建てというくくりでも2,490戸（43%）となっており、県内の住宅供給の主流はマンション等の集合住宅になっていることが判る。

住宅統計の「木造」にはプレファブ工法（1,004戸）の一部や枠組み工法（90戸）も含まれているので、この調査・研究の主な対象となる「在来軸組み構法による木造住宅」の供給戸数は推計するほかない。非木造系プレファブ工法による供給量を数百戸と見なせば、年間千数百戸といった所であろう。なお、県内で非木造系プレファブのほとんどを供給している大和ハウス工業（株）への問い合わせに対しては、「回答できない」とのことであった。

また、全国各地の建築計画概要書を閲覧して３階建て以下の低層住宅の供給実態を求めている（株）住宅産業研究所によると、平成15年のビルダー（ほとんど県内業者）と工務店・大工による供給戸数は、それぞれ743戸と1,226戸、計1,969戸となっている。この戸数の中にも非木造や枠組み工法が含まれるから、それらを差し引いた「在来軸組み構法による木造住宅」は、やはり千数百戸という漠然とした範囲に推測するしかない。

引用文献



高知県春野町に全館木造病院が竣工

四万十・流域圏学会誌　第７巻　第１号　　39 － 46　2007

＜研究報告：ユースセッション＞

物部川と環境教育

～やってみる！感じる！つなげる！のいちの子～
大すき！　山・川・海　~たんけんしよういろんな所へ~

野市小学校*

1. はじめに

旧野市町は物部川の下流域に位置し，藩政時代に野中兼山によって水路が整備され，豊かな自然をいかし農業を中心として栄えてきた町である。近年，高知市から自動車で約３０分という近さや鉄道の開通等によって，高知市のベットタウンとして急速に住宅地化が進み，町は従来の田園風景と，新しくできた住宅地や商業地が混在するようになった。そのため，人口は増え続けており，本校は高知県東部地域では最も児童数の多い学校である。また，平成１８年３月には近隣の５町村と合併して香南市野市町となった。

こうした状況の中で，香南市では環境に優しい街づくりをめざして，旧野市町に引き続きさまざまな取り組みを行ってきている。

本校は平成１７年度に環境省の学校エコ改修と環境教育モデル事業の指定を受け，研究を始めた。また，長年，算数教育に視点をあて，少人数指導など効果的な指導方法のあり方や学力向上のための方策について実践研究してきている。

本校の学校教育目標は「人間性豊かで主体的に生きる子どもの育成」である。「人間性豊かで」とは人や自然，社会とかかわることで感性豊かに生きる子を表している。また，「主体的に生きる子ども」とは，自ら考えて問題を解決し行動できる子，自ら学びを創りだす子を目指している。

本年度は，本校が従来培ってきた算数科の研究をさらに進化させたいと考えた。具体的には算数科で学んだことを机上の学習に終わらせるのではなく，他の学習や日々の生活のいろいろな場面で活用できる子に育てたいと考えた。また，同時に今日的な課題である身の回りの環境について考えさせ，それを学ぶことで未来をつくる確かな能力や資質を育てたいと考えた。そこで，研究主題を「見て　ふれて　学びを広げる　のいちの子」と設定し，実践研究にあたることにした。

2. 研究主題について

「見て　ふれて　学びをひろげる　のいちの子」とは，まず，自然をゆたかに感じることのできる子どもである。五感を使って，自然を体全体で感じる子どもである。そして，それを自分なりに表現できる子どもである。

また，活動を通して感じたことを自分なりの問題にすることができる子どもである。子どもは身のまわりの自然や人や社会とのかかわりの中で学習材と出会い，見る，ふれる，試す，感じる，調べるなどのさまざまな活動をする。その中で，今までとは違った自然との出会いをするだろう。また，子どもは自然と直接かかわることで，もっとやりたい，もっと知りたいという気持ちを強めるだろう。やがてそれは子どもの自分なりの問題となると考える。言い換えれば，自分で解決したくてたまらない問題をもつことのできる子どもである。

次に，その問題を解決するために，自ら方法を考え，実行し，他者とのかかわり合いながら解決できる子どもである。そして，それらの学習を通して学んだことを自分自身の生活の中にいかしたり，自分の周りにひろげていこうとする子どもである。

3. 研究仮説

子どもの活動を重視した感じる場，人や自然や社会とかかわりながら問題を解決する場，学んだことをひろげる場を工夫すれば，学びをひろげるのいちの子どもを育成できるだろう。

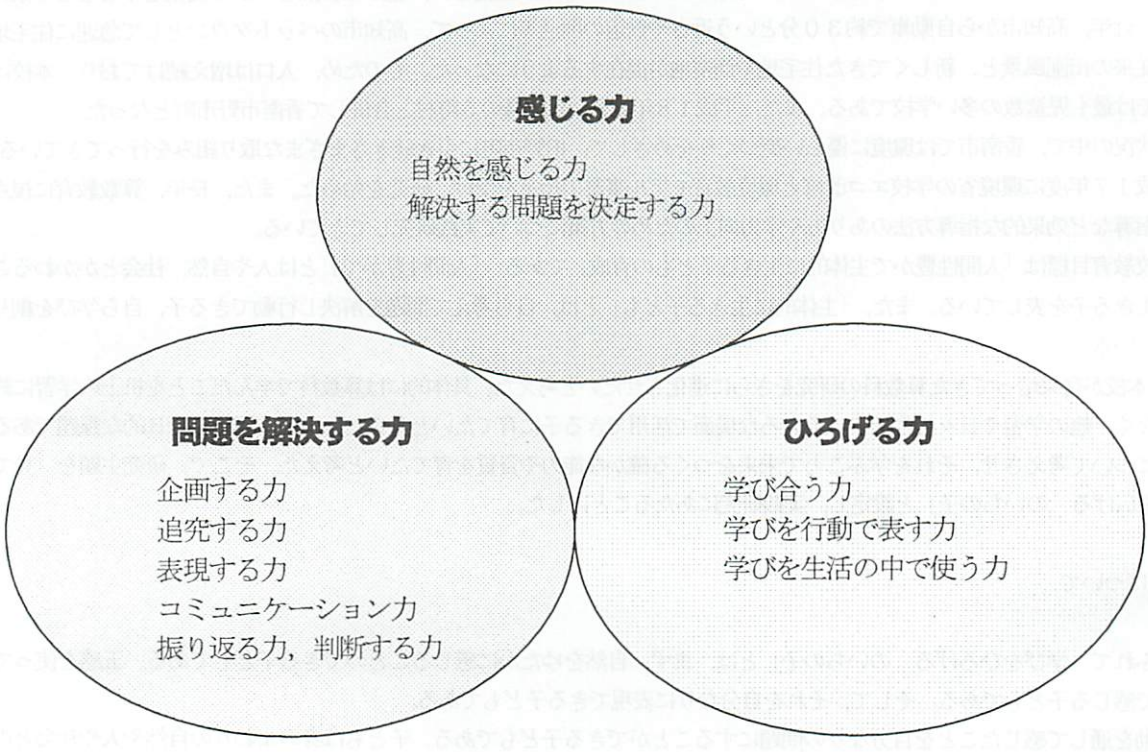
① 学習材との出会わせ方を，直接体験を重視し，感性にはたらきかける場にすると，「もっとやりたい」，「もっと知りたい」など子どもの中からわき上がる解決したい問題を生じさせることができるだろう。この場を工夫研究することで子どもの感じる力，解決する問題を決定する力が育つのではないか。（感じる力）

