# 四万十・流域圏学会誌

第4巻　第2号

We Love "SHIMANTO"

特集：地下水，流域住民意識

2005
April

# 四万十・流域圏学会誌　第4巻 第2号（2005）

# 目　　次

## （特集：　地下水・流域住民意識）


**巻頭言**

今こそ流域圏を見つめよう

今井嘉彦（高知大学名誉教授）……1

**論文**

日本の地下水法制と地下水盆管理

辻和毅（不二グラウト工業㈱）……3

**技術ノート**（英文）

TECHNICAL NOTE ON SYNTHETIC STORAGE MODEL (SSM), Part-1

総合貯留モデル（SSM）に関する技術ノート（パート1）

Ryoihi KAWASAKI（川崎良一）……11

**報告論文**

コロンビア国ボゴタ首都圏の水道事情

中村篤（宇部市水道局）……21

**調査報告**

四万十川条例に基づく住民意識調査

西村光寿（高知県文化環境部四万十川流域振興室）……27

**四万十ユースセッション：招待論文・投稿論文**

四万十川の河原に見られる石の白化現象について

佐々木亮、中脇里紗、藤田将平、山本真佑良（高知県立四万十高校）……33

高知県和食ダムプロジェクトと住民意識・合意形成について

小野正人、梅津靖弘、山崎美子、渡辺康志、村上雅博（高知工科大学）……37

高知県南国市石土雨水調水池の自然再生計画について

梅津靖弘、亀田千明、渡部康志、村上雅博（高知工科大学）……49

**四万十通信**

第37章～第49章（平成12年4月10日～平成13年3月10日）

高知県四万十川対策室（現：高知県文化環境部四万十川流域振興室）……57

**添付**

四万十・流域圏学会 第5回 学術研究発表会 プログラム（平成17年5月28日、高知高専）……71

四万十・流域圏学会会則……75

入会申込書……79

編集後記……80

[四万十・流域圏学会誌 第4巻 第2号 1-2 2005]

## 巻頭言

# 今こそ流域圏を見つめよう

今井 嘉彦*

最近の道路整備は眼を見張るほどに進んできた。山深いところにも、宅急便が確実に届けられるし、かつて一日がかりで悪路をたどったところも、すいすいと車で走ることができるようになった。これは、田舎で長く暮らした人たちであれば、共通した実感であろう。一方、この連休に環八の高速道を走って、都会の渋滞ぶりを否応もなく体験した。すっかり車社会の便利さを受けているはずの今日、皮肉にも、都会の道路の不便さと裏腹に、田舎の道を走る快適さを痛感した。これは、必要とする道路網からすればまだまだ序の口にも届かない整備状況であろう。やがて、人跡未踏の地など探すのに苦労する時代がやってくるかも知れない。

住みよい環境づくりに道路の整備は欠かせないことである。しかし、流域圏という観点からは、克服すべき課題も出ている。かつてはどこそこの流域に住んでいると言えば、およそ生活ぶりや人となりが伺えた。それが、トンネルで横断することになると、生活圏はいくつかの流域にまたがったものとなり、もはやひとつの流域に住むという意識が変わりつつあるのではないか。このような利便性を重視した地域となればなるほど、より安全で住みよい環境を求める傾向が強くなるのではないかと思う。最近、災害が予想される地域への関心と安全を求める意識が高まっている。昨年末に起きたインド洋大津波による災害は、まことに想像を絶するものであり、亡くなった人の数は少なくとも 22 万人といわれている。また日本で起きた新潟県山古志村の地震災害も、あらためて災害の恐怖をまざまざと見せつけられた。遠からず起こると予想されている太平洋地域の地震も現実問題として、避難場所の設定や、そこにいたる避難路を具体的に検討しておかねばならない。よく言われるように、海水が急に干しあがる気配は津波の前兆であり、これを実感した古老が居て、いち早く避難し難を逃れた話はよく聞くところである。また、谷川の水が急に減少するのを見て、上流で崩壊が起きたことを察知して、土石流の難から逃れることが出来たなどの体験もよく聞くことである。このように災害から逃れることができたのは、地域の実態を常に見てきた経験が生かされたと見てよい。トンネルを造り、橋をつないで流域から流域へと横断する道路網は確かに便利ではあるが、河川の下流で起きる海の災害や、ずっと減流域での災害に気付かなくなるのではないかと気がかりになってしまう。一つの流域に残された経験や流域文化とも言える生活の知恵を失いたくない。それこそ防災につながる知恵であると思うからである。

災害に続く第二の課題は森林の保全である。良好な水環境を保つには、優れた森林が必要であることは言うまでもない。豊かな水資源を生み出すために、森林の役割が大きいことはすでに各方面で議論されてきた。ボランティア活動で森林の間伐を行ったり、積極的に広葉樹を主体とする天然林を保全する運動も進められている。森林は水の循環機能に係わり、保水力を高め、洪水や渇水を緩和する機能を期待している。そればかりではなく、動植物など生物生態系の保全にとっても欠かせないからである。四万十川流域には「県の鳥」に指定されている美しいヤイロチョウが生息し、繁殖していることが確認されている。やはり、豊かな森林がもたらすところであり、この生息域は流域で保護してゆかねばならない。最近、棚田での稲作体験や、休耕田を利用した野菜栽培のための土地利用貸し付けなどが実施されている。土地を持たない人たちが自然の恵みを体験できることと、流域の人たちと交流することにより流域文化を伝えてゆくことにもなろう。山菜料理を体験したり、流域の水の大切さをも身をもって学習することが出来るよい交流の場となっている。

第三の課題は流域圏を構成する人たちの意識改革である。これまで水利用をめぐる上下流の対立や、河川をはさんで対岸と対立するなど多くの争う場があった。このような紛争を解決するために水路を掘削したり、ため池を設けるなど、数多くの遺跡が残されている。このような遺跡を通じて先人の残した教訓をも流域圏で学ばねばならない。水問題と同様に解決すべき課題は廃棄物の不法投棄である。不法投棄されやすい場所は、流域の尾根や橋の両端、市町村の境界付近、新しく改修された道路に接する旧道、切り立った崖のあるところなどがあげられる。廃棄物の不法投棄は、道路網の整備に伴って増加したという傾向が指摘されている。これを防ぐには流域圏に一体となって自然保護を啓発する以外にない。このような多くの課題に対して、一つの転機が訪れるのではないかと期待されることが起きつつある。それはいわゆる市町村の合併である。流域を共有する市町村の合併は新たな活力の場となるように期待したい。

本学会も発足して 5 年の節目にあたる記念すべき年に、四万十川流域の旧中村市と大正町とが合併して新しく「四万十市」が発足した。これは、流域圏を見つめるよい機会となり、将来を期

* 高知大学名誉教授 〒780-0966 高知県高知市福井扇町 1171-18

待したい。

このように、流域圏には多くの課題があり、総合的な視野で流域圏を見つめなければならないと痛感する。願わくば、四万十・流域圏学会がこのような課題に取り組み、流域圏の発展に寄与することが出来るようますますの発展を願いたい。

(高知大学名誉教授・四万十・流域圏学会会長)

[四万十・流域圏学会誌　第4巻 第2号　3-10　2005]

<論　文>

# 日本の地下水法制と地下水盆管理

辻　和毅*

# Groundwater Regulations in Japan and an Example of a Groundwater Basin Management Policy

Kazuki Tsuji*

*Fuji Grouting Engineering Co. Ltd. ,2-9-29, Daimyou, Cyuou-ku, Fukuoka-Shi, 810-0041, Japan

**Abstract**

This paper outlines the present groundwater use and the relevant groundwater hazards which have emerged in the modern age of Japan, being caused by excessive development of groundwater. Moreover the groundwater laws and regulations are reviewed, mainly focusing on the Environment Basic Law, which has led to formulating of an integrated groundwater management methodology. In the latter half, the on-going groundwater basin management, which has been successively expedited by the local governments of Kumamoto area, southwest Japan, is introduced as a progressive example of comprehensively promoting groundwater management policy.