＊　野市小学校　（楠瀬正人）〒781－5232 高知県香南市野市町西野618

② 子どもは自らの問題を解決するとき，人や自然や社会とかかわらなければ解決できない。問題の解決のために，子どもは計画を立て，方法を考え，他者にも協力してもらいながら学ぶだろう。その学習の中では，ものごとを企画する力，表現する力，人とかかわることでコミュニケーション力，自己を振り返る力，自分なりに判断する力などが育つだろう。また，子どもに人や自然と共に社会の中で生きていることを気づかせることができるのではないか。(問題を解決する力)

③ 学んだことを知識のみに終わらせるのではなく，学びの後にどのような行動ができるのか，子ども自身に考えさせたい。そして，子どもに自らの学びを自分なりに表現させたい。子どもが学びを行動化することで，自らの学びをより確かなものにすることができるのではないか。(ひろげる力)

上記の①，②，③を研究の場とし，子どもに問題解決学習を繰り返し，経験させることで子どもの能力や資質は向上すると考える。また，学習材を算数学習や環境学習にとり，二つの学習を関連させて学習することで算数の学力や環境に対する意識も高まると考える。



4. 第３学年２組の取り組み

身近な物部川を例に、「やってみる！感じる！つなげる！のいちの子　～大すき！　山・川・海　たんけんしよういろんな所へ～」と題して取り組んだ“ねらい”は以下の３点にある。

○ 学習課題を設定する事ができ、友達と協力して進んで活動する態度を育てる。
○ 学習課題を教科とも関連させ、自分なりの方法で解決する事ができる。
○ 学習したことをまとめて、他学年や地域に発信し、環境に対する意識を高める。

添付資料として、第３学年２組が取り組んだ活動案を、以下に添付する。

第３学年２組

やってみる！感じる！つなげる！のいちの子

大すき！　山・川・海　~たんけんしようういろんな所へ~

ねらい

○ 学習課題を設定する事ができ、友達と協力して進んで活動する態度を育てる。
○ 学習課題を教科とも関連させ、自分なりの方法で解決する事ができる。
○ 学習したことをまとめて、他学年や地域に発信し、環境に対する意識を高める。

１、子どものすがた

本学級の児童は、個性が強く、明るく元気な児童が多い。自分の思っている事ははっきりと言う事ができる。しかし、改まった場では声が小さくなったり、自分の思っている事を友達のことが気になって言えない事も多い。また、自己中心的な児童が多く、協力して物事をやりとげる事ができにくい。

これまでの生活科の学習では、自然の中でいきいきと活動してきた。特に生き物や植物が大好きで、理科の授業では、目を輝かせながら活動することができる。３年生になっての初めての総合の学習では、他教科との区別がつきにくく、児童には、「自分のやってみたい事を考えて、計画を立てて、それをできるようにしていくのが総合のお勉強。」と話をして様々な活動に取り組んでいった。何を学習するのかわからない状態だったので、「社会科の校区探検と関連させながら、野市の事をたくさん知ってもらおう。」という事を足がかりに進めた。校区探検の後に「次に行きたい所は?」「次やりたい事は?」と児童に問う事により、希望が多かった物部川・住吉・塩谷海岸・日ノ御子（山）にでかけて、楽しく元気に活動する事ができた。また、ワークシートに自分なりの振り返りをまとめる事ができた。２学期の学習では、物部川漁協の方々にお世話になり、川の中に入って、チャン鉄砲・ゴリ釣り・エビ網・カヤックに取り組んだ。(合計３回)活動事に調べたいことを考え、実際に活動した後に自分たちがわかった事を紙にまとめていった。活動のまとめとして、ボートの実物を作ったり、紙芝居を作ったりして、同学年のクラスに発表会を行った。その後、『物部川の事をもっと、他の人たちにも知ってもらうには、どうしたらよいだろうか。』と尋ねた所、『川を作ってみよう。』という事になり、川を再現するための方法を知恵をしぼって考える活動に取り組んでいった。

２、支援者の願い

本単元は、初めて取り組む総合的な学習が楽しくて、「紙に書けば願いが叶う。」ものである事や、自分なりに進んで学習し、他教科とも相互性をもてる学習であってほしい。また、授業を進めるに当たっては、児童の興味関心を一番大切にし、授業が展開していくように心がけたい。一学期は自分の行ってみたい所ややってみたいことを考え、様々な自然とふれあうことを大切にし、希望の多かった三つの場所に行った。学期末に聞いたところ、児童の希望は川が一番多く、自分自身も環境学習を考えていく上で一番身近であるし、学習課題も多く設定でき、地域の方ともふれあうことができるという点から考えて、２学期以降は、川に焦点をあてて、学習を深めていきたいと考えた。その中でも物部川は、１学期の総合の学習のみならず、普段から保護者や友達とも出かけているなじみの深い川である。アユをはじめ、様々な生き物が生息しているし、身近な遊びもたくさんある場所である。しかし、近年は台風や大雨のたびに濁流が流れ、川の汚れが指摘されている。漁協をはじめ、『物部川を昔の姿にもどそう。』という地域での取り組みが続けられているが、地域の人たちに広がっていないのが実情である。

従って、本単元ではまず、物部川のことに興味が持てるように、『物部川の秘密をさぐろう。(やってみたいこと・知りたいこと)』と問いかけ、児童の考えた課題ごとに計画を立てて、児童なりの課題の解決に向けて活動する。その際、文献資料やインターネットの資料にたよるのではなく、実際に体を動かす中で実験を行ったり、地域の方の話を聞きに行ったりするなど、体験を大切にするように配慮していきたい。そして、このサイクルの繰り返しで学習が進み、一つ一つの課題をクリアし、児童の物部川に対する関心や理解を深めて行きたいと考えている。さらに、『他の川はどうなっているの』などという発展的な課題が出てきた場合は、興味関心を大切にしながら、対処していきたい。最後に、学習したことを発表する場を設け、地域の人々に物部川の事をよく知ってもらえるように、様々な活動をする事によって、児童の表現しようという気持ちを高めていけるように配慮していきたい。

3、育てたい力

感じる力	問題解決の力	広げる力
○感じたことや体験したことから、自分の問題を持つことができる。 ○物部川に対する様々な学習課題（やってみたい事）を考え、意欲的に活動できる態度を育てるとともに、その中で、自然と様々な関わりを持ち、自然を大切にし、一緒に過ごしていこうとする気持ちを育てる。	○計画を立て、方法を考え、自分の問題を解決できる。 ○自分なりの解決方法を考え、実行する事ができるようになるとともに、友達と協力していく態度を育てる。さらに、あきらめずに、最後まで粘り強く取り組む姿勢を大切にする。	○自分の考えや学んだことを、いろいろな方法で表現するができる。 ○自分でやってみてわかった事や、気がついたことを他学年や地域の人に伝えるとともに、環境について考えていく態度を育てる。

4、学習方法や支援

課題を持つ	課題別学習	知識を深める	学習環境
○山・川・海で自分のやりたい事を決めて、活動する事ができる。 ○活動したことから、さらに調べたい事を見つけて自分で計画して、連続的に活動を続けていく事ができる。	○　グループ事に計画を立てて、実行する。実行したことの振り返りをワークシートにまとめて次の学習に生かす事ができる。 ○　国語科で学んだ話し合い活動をいかし、友達の意見も聞きながら学習することができる。	○　物部川漁協や情報交流館の方から、川での活動の仕方を学ぶ。 ○　高知工科大学の方に川の生態についてお話を聞く。 ○　自分の考えた課題を、自分の決めた方法で調べる。わからない事は、様々な方法で解決する。	○　川の資料・自分たちでまとめたものを掲示する。 ○　学習の流れがわかるように、ついたてを置く。 ○　教科との関連を配慮する。 ・物部川の歌を歌う（音楽） ・長さ・温度を記録する。（算数・理科） ・レポートのまとめ方（国語）

5、年間活動計画

大単元名　「遊びたい、知りたい、やってみたい一大好き山・川・海　」（全９３時間）

月	単元	単元のねらい	主な活動
4	校区探検をしよう	・校区を探検する事によって、いろいろな事に気づく事ができる。	いろいろな場所へ探検しにいく。 ・東西南北コース ・野市動物公園 ・冒険の森 ・自分たちの行きたい所
5 6 7	探検しようろんな所へ	・自分の行きたい所や、やってみたいことを考える事ができる。	・物部川に行ってみよう。 ・塩谷海岸・住吉海岸に行こう ・日ノ御子（山）に行こう
9 １０ １１ １２	物部川のひみつをさぐろう	・自分で学習課題を設定し、友達と協力しながら、課題をいろいろな方法で解決しようとする事ができる。	・川で活動し、はてなをたくさん見つける。 ・自分なりにはてなを解決する方法をたくさん見つけ、課題を解決できるようにがんばる。
1 2 3	物部川の一年間を、いろいろな人に伝えよう。	・学習してきた事を自分なりにいろいろな人に伝える事ができる。	・冬の川で活動し、はてなをたくさんみつける。 ・自分の伝えたい事をいろいろな方法で表現する事ができる。

6、学習過程

（全　１２１時間　　総合９３時間　社会１５時間　音楽７時間　国語６時間）

やってみる！　感じる！　つなげる！　のいちの子　　社(8)　総合(２０)
野市を探検しよう。・南北・東西コース・野市動物公園コース・冒険の森コース

いろいろ発見するぞ！

⇩

たんけんしようろんな所へ
次は、どこに行ってみたいかな　　(1)

東京に行きたい。けれど‥先生の家にも行きたい。

思いっきり、遊んじゃろ。

⇩

物部川でやりたい事を見つけて、活動しよう。　(2)

①釣りをしたいな	②川で生き物を捕まえたい。	③笹船レースをしたいな。	④船のように浮かびたいな。

準備をしっかりしとかないとね。

やった事を振り返って、まとめよう。　　(2)

⇩

次に行ってみたい所や、やってみたい事を考えよう。　(2)

もう一度川がいいな。いや海もいいな。

初めは泳げなかったけれど。先生たちのおかげで泳げたね。

⇩

住吉海岸（海）に行こう。【予定変更で塩谷海岸にも行ったよ。】(3)

⇩

貝掘りをしたいな。	海の生き物を捕まえたいな。	海で泳ぎたいな。	海につかりたいな。	貝を食べたいな。

校長先生に聞こう。

気がついたことをたくさん発表しよう。日記に書いてみよう。
次に行ってみたい所や、やってみたい事を考えよう。　　(2)

川・海と行ったから。今度は山だな。

日ノ御子（山）に行ってみよう。　　(2)

山や川にいる生き物を捕まえたいな。	山にある川でも、釣りをしてみたいな。	川でいろいろな遊びをしてみたいな。（桃太郎ごっこ）

まとめをして、２学期にやってみたい事を考えよう。　　(1)
物部川を勉強していきたいな。生き物の事をもっと知りたいな。

２学期の取り組みがはじまるよ。自分たちのやりたい事を見つけて自分なりに解決していこう。

もう一度物部川でやりたい事を見つけて活動しよう。
総合(1)、音２、社２

1学期より、しっかり計画を立てて、活動したいな。いろいろな人と仲良くなりたいな

物部川漁協の方と一緒に、物部川で活動しよう。　総合　(１８)

①　チャンでっぽうで魚をとろう。	②　ゴリ釣りをしよう。	③　エビ網で生き物をとろう。	④　ウエブ・スキーに乗って川を調べよう。

やった事をいろいろな方法でまとめて、１組さん、３組さんに紹介しよう。
総合（5）

物部川を学校に作って、みんなに知らせよう。　総合（３３）国語（６）社会（５）

社会や理科と似てきたね。今まで、勉強してきた事を使えないかな。

⇩

物部川・別府渓ツアー・川と海の間ツアーにでかけよう。　（６）

⇩

やった事や発見したことを、まとめよう。　（１）

誰が知っているのかな?

⇩

川のどの部分を再現するか、チームを決めて、計画を立てよう。　（４）

⇩

①川の水チーム	②川の石チーム	③川の魚チーム	⑤　川のそばにある物 チーム	⑤川のそばにいる人チーム	⑥　川の高さチーム（山や木）

チームごとに川をつくる活動をしよう。　（４）

大きな声で、わかりやすく伝えるぞ。国語の勉強と似ているね。

難しいけれど、自分たちでできることは、どんどんやるぞ。

⇩

活動を紹介しあい、みんなのやっている事を知ろう。　（２）

⇩

クラスで、川全体の様子について話し合って、川を完成させよう。　（１２）

⇩

作った川を他の学年の子どもたちに知らせよう。　（２）

⇩

２学期の活動のまとめをして、３学期の活動につなげよう。（１）

もっといろいろな人に伝えたいね。	もっと物部川の良さをみんなに伝えたいね。	もっと川の疑問を解決したいな。	他の川にも行ってみたいね。

とっても楽しい物部川。ぼくたちのできる事って何かな。

３学期の活動が始まるよ。環境を大事にする活動をしようね。

⇩

物部川のために、自分たちがしてあげたい事を考えよう。　総合(１０)

①　ゴミを拾ってきれいにしたいね。	②　アユを増やす活動をしたいね。	③　川を守る活動をしている人達の願いを伝えたいね。	④　山に行って、木を植える事をしたいね。

⇩

計画を立てて、活動して、まとめよう。(１０)

⇩

２月集会で、この一年間の成果を発表しよう。　総合(１１)　音楽(５)