**Key words**: groundwater use, groundwater hazard, groundwater regulation, Environment Basic Law, groundwater basin management, Kumamoto area

## 1．はじめに

この小論は前半においてまず日本の地下水問題を「利用の現状と課題」、「その利用の歴史的変化と地下水障害」および「地下水法制」に分けて序論としてその概要を述べた。引き続きここから学び得る教訓として地下水の流域管理の重要性を認識する過程や地下水障害から管理保全に至る展望のまとめを試みた。後半では水循環を視野に入れた流域単位での地下水盆管理の事例として熊本地域を取り上げ、具体的な取り組みと施策について詳しく述べたものである。

## 2．日本の地下水問題の概要

### 2.1　地下水利用の現状と課題

日本における地下水利用量は年間約127億$m^3$で、淡水の全利用量（859億$m^3$）に対して15%を占めるが、ここ数年利用量はわずかずつ減少している[1]。水需要のなかで地下水に対する依存度は地域別に見ると関東や東海、南九州で20%前後と高く、次いで四国、近畿、北陸となり、反対に北海道、東北、中国で低い[1]。生活用水の水需要なかで地下水が占める割合は23%で、用途別では工業用水の30%に次いで依存度が高い[1]。水需給に関し日本では1987年に全国総合水資源計画（ウォータープラン2000）が策定された。都市用水の需要は1983～1995年間の推移では実績値が予測値を大きく下回り、1995年時点で降水量が「通常の年」では供給が需要に追いついた。具体的には生活用水、工業用水および農業用水の需要量はそれぞれ年平均伸び率で見ると、2000年までの見込み2.0%、2.03%および0.4%に対し、1995年までの実績は1.2%、−0.53%および0.03%（推計値）であった[2]。このため計画の見直しが始まり1999年に2015年を目標としたウォータープラン21が策定され実際の需要増加率に下方修正して公表された。このなかで水源確保の目標は「水需要に追いつく」ことから「利水安全度の向上や安定供給のための管理へ」、水源確保の手法は「ダム等による開発」から「既設施設の有効利用」に政策転換された。上記の予測と実績の差異は主として工業用水の減少による。これは回収水の利用が進み約79%におよぶ高い回収率を達成した永年に亘る企業努力と、重厚長大型から節水型産業へ大きな産業構造の変化に由来し水需要抑制への効果は大きなものがある。農業用水も減少傾向にあり、その要因は米余りの対処策である減反という日本の農業政策の大きな転換による。

このように水需要の減少は第1次、第2次産業の構造転換という大きな社会変化を反映したものであった。一方生活用水は緩やかに増加傾向を示している。人口の都市圏への集中と生活様式の変化によって、大都市と中堅都市への水供給は上流地域の過疎化と裏腹の関係で水配分の再編という水政策の転換を迫っており、今後の課題といえる。

また、減反による農業用水の減少と上流地域の過疎化は、余剰水と土地の他目的への用途転換問題として表面化し国策レベルで水利権の転用がなされているが、全体の利用量に比べればわずかである。さらに水田面積の減少による地下水への涵養機能の低下は下流地域での地下水位の低下となって現れており、土地利用を含めた涵養機能の維持と対策を先取りした計画の策定と実行が緊急の課題である。

### 2.2　地下水利用の歴史と地下水障害

日本における地下水の本格的な利用は紀元前5世紀頃稲作が導入され、人口の増加と灌漑の必要に迫られて、地下水の露頭である湧水から始まったであろう。関東平野の谷地田は良い事例である。湧水を起源とする表流水や人力で制御し易い小流域河川が飲用や灌漑に利用され集落が成立したと考えられる。しかし大河川の近辺は洪水の度に流路が定まらず、後背湿地や葦原が多く定住の地と為り得なかったはずである。わずかに自然堤防の微高地が砂質で、水はけも良いこともあり利用された[3]。

地下水の利用に関しては、上述のように稲作農耕文化への生活

＊不二グラウト工業（株）調査部　〒810-0041　福岡市中央区大名2-9-29

様式の転換が井戸出現の主な要因と考えられている[4]。素掘りの小口径の穴を木板で保護した深さ数メートルの井戸が登呂遺跡から発掘されており不圧地下水の利用の始まりを示している。以来各地で木製枠の井戸が発掘され、このレベルの技術時代が長く続いた[5]。地下深くに存在し自噴する被圧地下水を意図的に利用するようになるのは江戸時代中期、江戸で竹筒の掘り抜き工法が開発されてからである[6]。

近代になって欧米から機械掘削機が輸入され、ポンプも導入されて地下水開発は深い被圧地下水を対象として急激に進んだ。それと共に湧水の枯渇、地下水位の低下、地盤沈下（Fig.1）[7]や塩水浸入(Fig.2)[8]、そして近年には地下水汚染（Fig.3）[9]の地下水障害が発生した。

Fig.1は1900年から2000年間に地盤沈下が発生した日本の代表的地域での累積沈下量の変化を示したものである。図から地盤沈下と社会事変の不可分な関係、大都市圏から地方に波及する地盤沈下の様子、法的な規制により沈下が収まってゆく変化が読み取れる。年間4ｃｍ以上沈下する地域は1997年以来無いが、年間2ｃｍ以上地盤沈下する地域は1997年以後2002年まで横ばい傾向で8ヶ所前後だが、面積は2002年には461km²と増加している[7]。

Fig.2は1961年から1966年にかけて、静岡県田子の浦と近傍の沿岸部で発生した塩水浸入と地下水位の変化を示した図で、地下水の取水によって深井戸の地下水位が低下するともに塩素イオン濃度が急激に上昇する様子が見事に捕らえられている。この地方には製紙工場が数多くあり、富士山域で涵養された豊富な地下水を大量に利用していたため、塩水浸入が発生したが、当時似たような地下水障害は東京湾岸、大阪湾岸など多くの沿岸地域で発生した。

Fig.3はある地方で発生したトリクロロエチレンに起因する地下水汚染を示したものである。この帯状の拡がりが地層の高比抵抗帯と一致することから、汚染物質は砂や礫層からなる埋没旧河道に沿って拡がったことが明らかにされた[9]。このような揮発性有機物質に限らず、重金属による地下水染も発生した。

このように日本は産業発展とともに、過度の地下水開発に伴って発生した地下水障害という苦い経験をした。しかし現在では後に述べるように地下水は限られた資源として重要性が認識された。これは地下水の持つ利点を生かしながら持続的に利用するためには地下水を取り巻く水循環システムを解き明かし、水収支を考慮しながら運用し、社会経済的な判断基準を持って管理することが不可欠であることが広く認められてきたことに他ならない。