⇩

発表の内容を考え、練習の計画を立てよう。　（９）

おもいっきり、自分を表現してね。一年間のまとめだよ。

⇩

① 音楽や劇で発表したいね。　② 川新聞を作って発表したいね。　③ 物を作って説明したいね。　④お話を作って紙芝居にしたいね。

⇩

一年間の学習のまとめをしよう。　（1）

自分の学習を振り返って、４年生で学習したい事をまとめておこう。（1）

総合は楽しかった。４年生でもいろいろな活動をしたいな。

たくさん、自分たちが作った物や書いた物があつまったね。しっかり整理しようね。この一年のみんなの成長を示した宝物だと思うよ。

7、学習活動の様子

図１　川で泳ごう　（物部川：横井）

図２　エビ網で生き物をとろう　（物部川：横井）

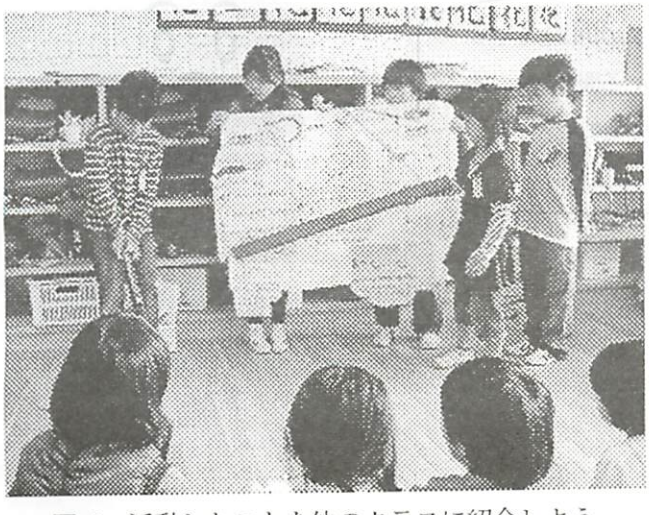


図３　活動したことを他のクラスに紹介しよう

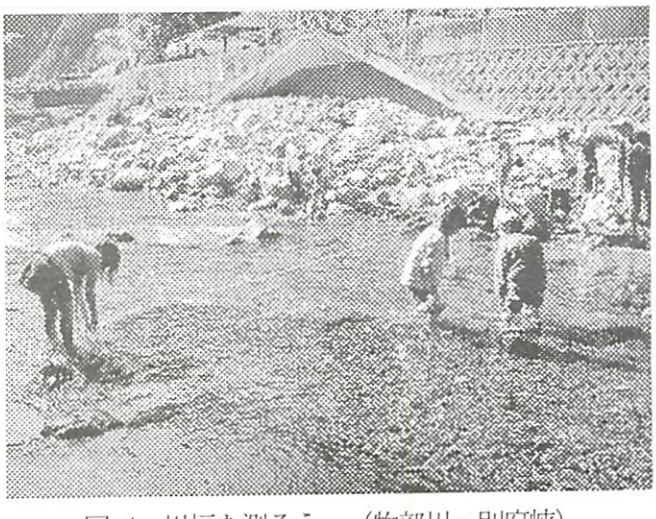


図４　川幅を測ろう　（物部川：別府峡）

図 5　川の模型を作ろう

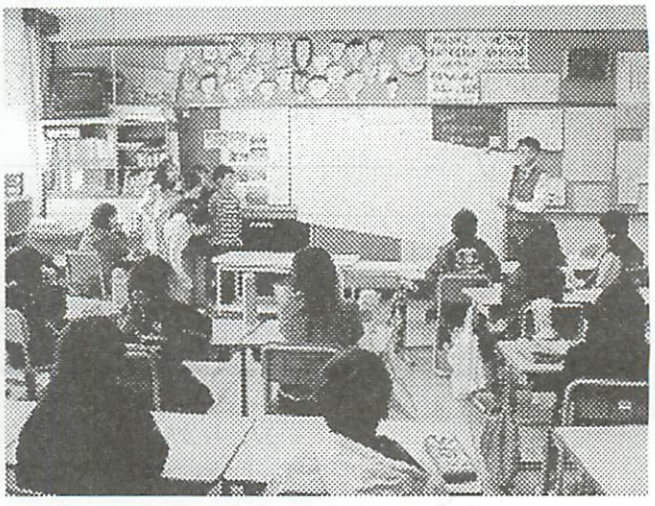


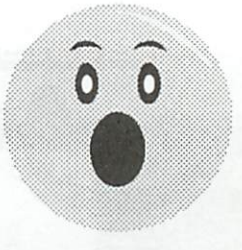
図 6　どんな模型を作っているか発表しよう

8、学習成果

子どもたちにとって、はじめての総合の学習。普段の教科ではできない体験をたくさんすることができました。物部川の別府峡から河口まで探検しました。自分たちが計画したことをもとに活動し、自分の目や体で確かめ、それをまとめて報告しあう中で、たくましく成長しました。なかでも、自分のやってみたいことをどんどん見つけられるようになったことは大きな成長です。また、調べたことをいろいろな方法でまとめ、人前で表現することができるようになったことは、大きな自信となりました。これからも、ずっと川のことを調べ続け、自然や環境を大切にしていく人に育っていってもらいたいと思います。

活動でわかったことは、上流はきれいな水で、中流もきれいな水で、下流は少しきたなくて、河口は下流より少しきたない水でした。どうして場所によって水がきたなかったりきれいだったりするのかふしぎです。物部川の長さや名前のゆらいも知りたいです。（R くん）

川作りは、はじめ意味がわかっていなかったです。水チームの川にどうやってあわすかがわからなくて、石①チームや砂チームにいろいろ聞いたり、見たりしているうちにわかってきました。こまったりした時は、他のチームを見たり、聞いたりしたらわかってくるものだなと思いました。（M さん）



四万十・流域圏学会誌　第7巻　第1号　　47-48　　2007]

企画報告

「焼畑サミット in 高知」の開催

橋尾直和*

去る 2007 年 11 月 24 日（土）・25 日（日），高知女子大学永国寺キャンパス 203 教室と高知城ホールにおいて，「第 1 回焼畑サミット in 高知」が開催されました。主催は総合地球環境学研究所，共催は焼畑による山おこしの会・高知女子大学。24 日午前は，焼畑関係フィルム上映会，太鼓踊り公演（椿山太鼓踊り保存会）を行いました。午後は，焼畑実践者を招いての会談がありました。宮崎県椎葉村から椎葉勝氏，山形県鶴岡市藤沢から後藤勝利氏，旧池川町（現、仁淀川町）用居から奥田英雄氏をお招きしました。さらに，エッセイストの麻生圭子氏と総合地球環境研究所教授の佐藤洋一郎氏との対談がありました。司会は，私と東北芸術工科大学の六車由実准教授。25 日午前には，池川神楽公演（池川神楽保存会）を行いました。約 150 人の方が参加され，大盛況のうちに終えることができました。

近年の地球環境問題に対する関心の高まりの中で，さまざまなスタンスから，持続可能なライフスタイルのあるべき姿が問われています。この企画は，そうした動向をふまえつつ，地域の自然条件との調和を保持し，持続的な農耕と生活文化を育んできた「里」の姿の具体例―「焼畑」の現代的意義を検討しようというもの。焼畑に関する映像資料や伝統芸能の実演などを手がかりとして，“火”を介した人と自然との関係史への理解を深めるとともに，各地で焼畑を実践されている方々にお集まりいただき，その経験と思想をこれから私たちがどう継承していくべきなのかを考えました。23 日は，焼畑現場を視察しました。

私は，2005 年 7 月に高知県吾川郡旧池川町ツボイで，同 8 月に旧土佐郡本川村（現，吾川郡いの町）脇の山で，伝統的農耕である焼畑を 2，30 年ぶりに復興させる機会を得ました。この復興運動に取り組んだのは，「焼畑による山おこしの会」（上田孝道会長）です。メンバーは，西日本科学技術研究所（環境コンサルタント会社）所員，高知大学・高知女子大学・愛媛大学・佐川高校教員，ＮＰＯ土佐の森・救援隊，大学サークル「焼畑の会」，池川の“緑と清流”を再生する会、県職員，旧池川町地元有志らで構成されております。2007 年 3 月には，「第 6 回むらの伝統文化賞－（財）都市農山漁村交流活性化機構理事長賞」を受賞しました。高知県は，森林面積が 84%を占める「山林の県」ですが，そのうちスギ・ヒノキを始めとする人工林率が 66%もあり，この人工材で間伐が遅れ，森が荒れています。地元住民が山の活動をやめ，村を出て行くことで，森が荒廃し，土砂崩れ等の災害も誘発され，さらに過疎化が進むという事態を招いています。こうした悪循環を改善するため，「焼畑」という昭和末期まで行われていた在来の農耕技術により，荒廃した森林を伐開・火入れをし，雑穀の地元品種を混作栽培するとともに，畑の放棄後は，シイ・カシ類からなる自然林に，栗・柿・山茶・ケヤキなどの有用材の混生する「近自然の森づくり」を目指すことにあります。焼畑農耕が本来持っている自然農法的性格や里山林の再生機能を引き出し，山村振興に活かすことが目的です。

「自然との調和を保持した生活をいかに現代社会において実現するか」－これが今回のサミットのテーマでした。「第 2 回焼畑サミット」は，今年の 11 月 15 日・16 日の両日、山形県鶴岡市で行われる予定です。

旧池川町ツボイにおける火入れ

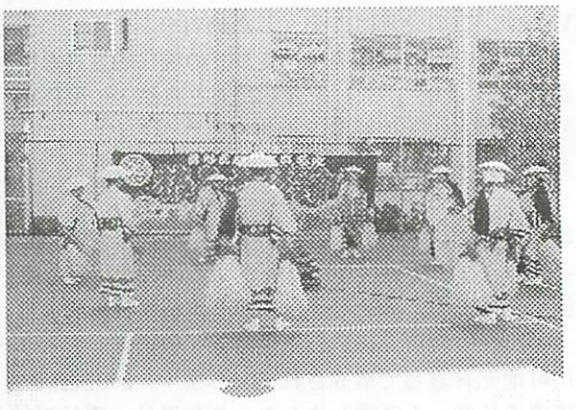
焼畑現場視察

*　高知女子大学 文化学部 文化学科　〒780-8515 高知市永国寺町 5-15

焼畑実践者（椎葉・池川・藤沢）による会談

池川神楽保存会による池川神楽公演①

池川神楽保存会による池川神楽公演②



椿山太鼓踊り保存会による椿山太鼓踊り

［四万十・流域圏学会誌　第７巻　第１号　　49-50　　2007］

報告

「四万十かいどう」が「日本風景街道」に登録される

橋尾直和*

去る2007年11月28日，国土交通省が提唱する「日本風景街道」に安芸市の「土居廓中（どいかちゅう）」と県西南部地域周辺の「四万十かいどう」が登録され，登録証の交付式が県庁で開かれました。日本風景街道とは，道を舞台に自然や歴史、文化などその土地の資源を活かして，地域の活性化や観光の振興を図る取り組みです。四国では「四国風景街道協議会」が2007年８月に設立され，風景街道の募集と審議を行ってきました。

「土居廓中」は，江戸時代の武家屋敷が残る町並みです。地域住民で作る「歴史と文化にふれる歩くみちづくり懇話会」（会長、横山彰夫・土居公民館長）が，ウォーキングガイドマップ作りなどの活動を続けています。

「四万十かいどう」は，10市町村にまたがるエリアにだるま夕日やホエールウォッチングなど豊かな観光資源を持ち，「四万十かいどう推進協議会」（会長、村上雅博・高知工科大教授）のメンバーである橋尾直和（副会長・高知女子大准教授）らが，「四万十かいどう」風土調査を進めてきました。橋尾副会長は，「エリア内の観光資源をセットにして観光客の増加などに役立てていきたい」とコメントを述べました。

「四万十かいどう」とは，(1)アカメに会える道（四万十市～旧十和村・旧西土佐村経由～四万十市ルート），(2)だるま夕日が見える道（四万十市～土佐清水市・大月町・宿毛市経由～四万十市ルート），(3)クジラに会える道（黒潮町～四万十町（旧大正町経由）～四万十市ルート），(4)サンショウウオに会える道（四万十川源流～梼原町から旧大野見村ルート）の4ルートを指します。

「四万十かいどう」風土調査は，「日本風景街道」のコンセプトである自然，歴史，文化，風景などをテーマとして「訪れる人」と「迎える地域」の豊かな交流による地域コミュニティの再生を目指した，美しい街道空間を形成することです。また，「四万十・南いよ風景かいどう」のコンセプトである「訪れる人」と「迎える地域」の豊かな交流と地域の活性化を目指し，日本最後の清流“四万十川”と足摺・宇和海の自然・歴史・文化・風景などをテーマに，四国・西南地域の美しい街道づくりに取り組むことなどをベースとした調査を「四万十かいどう」に展開し，地域の文化資源の再発見と情報発信を目指すものです。

具体的な内容は，①民話，②天候に関することば，③挨拶のことば，④食生活のことば，⑤川の名称・地名，⑥祭りの名称，⑦民具の方言呼称などの「文化環境と人びとの暮らし」といった統一テーマで聞き取りを行った後，報告書にまとめて発行・配布する、地元の方の残しておきたい風土・風景をインタビューし，デジタルカメラで風景を撮影し，大学生が収録した地元の皆さんの熱いメッセージを発信することです。この内容を，「四万十・南いよ風景かいどう」のホームページの中の「四万十かいどう」風土調査のホームページ欄に掲載していく予定です。

これまでに，(1)2006年9月に「アカメに会える道」風土調査（旧西土佐村），(2)2007年9月に「だるま夕日が見える道」風土調査（大月町柏島）（「花・人・土佐・であい博」に参加）を行ってきました。今後は，(3)2008年9月に「サンショウウオに会える道」風土調査（梼原町），(4)2009年9月に「クジラに会える道」風土調査（黒潮町）を行います。総まとめとして，報告書を発行する予定です。

*　高知女子大学 文化学部 文化学科　〒780-8515 高知市永国寺町5-15

「四万十かいどう」日本風景街道に登録

毎日新聞 2007 年 11 月 28 日付朝刊（地域のニュース欄）

[四万十・流域圏学会誌　第7巻　第1号　　51-52　　2007]

お知らせ

四万十・流域圏学会　第8回総会・学術研究発表会のお知らせ

四万十・流域圏学会第8回学術大会実行委員会
実行委員長　村上 雅博

平成20年5月31日（土）に高知県立森林総合センター・情報交流館（〒782-0078 香美市土佐山田町大平80番地）で開催される、四万十・流域圏学会第8回総会・学術研究発表会にむけて、発表者および参加者の募集を行っています。

今回は、地球環境時代の森林と山・川・海をつなぐ流域圏についての特別講演と企画セッション(地球環境時代の森林の保全・再生と緑のダム)を予定していますので、周辺の皆様にも声をかけていただき奮って御参加下さい。＜特別講演およびポスターセッションと小・中・高校生の発表は一般公開(参加費無料)されます＞

プログラム

5月31日（土）第8回総会・学術研究発表会［高知県森林総合センター・情報交流館］

9:00～　　受付
9:25～9:30　　開会挨拶〈高知県立森林総合センター・所長　甲藤邦廣〉
9:30～11:10　企画セッション・パネル: 地球環境時代の森林の保全・再生と緑のダム
パネル：高知県森林総合センター、四国森林管理局、(独)森林総合研究所、東京大学愛知演習林
（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（情報館）
（13:25～13:30）休憩・移動
13：30～14：15　市民公開セミナー・特別講演
「地球環境時代の森林の保全・再生」　末田達彦(愛媛大学・農学部・教授)
14:15～15:15　ユースセッション(小学生，中学生，高校生)環境教育研究活動発表
（15:15～15:30）休憩
15:30～17:30　一般セッション・講演
（17:30～17:40）　休憩
17:40～18:00　企画セッション：　四万十かいどう（四万十活性化小委員会）
18:00～18:05　閉会挨拶〈本学会会長　今井嘉彦〉
18:30～20:00　懇親会（森林総合センター：バーベキュー会場）