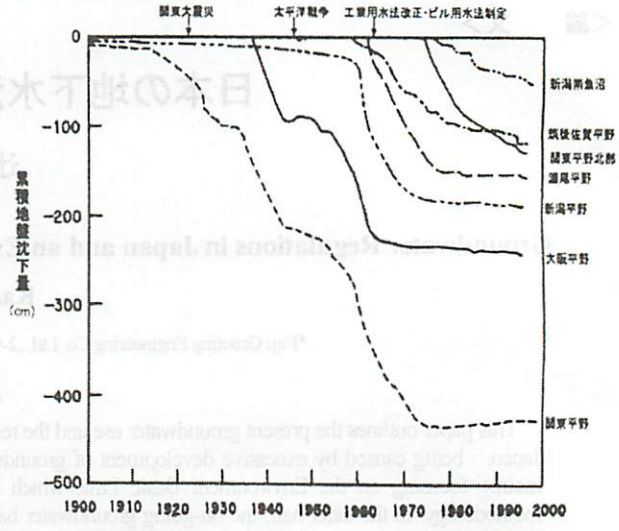



Fig.1 代表的地域の累積地盤沈下の経年変化と歴史的変（1900年～2000年）

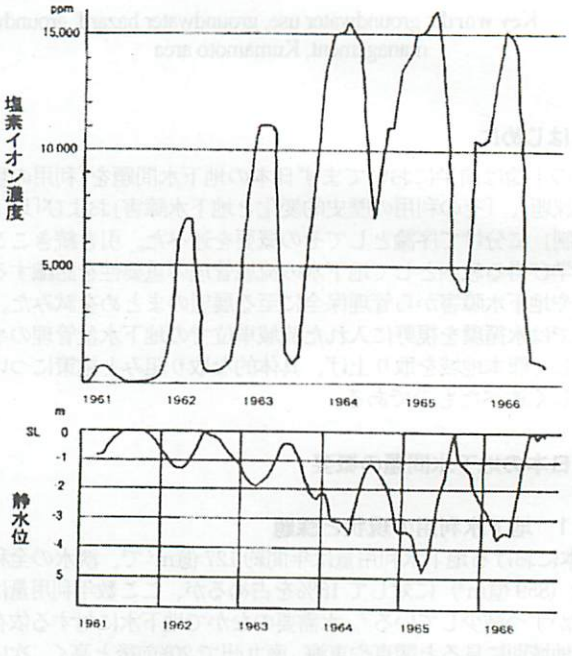



Fig.2 海岸線から 1.2ｋｍ内陸にある深井戸の塩素イオン量と静水位の経年変化（1961年～1966年）

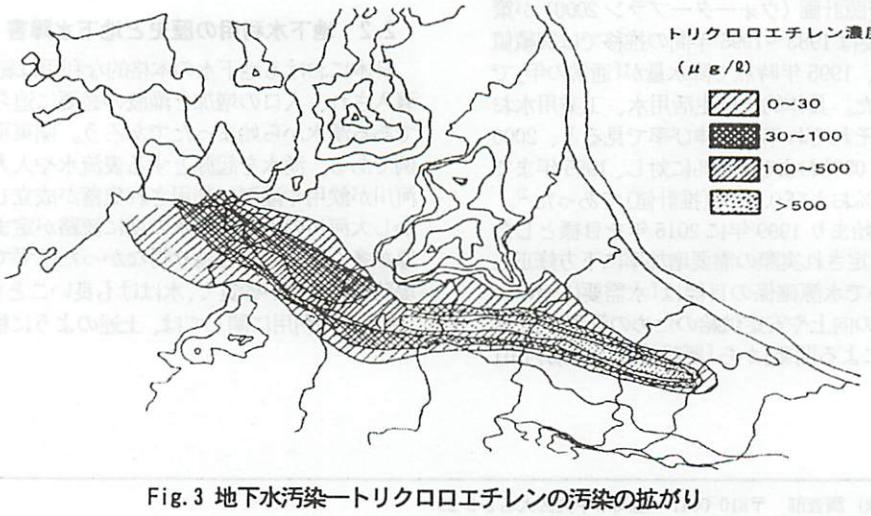



Fig.3 地下水汚染―トリクロロエチレンの汚染の拡がり

### 2.3 地下水法制

日本では明治時代以来長く地下水に関する法律は存在せず、民法第207条に定められた「土地の所有者に地下水の利用も認める」制度であった（Table.1）。本章の2項に述べたように時代の変化とともに地下水利用が増加し、地下水に係る法的な係争も発生した。なかには他人の権利を侵害しない範囲で利用を認めるという私権の濫用を制限した時代に先駆けた判例があるが多くはない[10]。その後第2次大戦後の高度成長時代に地下水取水の増加に伴って再び地盤沈下が激化し顕在化した。その防止策として1956年に工業用水法が制定されたが、代替水源が確保されあるいは近々導入される地域に適用され、地下水の利用は工業用として優先されたため沈下は鎮静化しなかった。しかし1962年に工業用水の確保から地盤沈下の防止に向けた改定がなされ、同年に制定されたビル用水法と共に地盤沈下と塩水浸入に対する抑止効果を挙げ始めた。工業用水法は適用地域を南関東・東京湾岸地区や、伊勢湾地区、大阪湾岸等の10都府県に、ビル用水法は埼玉、千葉、東京、大阪の4都府県に特定した対症療法的な特別法であった。これは後に法律の適用を受けない周辺地域に地下水障害が波及する要因ともなった。1967年公害対策基本法が制定されたのを受け、多くの地方自治体は公害対策に関する条例を制定した。その条例は環境の一環として地下水保全に注視し、井戸に届出制や報告制を導入して、地下水の取水規制にある程度効果を挙げた。

1974～75年にかけて、一時地下水法制が盛んに議論された。これは上記の2つの法律によって地盤沈下は地域指定地では抑制効果が現れたが、同時に全国的に地盤沈下が見られるようになって、根本的に問題を考えなければならないのではないかという社会的な空気が醸成されたことによる。しかし当時地下水の解析手法が未熟で地下水が数量的に捉えがたい存在で法律に馴染みにくい点があったことと、当時の建設、農林、通産の各省、科学技術庁、環境庁にまたがる関係省庁間の考え方が異なり、社会的な利害の調整がつかず立ち消えになってしまった。この時の主な論点は地下水法制の目的、規制の内容、代替水の義務、地下水の性質を巡る公水化の議論であった（Table.2）[11]。現在でもこの議論に対する結着はついていない。いずれは水循環の一環として地表水と地下水を含めた包括的かつ総合管理的な法律が議論されるであろうが、当時のような議論が近々に社会的な表舞台で再び俎上に載ることは無いだろうと思われる。なぜならその議論が社会的に関心を集めた年の18年後1993年に公害対策基本法に代わって環境基本法が制定されたからである。その第14条に環境の保全に関する施策の策定に係る指針の第1項として「（前略）自然環境が適正に保全されるよう大気、水、土壌その他の環境の自然的構成要素が良好な状態に保持されること」と定められ、地下水が自然環境の一部を構成する水循環系のなかで重要な要素として含まれることが大義として明確に謳ってあることと、第21条では国が環境の保全上の支障を防止するために規制する措置の第1項のなかで「（前略）地盤の沈下の原因となる地下水の採取その他の行為に関し、事業者等の遵守

**Table.1 日本の地下水法制と世界の動き**

| 年代 | 法律等 | 世界の動き等 |
|---|---|---|
| 1945年以前 | 民法２０７条 | |
| 1948 | 温泉法 | |
| 1956 | 工業用水法 | |
| 1962 | 工業用水法改正<br>ビル用水法 | |
| 1965 | 宮古島地下水保護管理条例 | |
| 1967 | 公害対策基本法<br>各自治体の条例 | |
| 1970 | 公害対策基本法改正<br>水質汚濁防止法 | |
| 1971 | 環境庁発足 | |
| 1974～75 | 地下水法制議論活発になる | |
| 1987 | 宮古島地下水保護管理条例改定 | |
| 1989 | 水質汚濁防止法改正 | |
| 1990 | 水質汚濁防止法改正 | |
| 1992 | | 地球サミット、アジェンダ21 |
| 1993 | 環境基本法 | |
| 1994 | 環境基本計画の策定 | |
| 1996 | | 世界水会議 |
| 1997 | 地下水の水質環境基準制定 | 世界水フォーラム（第1回） |
| 1999 | | ウォータープラン21 |
| 2000 | 環境基本計画の見直し | 世界水フォーラム（第2回）、国連ミレニアムサミット |
| 2002 | 土壌汚染対策法 | ヨハネスブルグサミット |
| 2003 | | 世界水フォーラム（第3回） |

**Table.2 4つの地下水規制案の考え方（参考文献（11）の表の一部を割愛した）**

| | 目的 | 対象＊1 | 規制の対象地域 | 規制の内容 採取＊3 新規 | 規制の内容 採取＊3 経過措置 | 代替水 | 地下水の性質 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 中央公害対策審議会地盤沈下部会(環境庁)(S49.11) | 地盤沈下予防 | 地下水 | 指定地域 | 許可制 | 2～5年 | 努力義務 | |
| 古賀試案（S49） | 地盤沈下予防 | 地下水 | 指定地域 | 許可制 | 1～5年 | 努力義務 | |
| 地下水管理制度研究会（建設省）（S49.11） | 地下水の総合管理 | 地下水 | ＊2 | 許可制 | 3年 | 河川水への転換努力義務 | 公水化 |
| 科学技術庁資源調査会(S49.10) | 地下水の総合管理 | 地下水 | | | | 必要性の指摘 | 公水化 |

1:但し古賀試案及び資源調査会案では温泉等をふくむかどうかは明確ではない。＊2 地下水特別保全区域等の制度があるが、上記二案の地域制とは趣旨を異にする。＊3 ここで経過措置とは既存の井戸であって、新規の場合にはもはや許可されないものについて、一定の期間採取を認める措置をいう。

すべき基準を定め、必要な規制の措置(後略)」を定めているためである[12]。これはいわば“私水か公水か”といった法律上の議論とは別に高い条理的な次元から地下水は日本人が当然保全すべき責務を負う自然環境の 1 要素であることを包括的に述べたものと理解される。この時点で地下水保全に対する国民の基本的な合意は形成されたというべきであろう。

さらに第15条に基づいて1994年に策定され2000年末に見直された新しい環境基本計画（環境の世紀への道しるべ）は第 4 部 139 頁(参考資料・付録を除く)からなる大作であるが、分野別の戦略プログラムのなかで環境保全上健全な水循環の確保に向けた取り組みを述べている[13]。要約すれば現状と課題に次いで目標では「環境保全上健全な水循環の目標の設定に当っては各流域において水収支（地下水と地表水との移動の状況、降雨の地下浸透など）の変化を可能な限り定量的に把握した上で、関係主体の意見を集約し、それぞれの流域の状況に応じた目標を設定する」と述べ、地下水を流域単位で地表水との関係で数値として把握し、地域住民・関係機関と調整することの必要性を明確に記している。施策の基本的方向では水循環のなかで果たすそれぞれの役割と重点施策を地域特性（山間部、農村・都市郊外部、都市部）に分けてかなり具体的に述べている。

地下水法制が議論されて 30 年近くを経た現在、地下水を含む水循環は本質的なアプローチを可能とする法律が整備され、地下水は実効的な管理に向けてすでに動きだした段階にきている。以上述べた自然環境としての水循環、それを構成する地下水の保全という視点の背景には、1992 年に開催された「環境と開発に関する国連会議地球サミット」で採択されたアジェンダ 21 宣言の行動計画第 18 章「淡水資源の質と供給の保護や、水資源の開発、管理利用への総合的アプローチの適用」とその後の地球規模の環境保護や資源の持続的開発を目指した世界の動きが影響を与えていることは異論の無いところであろう。その流れは持続可能な開発に関する国際サミット（WSSD,ヨハネスブルグ、2002）へとより具体的な目標に向かって提言を行ってゆくことになる。

## 3．流域管理の重要性の認識

環境基本法の第7条には地方公共団体の責務として「(前略)国の施策に準じた施策及びその他のその地方公共団体の区域の自然的社会的条件に応じた施策を策定し、及び実施する責務を有する」と定めている。ここでは健全な水環境機能の維持・回復のため、地域の実情に即した施策の推進を求め、地域性を顧慮した環境保全計画を策定することを地方公共団体に求めている[14]。それに則って各自治体では環境に関する基本条例を相次いで制定し、施行規則を定めて具体的な保全策を講じた。Table.3 に示した熊本県や熊本市はそのよい例である。この条例でも地下水は自然の水循環環境を構成する重要な要素として位置付けられ、その保全のための目標と規制条項が盛り込まれた。地域性とはその土地の自然条件や地域住民の生活に密着して流域単位で独自に考えることに他ならず、ある意味では地下水管理は各地方公共団体の責任に委ねられたとも言える。

このように流域単位での地下水管理の段階に到達するまでには過去の歴史が教訓になったことは間違いがない。地下水位の低下やそれに伴う障害は水資源に対する人為的負荷の結果引き起こされること、その影響は地下水盆単位に及ぶこと、その防止・保全のためには地下水を河川を含む水循環の一環として流域単位で総合的にシステム管理することの重要性が社会的に認識されるに至った結果と理解される。その認識から浮かび上がった現時点での問題点を要素別に見て行くと次のようになる。

a. 地下水の涵養機能が低下していること
・上流域で土地利用が変化している
—減反政策によって休耕田が増加し、水田・畑地が荒廃していること
—過疎化によって森林の維持管理作業が放置され、土壌が失われていること

b. 中～下流域でも土地利用と地下水利用が変化している
—都市圏への人口集中によって地下水採取量が増加した地域があること
—方で土地利用の改変によって浸透機能が低下していること
—特に下流域では土地の過密な利用により河川の遊水機能が低下ないしは消滅し、異常気象時には都市型洪水が発生しやすくなっていること

c．産業構造が変化し、水需要が見直されていることと水質へのリスクが大きくなったこと
—水資源多消費型の重厚長大産業が衰退し、海岸平野での工業立地とは限らず、新規産業が上流のインフラ利便地に立地条件を求め、水質に悪影響が及ぶ場合があること
—都市近郊において肥料・農薬散布の集約農業が行われていること

一方、地下水と河川を含む水循環を身近な生活環境として捉え、次のような生態系や住空間を保全する重要性も認識され、ますます流域単位で物事を考える空気が地域住民レベルで高まってきた。社会的な流れとして近年の高温で少雨傾向にある天候も水問題に対する関心を高めていると思われる。