6月1日（日）　10:00～16:00　ユースセッション・物部川および源流域の自然林の自然観察会

当日は、物部川の源流域の森林から河口までを観察し、自然にふれ、流域の現状を見ていただく予定です（当日の天候により変更になることがあります。お弁当は持参下さい）

対象：小中高の学生（保護者も可）。
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。
担当：石川妙子　TEL/FAX　088-850-1023、E-mail：n-river@kcb-net.ne.jp

1．学術研究発表会の参加費他〈特別講演およびポスターセッションとユースセッション(小・中・高校生の発表)は一般公開(参加費無料)されます〉

- ●受付で大会参加登録をしてください。参加費は当日会場にて支払い、領収書をお受け取りください。
  一般・会員3000円、　学生（大学院生を含む）1500円
- ●懇親会費は、一般・会員2,000円、　学生（大学院生を含む）1000円。高知県森林総合センター・バーベキュー会場
- ●所属機関長宛の出張依頼書が必要な方は、返信封筒にご本人の宛先と80円切手をのり付けして、四万十・流域圏学会事務局にご請求ください。

2．総会・学術研究発表会場(高知県森林総合センター)へのアクセス・交通手段（下段の地図参照）

3．総会・学術研究発表会に関するお問い合わせ
四万十・流域圏学会第8回総会・学術研究発表会　実行委員長　村上雅博

高知工科大学・フロンティア工学教室
Tel:0887-57-2418, Fax:0887-57-2420
E-mail: murakami.masahiro@kochi-tech.ac.jp

4. 学術研究発表会原稿の募集と提出について

第 8 回学術研究発表会（5 月 31 日、高知森林総合センター・情報交流館）への講演申し込みを御希望の方は、下記の原稿執筆要領に従いまして、要旨集の原稿をご提出いただきますよう、お願い申し上げます。

① **期限**：平成 20 年 4 月 25 日（金)必着　<電子メールの添付ファイル(Microsoft WORD)での投稿を歓迎します>

② **郵送先・電子メール宛先**：
四万十・流域圏学会事務局　高知工科大学社会システム工学科　村上研究室
〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮の口 185
TEL；0887-57-2418, FAX；0887-57-2420, E-mail；murakami.masahiro@kochi-tech.ac.jp

③ **原稿枚数**：A4 版、２ページ（口頭発表・ポスター発表とも）
【注意】A4 版で提出していただき、そのままの大きさでオフセット印刷をします。電子メールの添付ファイルでの原稿提出を歓迎します。ただし、ワード(Microsoft WORD)の添付ファイルで 1.4MB 以内の容量のファイルに限らせていただきますが、送付された添付ファイルを直接に開いてそのまま自動的にプリントアウトしたもの（事務局では一切の編集を加えません）を予稿集にオフセット印刷しますので、原稿提出に係わる全ての責任は筆者に属します。

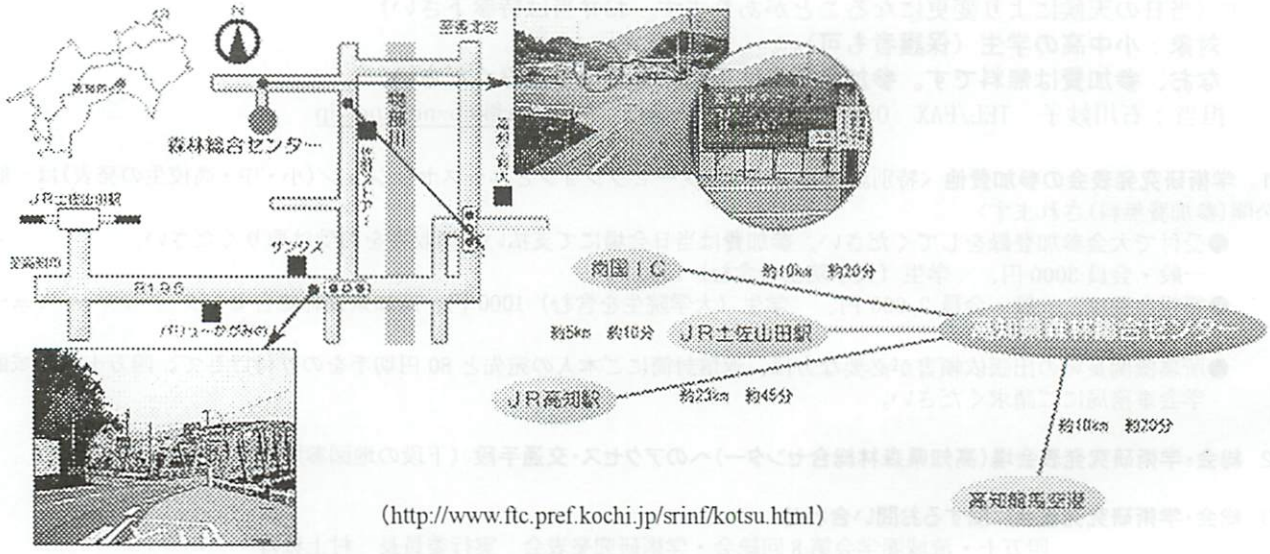
④ **書式等**：　＜ワードで作成された投稿原稿サンプル（テンプレート）をご希望の方は上記②宛先までメールで連絡＞
- ●原稿の総ページ数：A４版２枚（本文中の活字サイズ：10 pt、章題：ゴチック体、本文：明朝体）
- ●頁マージン設定：上・下・左・右隅のすべてを 25㎜ の余白
- ●段落/行間⇒固定値 14pt
- ●**題名**（12pt 活字・**ゴチック体、ボールド**、センタリング）*⇒一行あけて氏名(所属)*
- ●**氏名(所属)**（10pt 活字・**ゴチック体**、登壇者（講演者）に○印、センタリング）*⇒一行あけて本文*
- ●発表は原則として未発表のもので、一人一題（発表者）に限り、投稿された原稿は返却しません

⑤ **発表方法**：PC プロジェクター(Windows)を準備しています。各自のノートパソコン、CD あるいはフラッシュメモリなどを持参の上、発表前の休憩時間を利用して備え付けの PC にインストールして作動確認を行って下さい。ポスター発表は要旨の他、各自のポスター（最大 A0 サイズまで）を準備いただき会場にお持ち下さい。

⑥ 発表時間：１題につき 20 分（発表 10 分、質疑・応答 10 分）以内です。発表者数によって多少の変更があり得ます。

⑦ 発表者：登壇者は四万十・流域圏学会の会員（発表申込と同時の入会受付も可）に限ります。事務上、プログラムに記載する連名者は筆者以外に３名を限度とします。

注）*内容やスケジュールから判断して口頭発表からポスターセッションに変更させていただくことがあります。*
変更がある場合は、後日事務局からポスター作成方法について連絡させていただきます。



(http://www.ftc.pref.kochi.jp/srinf/kotsu.html)

送付先: murakami.masahiro@kochi-tech.ac.jp, FAX.0887-57-2420

四万十・流域圏学会
学術大会研究発表申込書（2008 年）

・※印内は該当するものを○で囲んでください。
・但し、連名者で非会員の場合は正、学とも消してください。
・年齢は４月１日現在で御記入下さい。
・提出は１枚でけっこうです。控えは、コピーしてご自分でお持ち下さい。
・