・生態系の保護が注視された
—維持流量を確保するだけでなく、水質保全を生活レベルから考え直すこと
—河川の植生を復元し、生物種の保護まで踏み込むこと
・住環境、景観としての河川空間が注目された
—親水意識が定着するには水質の保全と自然の姿としていつも水の流れる川や湧水として存在すること
—その一方で安全な河川のあり方と管理が問われ始めたこと
—河川敷の利用を生態系の回復を考慮して進めること

**Table.3 熊本県と熊本市の地下水に関する条例等**

| 条　　例 | 施行年 |
|---|---|
| 熊本市地下水保全条例 | 1977 (1991年改正) |
| 熊本市地下水保全条例施行規則 | 1978 (1991年改正) |
| 熊本県地下水条例(1) | 1978 |
| 熊本県地下水条例施行規則(2) | 1979 |
| 熊本県地下水保全要綱 | 1988 |
| 熊本県地下水質保全条例(3) | 1991 |
| 熊本県地下水水質保全条例施行規則(4) | 1991 |
| 熊本県地下水の採取に関する条例 (1) の改称) | 1994 (2001に廃止) |
| 熊本県地下水の採取に関する条例施行規則 (2) の改称) | 1994 (2001に廃止) |
| 熊本市地下水採取量等公表要綱 | 1997 |
| 熊本県 地下水保全条例 (3) の改称、改正) | 2001 |
| 熊本県地下水保全条例施行規則 (4) の改称、改正) | 2001 |

## 4．地下水障害の緩和策から管理保全策へ

これまで述べたような地下水障害が発生する要因となった負荷や地下水保全に対するマイナス要素を流域単位の総合的な管理のもとで、緩和するに留まらず積極的な保全策に転換し、予防策に向上させるためには、次のような対策と施策を地域特性に応じ段階的に採ることが必要である。

基本的に地下水取水量を減少させることとそれによって地下水位の回復を図ることであるが、具体的には、

① 地下水の大量利用者に対する代替水源の供給（多くは表流水）

② リサイクル水の利用の促進とそのための補助金制度
③ 法的な規制とそれに義務づけられた地下水位と採取量、水質のモニタリング
④ 揚水井戸の再配置と分散
⑤ 上水使用量と下水道使用量に対する料金の値上げ
⑥ 人工涵養と涵養地域での有効な土地利用とそのための助成金制度
⑦ 市民レベルへの節水意識の啓蒙と向上

などが考えられる。

以上のことを市民や事業者の合意のうえで政策として実施に移すためには、

1）地下水を含む地下水盆と流域単位で、水収支と水需給量の現況と将来を把握し
2）その一部を占める地下水の量的な資源量とその季節的な変化の評価が必要である

その上で、法的整備を行ったうえで、地下水の持続的な開発を行うための政策目標を策定し、達成する方策を水量（水位）と水質について具体的に提示する必要がある。それは流域に占める地域特性に応じ、また時間的な計画に応じ立案するきめの細かさが必要である。最終的に、

3）上記を目に見える形で監視するためモニタリングの方法と進捗管理体制を整備すること

などが必要である。

## 5．熊本県と熊本市の地下水保全に向けた施策の背景

次に地下水盆単位で地下水の総合管理を先進的に推進している地域として、熊本市を含む16市町村からなる熊本地域（面積約1007km²）を紹介する。阿蘇カルデラの西麓に裾野を引く火砕流台地と有明海に向けて広がる熊本平野は美しい景観と水に恵まれた緑豊かな大地として有名である。現在同地域には県人口の約半数の96万人が住み、日量57万m³(平成12年)の地下水利用がある。生活用水はほぼ全ての32万m³/日（同12年)を地下水で賄っている日本でも稀有な地域である。

熊本地域では第2次大戦後主として開拓農業の推進のもと当時の農林省によって地下水調査が開始され、その後県や市に引き継がれて水理地質構造、地下水位が観測され地下水を含む水収支が明らかにされた[15]。熊本では長年に亘って、第4章で述べたような、①調査・解析、から②観測、③流域単位での水収支の把握、④問題点の抽出、⑤法的な枠組みの設定、⑥地域住民への情報公開と啓蒙、⑦改善の目標と具体策の提示、⑧予算措置等実施への取り組みに至る地下水盆管理の筋道をきちんと積み重ねる努力がなされてきた。これは県、市、学界、住民、事業者が地下水資源に対する危機感を共有しながら、一体となって取り組んだ"熊本方式"と称すべきもので高く評価される。

永年の観測の結果近年地下水位低下（Fig.4）[16]や水前寺など各地の湧水の減少（Fig.5）[16]が見られ、一方で生活用水がわずかに増加傾向にある。さらに上流域での涵養機能の低下に対して危機感が生まれ、全国的に見ても早い時期から保全に関する条例（Table.3）の施行と対策が実施されてきた[17][18]。

## 6．熊本県の地下水保全施策

### 6.1 基本的施策

熊本県は熊本地域の水収支を明らかにし、以来地下水保全に向けた条例整備を進めると共に、市と協力して地下水の総合管理の体制作りを行ってきた。2002年には熊本県水資源総合計画（熊本水プラン21）を発表し、このなかで熊本地域の水循環と水収支の状況を述べ数値を更新した[19]。その結果をもとに次のような健全な水循環系の構築に向けて地下水盆のなかで地域ごとの取り組みを示した。

・水源涵養域：水源涵養機能と水循環の保全に着目した取り組み
・地下水涵養域：地下水涵養機能と水環境の保全に着目した取り組み
・都市域：水循環型社会づくりに着目した取り組み
・地下水盆全体：都市域と涵養域の連携

それぞれには具体的な方向性が細かく掲げられている。

具体的な施策の推進では熊本地域の目標を「地下水位の低下傾向に歯止めをかける（単年度の地下水収支が均衡する）」ことにおき、2010年を目標とした期間ごとの具体策を示した（Table.4）。

このなかで注意すべき点は、最初に掲げられた「地下水位の低下傾向に歯止めをかける（単年度の地下水収支が均衡する）」である。この目標は一見単純明快なようであるが、単年度の地下分が、湧水量の減少で賄われることのよって水収支が保たれ、地下水位が年度初めの水位の回復しているためである(Fig.6)[20]。江津湖の湧水量は熊本地域の生活用水量（＝地下水揚水量）より少し多い40万m³/日ほどである（Fig.5）。

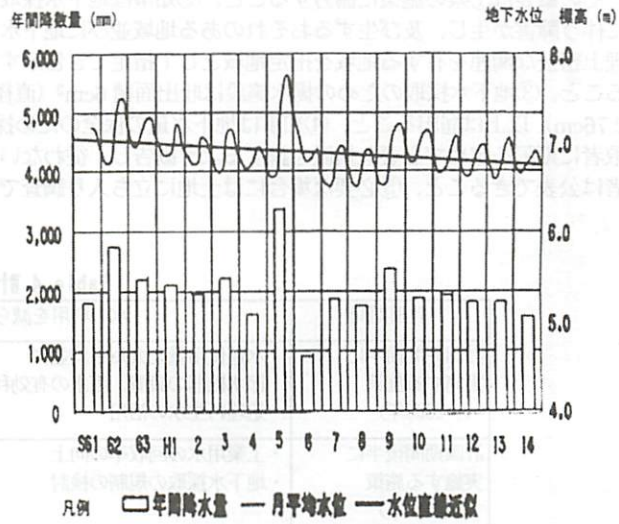



Fig.4 水前寺観測井の地下水位経年変化

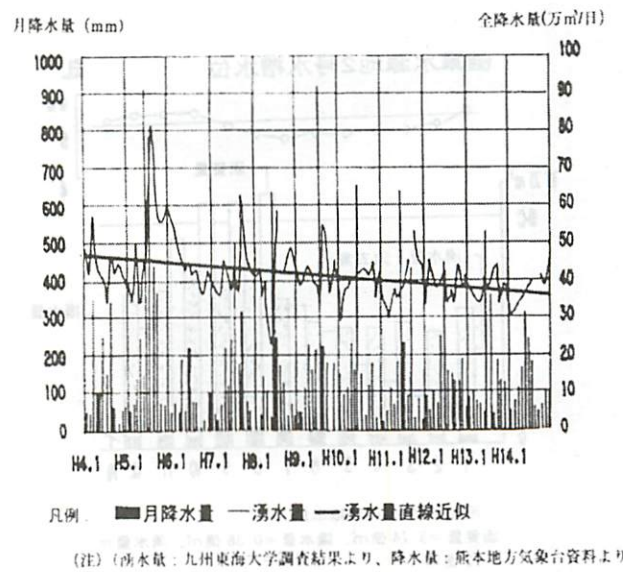



Fig.5 水前寺・江津湖の湧水量の経年変化

従って持続的で適正な採取量を決めるには、水前寺や江津湖の湧水の減少をどこまで許容するか、有明海沿岸に分布する軟弱地盤からの漏水涵養によって発生する地盤沈下をどこまで許容するか、水位低下によるコスト増をどこまで許容するかなど社会的、経済的要素をきちんと議論したうえで決めねばならない。熊本県は幾つかの基準地点での地下水位に制限水位を設けモニタリングすることと、生活用水の取水抑制によって湧水量を現況以下に減少させないことで熊本地域での適正な採取量を決定しようとしている。

### 6.2 地下水採取の規制

次に地下水採取の規制と生活用水優先利用の問題である。地下水に関する県の条例はいくつかの変遷を経て最終的に地下水保全条例として統合され（Table.3）、大きく地下水の水質と水量の保全に関する条項に分かれる。そのなかで地下水の採取や量の規制に係る条項は、総則では事業者の責務、県民の責務である。地下水量の保全では合理的使用、指定地域、届出、勧告、地下水の涵養では事業者の務め、雑則では報告及び検査、土地の立ち入りであり、最後は罰則である。

その概要は①県の施策に協力すること、②知事は地下水採取に伴う障害が生じ、及び生ずるおそれのある地域並びに地下水理上密接な関連を有する地域を指定地域として指定でき告示すること、③地下水採取のための揚水施設は吐出面積 6cm²（直径 2.76cm）以上は届出ること、④知事は地下水量の保全のため採取者に期限を定めて必要な措置を講ずるよう勧告し、従わない者は公表できること、⑤必要な場合には土地に立ち入り調査できること、⑥届出をせず、又は虚偽の届出をした者に対する罰則である。

このなかには地下水の採取を禁止する条項はないが、地域指定や届出、勧告、立ち入り調査により地下水採取が事実上かなり抑制され私権の濫用を制限することは間違いない。市の条例ではこの点届出時の事前協議による指導（第 11 条）と地下水採取の制限条項（第 17 条第 3 項）が明記され、私権の制約に一歩踏み込んだ内容になっている。

### 6.3 生活用水優先の問題

次に人工涵養事業に係る生活用水の優先利用の問題である。この事業に関しては、水理地質的に上流側に位置し涵養に必要な地表の土地の問題と下流側で汲み上げる地下水の受益者の問題が存在する[10]。県が示した“地下水の生活用水優先”の検討は涵養によって開発された地下水利用に優先権を与える法律的な裏づけを意図したものと推察される。

これには参考になる日本での前例がある。沖縄の宮古島水道組合（1 市 3 町村）は米軍統治時代の 1965 年に宮古島地下水保護管理条例を制定した。第 1 条では目的として組合が水源の保護管理と飲料用水、かんがい用水、及び工業用水を包括的に取り扱うこと、第 2 条では優先権を定め、地下水の利用では各種用水の中で、飲料用水が優先することが明確に規定されている[21]。全島が島尻層群（泥岩）とそれを不整合に覆う琉球石灰岩によって構成され、恒常的な表流水がなく、唯一の水源は泥岩を不透水性基盤岩とし、琉球石灰岩を帯水層とする地下水に由来する白川湧水（取水施設能力 11,250m³/日）等と井戸という特殊

Table.4 計画期間の具体的な施策

| 計画期間 | 水の利用を減らす | 涵養量を増やす |
|---|---|---|
| 計画期間前半に実施する施策（～2005年） | ・水道使用量を九州平均並に<br>・節水機器の設置、雨水の有効利用、漏水の防止<br>・処理再生水の活用 | ・白川中流域水田の活用<br>・地下水保全事業支援システム<br>・開発等に伴う涵養機能維持確保<br>・浸透桝などの雨水浸透施設の設置促進<br>・涵養林の整備 |
| 計画期間後半に実施する施策（～2010年） | ・工業用水の回収率の向上<br>・地下水採取の規制の検討 | |
| 計画期間以降に実施する施策 | ・地下水の使い分けの検討（生活用水優先利用）<br>・表流水利用の検討 | |

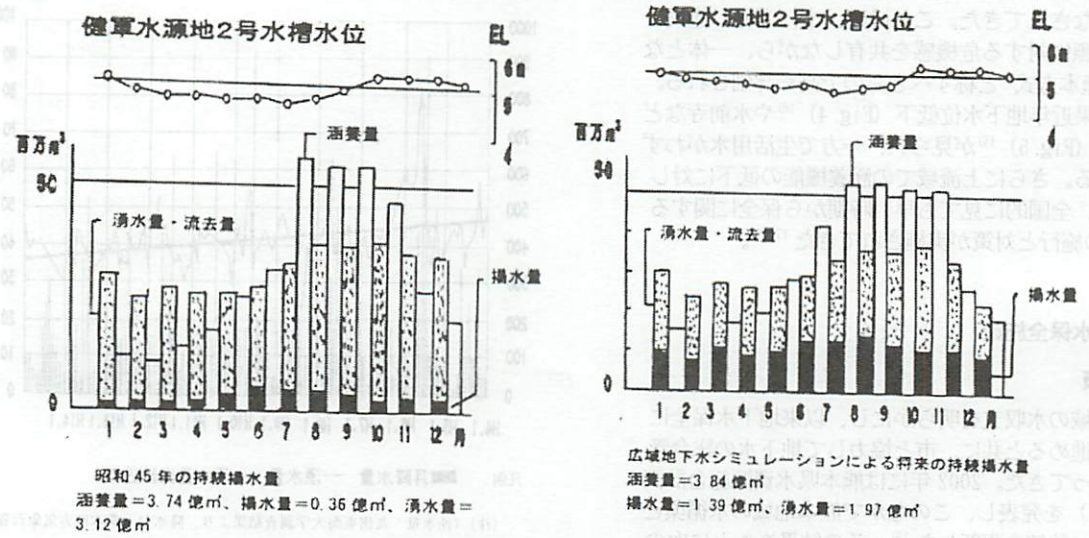



Fig.6 同じ揚水量でも水収支の中身がちがう

な島である。それだけに干ばつ時の水源は特に貴重な資源であるという島民が共有する意識と、指導したアメリカの影響を受け飲料水優先が明記されたと考えられている[22]。しかしアメリカの地下水法は州法に定められ、西部諸州では地下水の水利権についても専用権が認められているが、それが生活用水とは限らない[23][24]。1987年に改定されるまで異常気象もなかったこともあり、条例の運用に特に問題は生じなかった。この考え方は現在も日本の地下水に関する法律や条例にはないもので、当時から問題提起をしていたが、農水省の地下ダム直轄事業が始まる1987年改定された[22]。内容は干ばつ期のみ飲料用水が優先するという制限が入り、地下水の総合的管理はトーンダウンした。