題　　目					
発表者 （連名の場合は登壇者の氏名の前に○をつける）	勤　務　先	会員種別（※）	会員番号（今回は不要）	氏　名	年齢
		正・学			
		正・学			
		正・学			
		正・学			
連絡先	連絡者氏名： 住　　所：〒 TEL:　（　　）　－ FAX:　（　　）　－ E-mail:				
発表用機材（○をつける）	(1) OHP　(2) PC プロジェクター(Windows)　(3)ポスター				
発表形式（口頭/ポスター）	第１志望	第２志望	要望事項等（具体的に記入してください。）		
発表要旨（100 字以内）					

以下の枠内は記入しないでください。

ジャンル	Ｎｏ．	会　場	発表時間	備　考

→

講演要旨原稿の書き方

題名（12ポイント**B**（**ゴチック体、ボールド**）　センタリング）

○ 四万十太郎（■■大学）、仁淀花子（■研究所）、物部学（㈱■■■■）

（10ポイント、明朝体）

（10mmあける：一行改行）

ここから本文　＜＜本文中の**章、節の題目はゴチック体**、本文は明朝体を利用して下さい＞＞

【注記】

・原稿の総ページ数は、A４版で２枚です。（本文中の文章の活字サイズは全て10 ポイントを使用）

・登壇者（講演者）に、○印をつけてください。

・図表は小さすぎると判読しにくくなります。ご注意下さい。

・写真は、裏面に講演番号・氏名を記入し、所定の位置に糊付けして下さい。

・この見本の外枠は消去してください.

・原稿の裏面の中央に鉛筆で薄く発表者氏名を記入して下さい。

・本フォーマットから外れた原稿は、掲載できない場合があります。

●発表は原則として未発表のもので、一人一題（発表者）に限ります。

●任意のA4サイズの上質紙を用いて、上下左右のマージン（余白）設定は全て25mmを標準として下さい。

●講演要旨集は提出いただいた原稿をそのままオフセット印刷にしますので、原稿用紙は用意しておりません。

●投稿された原稿は返却しません。

マージン設定＜＜上下左右すべてを25mmの余白として下さい＞＞

WORDの表示から、ファイル⇒ページ設定⇒余白⇒上・下・左・右⇒25 (mm)

A４版（２枚）＜＜全て白黒オフセット印刷です＞＞

平成20年4月25日（金）必着

送付先：murakami.masahiro@kochi-tech.ac.jp, FAX.0887-57-2420

講演要旨サンプル

ニジェールにおける高速嫌気性処理法（ＵＡＳＢ）法と人工湿地を組み合わせた水質浄化法について

佐藤博信（高知工科大学大学院）、鈴木薫（(株）東京設計事務所)、○村上雅博（高知工科大学）

1. はじめに

先進国で利用されている典型的な技術を基に発展途上国に水処理技術を技術移転する場合，下記の４項目に留意するべきであると考えられる[1].

●低コストであること
●維持管理が単純で省エネルギーであること
●化学物質を使用しない（生物学的処理を基本とする）
●現地で得られる資材・材料と適応可能なシンプルな技術を組み合わせること

上記の 4 つの留意事項は四万十コンセプトを構成しているものである．本研究では，現地の社会環境や自然特性と四万十コンセプトをうまく組み合わせた現地適性技術移転の一例として[1]，上向流式嫌気性汚泥ブランケット(UASB)法，散水濾床及び人工湿地（エコ・ポンド）を組み合わせた水質浄化システムに着目し[2]，実際の発展途上国におけるパイロットプラント設置例をもとに[3]，現地での適用性について，その一連の下水処理システムと下水処理能力に関して検討した結果について以下に述べる．

2. ニアメ市の衛生環境とパイロットプラント

ニアメ市からの排水及び下水には，有機物・無機物及び細菌等の汚染物質が含まれるが，大腸菌に代表される病原菌は，10^6/100ml~10^7/100ml である．この排水は，未処理のままニジェール川に放流されている．また，市内の畑作地において野菜の生長に役立つことため，農業用水として生下水が広く使用されており，汚水に直接あるいは間接的に触れることにより，寄生虫伝染病や種々の水系疾患が，ニアメ市では蔓延している[3]．これらの問題を回避するため，下水処理施設の建設が急務である．

図-1 ニアメ市位置図

ニジェール国ニアメ市で実施された国際協力事業団(JICA)による衛生環境改善計画調査の一環として行われたプロジェクトを，ニアメ方式パイロット下水処理システムと呼ぶ(Fig.1).

パイロットプラントの建設及び運転管理の目的は，ニアメ市の長期的な衛生環境改善計画を実施するに当り，実際に小規模プラントを用いて実験的な処理能力を確認することにある．UASB 方式を採用した理由は，以下の通りである．

- 温度が高いほど処理効果が高くなる
- 曝気を用いない為，少量の電気エネルギーで運転可能である
- 維持管理が単純である
- 小さな構造物である為，非常に経済的な建設が可能
- 汚泥消化が期待できる
- UASB 槽内で，メタンガス(CH_4)が発生し，それを発電に利用することが可能である

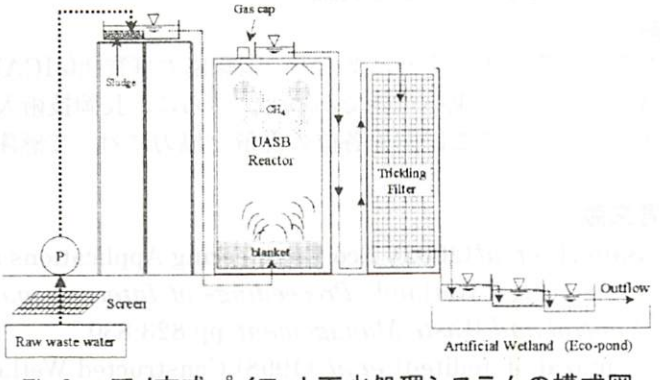


Fig.2 ニアメ方式パイロット下水処理システムの模式図

しかし，下記のデメリットが存在する．

- BOD 除去率が 70~80%程度である
- 高温度下での家庭下水への適用に限定される
- 設計除去率に達するまで，多少時間がかかる
- 窒素，リンの除去効果が低い

以上を踏まえ，ニアメ方式パイロット下水処理システムの概要を以下に述べる．

3. ニアメ方式パイロット下水処理システムの概要

第 1 段階として，生下水を汚水ポンプにより，沈砂池に揚水する．この沈砂池は本処理プロセスで最上部に位置している．その後は，重力を利用し，UASB 反応槽，散水濾床及び人工湿地（エコ・ポンド）へ処理水を自然流下させることが出来る(Fig.2).

このため，本プロセスで用いる電気エネルギーは最初の揚水ポンプのみであり，電気料金の大幅な節約につながる．UASB 反応槽での処理プロセスで発生したメタンガス(CH_4)は発電に利用され，処理場の照明等に利用される．

UASB 反応槽を経た処理水は，散水濾床にて濾過される．濾材は，本来，固形ゴミとして廃棄されるペットボトルに古スポンジを詰めたものを有効利用している．

最終的に，処理水が流入する人工湿地（エコ・ポンド）ではホテイアオイが栽培されている．ホテイアオイが成長する過程で窒素を吸収し，成長したホテイアオイは家畜（牛）の餌に循環利用している．

UASB 法，散水濾床及び人工湿地（エコ・ポンド)による BOD 除去率は，それぞれ 80%，83%，50%であり， BOD 値は 1,230mg·l^{-1}から 20mg·l^{-1} まで減少している(Fig.3). UASB 法，散水濾床，人工湿地（エコ・ポンド）における T-N 除去率は，それぞれ 37.4%，28.9%，12.3%である．しかし，PO_4 値については変化は見られなかった(Fig.4).