Table.5にある地下水涵養を目的とした法定外目的税の導入は受益者負担（採取量に応じた料金の支払い、あるいは採取量で得た利益に対する課税）を意図したことであろう。当然考えられる対価と思われがちであるが、税の「公平」と「効率」の基本原則から種々制約を受けると考えられている[10]。これに先行して最近高知、岡山両県で既に導入された森林保全を目的とした環境税が参考になるが、便益が広く薄く県民にゆきわたる森林と使用する人が限られる地下水とではやはり「公平」感が欠如し、県民の納得が得られるかどうか難しい点がある。また税とするのか水道料金に上乗せするのかでは法的なプロセスは大きく変わってくる。

県の試みは立案した施策を実行に移すプロセスで、いずれは住民と事業者の合意のうえで明文化すべきことである。宮古島と同様に、同じ地下水盆のなかで県民が全面的に地下水に依存して生活し、企業活動しているという、資源を共有する意識は良い方向に収束すると思われる。神奈川県秦野市では要綱によって20m³/日以上の利用者は地下水使用水量に応じて水道料金に上乗せして協力金を支払う制度を設けた[25]。地下水盆の包括的一元管理の一歩手前の段階として生活用水優先の条例化に向け努力を期待したい。

県では表.4に示した施策の推進のため、毎年予算措置をして事業を推進しているが、下記は平成14年度の地下水保全に直接関係する項目である（Table.5）[26]。

## 7．熊本市の地下水保全施策

一方、熊本市は環境基本条例のなかで環境保全の大綱を定め、その趣旨に基づき地下水に関する保全条例を全国的にも早い時期（1977年）に個別に定めた。その条例に従って地下水の管理を行ってきたが、2004年3月に公表された熊本市地下水量保全プラン[16]では、県の総合計画を受けた形で、

第1章は地下水量の現状と基本認識として

・地下水が不足した場合、代替水源（地表水）への転換は困難で地下水への依存は変わりなく、守らなければならないこと

・地下水盆を保全するため採取量を抑制し、涵養量を増やすこと

・地下水抑制の主たる対象は生活用水であること

・地下水涵養の主たる対象地域は白川中流域であること

・行政、市民および事業者が広域連携に取り組むこと

を挙げた。

第2章では県の具体策以上に踏み込んだ明確な基本目標、基本方針、ターゲットおよび目標値を立て実行に移している（Table.6）。以下　第3章．市民・事業者・行政の役割分担

第4章の1　「水のムダを省く」施策の展開

第4章の2　「水をつくり出す」施策の展開

第4章の3　「水の源を大切にする」施策の展開

について細かな展開方針とメニューが示されている。最後に、第5章の評価と見直しでは、指標に対する進捗をデータに基づいて毎年評価し、結果を一般に公表することになっており、評価に当っては市民を入れた会議を設け、意見を聞く場を設けている（Table.7）。このなかで、人工涵養事業は2004年度から開始された。その概要は熊本地域の上流に位置する白川中流の水田（大津町、菊陽町）の休耕田（240ha）を1~2ヶ月借り受け、表流水を張って地下浸透を図るものである。人工涵養事業に関しては、水理地質的に上流側に位置し涵養に必要な地表の土地の問題と下流側で汲み上げる地下水の受益者の問題が存在する。今回は市、町および地主とは協定書をもって合意が成立した（熊本日々新聞）。ヘクタール当り約10.5万円（一戸当たり9万円）の助成金を市の水環境の保全事業予算から支払う。涵養量の目標は年間726万m³で、今後面積を漸次増やし、最終的には3000万m³にする目標である。この数字は地下水盆全体利用量の60%を熊本市が利用しているため、計画涵養量5000万m³の同じ割合を負担するという考え方からきている。

以上のように涵養に要する地表の土地の問題は解決しているが、公益事業として行う以上地下水の受益者は特定個人であってはならない。県が示した“地下水の生活用水優先”の検討は

**Table.6 基本目標**

| 目標となる指標 | 目標 | | 現在 | |
|---|---|---|---|---|
| | 値 | 年度 | 値 | 年度 |
| 地下水涵養増加量（万m³/年） | 3,000 | H20 | — | H14 |
| 地下水採取量削減量（万m³/年） | 400 | H20 | — | H14 |
| 地下水採取量（億m³/年） | 1.13 | H20 | 1.17 | H14 |
| 生活用水使用量（l/日/人） | 230 | H20 | 254 | H14 |

**Table.5 熊本県の健全な水循環に向けた施策（平成14年度の関係部分を抜粋）**

| 環境目的 | | 事業名 |
|---|---|---|
| 健全な水循環の確保 | 新しい水資源総合管理計画(2002）の策定 | 策定済　(熊本水プラン21) |
| 地下水の質・量の保全策の強化 | 総合的な保全策の強化 | |
| | 地下水保全条例(1990）に基づく工場・事業場の監視・指導の徹底 | 地下水質保全対策事業 |
| | 地下水保全条例に基づく地下水の監視の徹底 | 地下水保全対策事業 |
| | 熊本地域地下水総合保全管理計画の評価見直し | 地下水情報管理システムの構築事業 |
| | 地下水涵養に係る指針及び涵養域の開発に関しての指導要綱の策定 | 地下水利用合理化の推進事業 |
| | 涵養域等で行う地下水保全事業に対して地下水の受益者が支援を行うシステムの構築 | 熊本地域地下水保全事業支援システム構築事業 |
| | 地下水涵養を目的とした法定外目的税の導入の可能性についての検討 | 硝酸性窒素汚染対策事業 |
| | 情報発信機能の強化 | 環境関連連絡調整費 |
| 水源涵養機能の維持、強化 | | |
| 計画的な間伐の実施 | 森林環境保全事業 | |

Table.7 地下水保全プランの見直し

| 計画の要約 | 指標（平成20年） | 指標データの入手先 |
|---|---|---|
| **全体の目標**<br>地下水量の保全 | ①地下水位の低下傾向の停止<br>②湧水量の減少傾向の停止<br>③水収支バランスの黒字化 | ①熊本市戸島、水前寺の過去5年間の地下水位観測データ<br>②九州東海大学の過去5年間の計測データ<br>③環境総合研究所による水収支シミュレーション |
| **計画の目標（平成20年）**<br>①地下水涵養量増加量<br>②地下水採取量削減量<br>③生活用水使用量削減 | <br>①3000万$m^3$/年<br>②400万 $m^3$/年<br>③230l/日/人へ | <br>①環境総合研究所による水収支シミュレーション<br>②地下水保全条例による採取量報告の集計結果<br>③水道事業統計 |
| 活動：各施策の事業メニューごとに進捗状況、成果および費用対効果について、ホームページで逐次報告します。 | | |