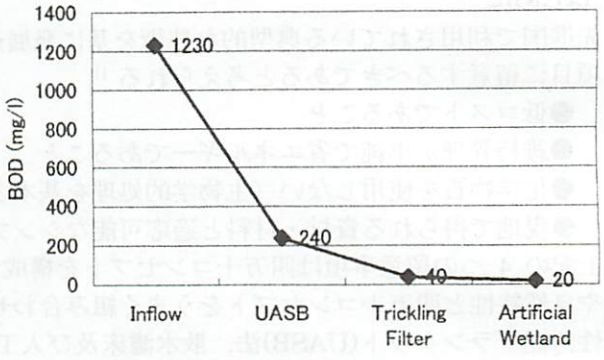


Fig.3 ニアメ方式下水処理プロセスにおける BOD の変化

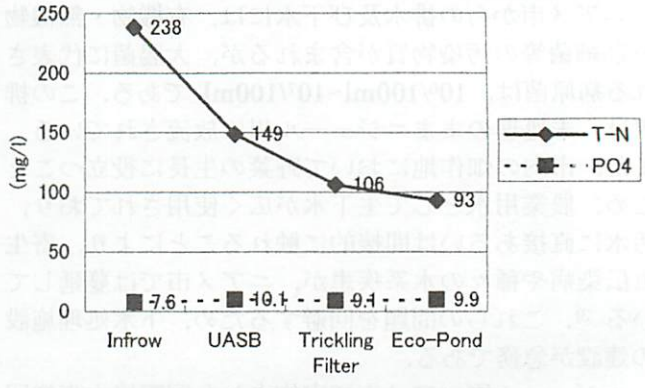


Fig.4 ニアメ方式パイロット下水処理システムにおける T-N 及び PO_4 の変化

4. まとめ

乾燥地帯に位置するニアメ市で発生する下水は，未処理の屎尿を中心とするため， BOD 値が 1,230 mg·l^{-1}と，あまりに高い．通常の活性汚泥法や UASB 法のみによる浄化方式では，国際環境標準値レベルの 20 mg·l^{-1}まで BOD を除去することは困難である．処理システムがより単純で安価な UASB 法単独での下水処理プロセスには除去率の限界があるため，一定の環境基準を達成するためには追加処理が必要である．本研究では，UASB 法にニジェールの現地の材料（固形廃棄物や植物の循環再利用を含む）を用いてローコストな建設が可能となる散水濾床及び人工湿地（エコ・ポンド）を組み合わせるシステムを提案し，小規模な実証プラントにおいて超高濃度の下水排水の BOD 値を国際標準値の 20 mg·l^{-1}まで低下させることが可能であることを実証した．

謝辞

本調査研究を実施するにあたり、国際協力事業団(JICA)、とくにニジェール JOCV 事務所の理解と熱い協力なしには実現不可能であった。さらに、長岡技術大学・原田秀樹教授には現地での指導に協力いただいている。ここに関係各位の理解と協力に対して感謝の意を述べさせていただきます。

参考文献

1) Sato,H. *et. al.*(2002): Eco-Engineering Applications in Reclamation of Treated Wastewater and Constructed Wetland. *Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management*: pp.823-830
2) Vymazal, J.,(edited) *et.al.* (1998) Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe, *Backhuys Publishers, Leiden*,pp.1-15
3) JICA (2001): ニジェール国ニアメ市衛生改善計画調査最終報告書(Main Report) 国際協力事業団

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
江渕倫將	高知県立高知小津高等学校教頭	環境科学	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准教授	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、平成19年5月に第7回総会を終え、四万十・流域圏学会誌も第7巻1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 福永泰久
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：
〒782-8502　高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185
高知工科大学・フロンティア工学教室　四万十・流域圏学会　事務局（村上）
Tel:0887-57-2418, 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?]

上辺マージン　23mm
右マージン　17mm

ゴチック　16pt.

< 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.

一行あける

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

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）。

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

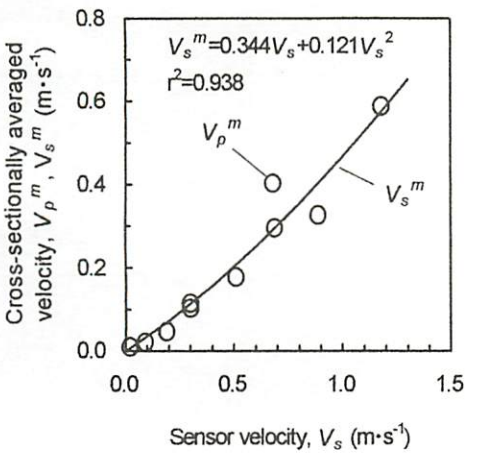


Fig. 7 Relationship between sensor velocity and cross-sectionally averaged velocity derived from manual measurement (O), and regression curve of cross-sectionally averaged velocity as a function of the sensor velocity (—)

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）非潅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）水田潅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7巻第1号が，やっとのことで完成しました。早くからご投稿いただいておりました執筆者の皆様，会員の皆様，編集作業が長引きまして刊行が遅くなってしまい，本当に申し訳ございませんでした。

今号の内容は，最初に宅間一之氏による巻頭言「理想の郷」を述べていただき，招待講演要旨として，昨年の学術研究発表会で講演された大場信義氏による「ほたるの不思議・地球の奇跡」の内容を掲載しました。

論文として林紀男氏の「溜池の水質浄化に果たすオタマジャクシの役割」についての大変興味ある論を，松下潤氏による「バンコクにおける流通管理システムの適用性」を検証した論を述べていただきました。解説論文として，大規模・集中から小規模・分散システムへの政策転換の視点から，村上雅博氏の「エコロジカル・サニテーションとバイオトイレ」に関して論じていただきました。調査論文のユースセッションとして，愛媛県立北宇和高等学校の生産食品科草花専攻班による「空芯菜を用いた2次生産型水質浄化農業の研究」を論じていただきました。

調査報告として，大原泰輔氏による「四万十木材造住宅」の課題と展望について示唆的な内容を論じていただきました。企画報告として，野市小学校による「物部川と野市小学校の環境教育」の状況報告，著者の「第1回焼畑サミット in 高知」の開催内容，報告として，「四万十かいどう」の取り組みが評価され「日本風景街道」に登録された内容について掲載しました。

いずれも，流域圏の諸問題について，様々な視点から考察され，課題と展望について論じられたものです。流域圏の課題を多角的に捉えるために大変参考になりました。

今後も，学会誌の内容を充実させて参りたいと存じます。皆様のご投稿，お待ちしておりますので，何卒よろしくお願いいたします。

（橋尾直和）

****

四万十・流域圏学会　賛助会員

平成１９年５月２６日現在（４団体）

●(財)リバーフロント整備センター
●林野庁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
●株式会社四国電力中村支店
●中村商工会議所

****

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。**

ほたる・カワニナ観察会：　奈路小学校(2007.5.27)

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

We Love "SHIMANTO"

四万十川の清流を守ろう
SHIMANTO

2007.12

■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