地下水を公共財とする法律的な裏づけに一歩踏み出したものとして注目される。

また、1980年代後半人工涵養に関し当時の建設省が阿蘇外輪山西南麓を流れる白川水系加勢川の支川木山川および布田川の水を周辺の台地に導水する計画を立てた。目的は導水路で河川水を貯留池に導き、地下浸透を図るとともに加勢川の洪水調整であった[27]。平成年代初めまで調査が行われたが企画は中止になっている。これとは別に熊本空港建設に伴う防災調整機能を持った深迫ダム（堤高19m、総貯水容量1,268千$m^3$のアースフィルタイプ）が空港の南に隣接して1974年に建設された。現在ダムは県によって管理中で、農業用水を供給しているとのことである。以上の事後報告も含め、熊本市が進めている人口涵養事業の進展と地下水のもう1つの重要な要素である水質管理については今後報告したい。

## 8．おわりに

熊本地域の取り組みは地下水位低下や湧水の減少および上流域の水田の減少といった現況に対する危機感から生まれた。同じ地下水盆に生活する地域住民や行政が貴重な水資源を末永く健全に保全しながら利用してゆくという意識を共有し、それを具体化するために、条例を整え、科学的資料の裏づけをきちんとしたうえで、問題点を整理し、地方の実状に即したかたちで改善目標を掲げた。流域全体を見据えた地下水盆管理がりっぱに機能を果たし、いよいよ本番に入る段階に来ている。今後の検討課題も多く残っているが、全体の方向性は非常に具体的であり、国内海外を問わず今後同様な問題を抱える地域の参考になるよい事例と思われる。

**謝辞**

熊本市に関する資料については環境保全部水保全課に大変お世話になった。厚くお礼を申しあげる。

（原稿受付　2004年10月10日）
（原稿受理　2004年11月20日）

**参考・引用文献**

1）国土交通省・土地水資源局（2004）日本の水資源、平成16年版、第Ⅱ編平成15年度の日本の水資源の状況、第2章　水資源の利用状況、64－76．第3章　水資源開発と水供給の現状、77－104．
2）国土庁（1999）新しい全国総合水資源計画（ウォータープラン21）72．
3）井関弘太郎（1983）沖積平野、10．自然堤防の発達、115－125．東京大学出版会
4）川上洋一(2000)　弥生時代の生活用水―井戸の登場、(かしこうけん通信 Vol．17)、「月刊大和路ならら」7月号
5）鐘方正樹(2003)　井戸の考古学、第7章 井戸の歴史的展開とその背景、172-188．同成社
6）市原実他（1987）日本の自然、6．日本の平野、第3章　沈みゆく平野59－92．平凡社
7）環境省（2004）平成16年度版　環境白書、平成14年度全国の地盤沈下地域の概況
8）村下敏夫・岸和男（1967）地下水の塩水化についての研究（第1報）、溶岩帯水層の水理地質学的性質、地質調査所月報、Vol.18、No.6．
9）新藤静夫・唐常源・杉江弘行（1986）地下水環境における地形・地質要因と物質の挙動、及びそれらにかかわる人的要因について、文部省環境科学研究報告書、B-293-R12-14、79-99
10）金沢良雄・三本木健治（1979）水法論、第5章　地下水法論、147－192共立出版
11）遠藤浩・雄川一郎・金沢良雄・塩野宏・高橋裕（1975）＜座談会＞地下水法制について、ジュリスト、No.582、16－48．有斐閣
12）国土交通省河川局（2003）河川六法、環境基本法、1402－1420．大成出版社
13）環境省（2001）環境基本計画〔環境の世紀への道しるべ〕、244．ぎょうせい
14）大垣眞一郎・吉川秀夫監修（2002）流域マネジメント、第1章　水質環境管理の現状と課題、5－66．技報堂出版
15）田中伸広・平山利晶（1988）阿蘇西麓地下水盆、46－51、アーバンクボタ27
16）熊本県・熊本市（2003）くまもとの豊かな地下水を守るために～白川中流域の農業と地下水保全～8．広報誌
17）熊本県（2003）熊本県地下水保全条例および同法施行規則、熊本県インターネットHP資料
18）熊本市（1991）熊本市地下水保全条例および同法施行規則
19）熊本県（2003）地下水総合管理計画、環境保全課、熊本県インターネットHP資料
20）柴崎達雄（1993）公害・地球環境問題と地質学、79．地学団体研究会
21）沖縄総合事務局（1975）沖縄の農業用地下水資源、第Ⅳ章　宮古島の地下水保護管理条例とその問題点、94－111．
22）水収支研究グループ編（1993）地下水資源・環境論、第8章　地下水資源の評価と管理、273－311．共立出版
23）金沢良雄（1982）水資源制度論、第7章　アメリカ合衆国の地下水法、281－294．有斐閣
24）三本木健治（1983）比較水法論集、第2章、第5節比較法的にみた地下水の管理、194－207．（財）水利科学研究所
25）水野和成（1990）地下水利用協力金制度について、地下水技術、32巻、2号、17－26．
26）熊本県（2003）環境生活部事業計画、熊本県インターネットHP資料
27）小林正典（1991）高遊原地下浸透ダム建設事業について、地下水技術33巻、6号、3－8．

[四万十・流域圏学会誌　第4巻 第2号　11-20　2005]

＜技術ノート＞

# TECHNICAL NOTE ON SYNTHETIC STORAGE MODEL (SSM) (PART 1)

## 総合貯留モデル（SSM）に関する技術ノート（パート　1）

**Ryoichi KAWASAKI***

Sanyu Consultants Inc., HIB Otsuka, 1-13-17, Kita Ootsuka, Toshima-ku, Tokyo 170-0004　Japan*

**Abstract**

Synthetic Storage Model (SSM) is one of the extensions of "Sugawara's Tank Model" to a subsurface system, developed with a close relation with an underground dam scheme in Japan. Concept of the model is an embodiment of a natural hydrologic circulation, and it can analyze water balances for both surface and subsurface systems coincidently, evaluate a groundwater development potential, and simulate groundwater developments under any scenarios in the future. Furthermore, the SSM has a characteristic that it can applicable to the areas where have poor basic hydrological data availability, offering an advantage over formulating of groundwater development plans at early stage in the developing countries where are usually suffering from lacking or shortage of actual observation data needed to make up such development plans.

This paper introduces the outline of SSM, explains its concept, structure, and applications in Part-1, then will presents the actual some case studies of the model in Japan, Nepal, and Thailand, in Part-2.

**Keywords:** Tank Model, Synthetic Storage Model (SSM), Natural Hydraulic Circulation, Water Balance Analysis, Groundwater Simulation, Water Basin, Groundwater Resources Development, Groundwater Sub-basin

**要旨**

本論における「総合貯留モデル（SSM)」は、いわゆる「菅原のタンクモデル」を地下系にまで延長したアプリケーションの一種で、日本において「地下ダム」の開発と密接に関連しつつ発展してきた。このモデルの基本的な概念は、自然界の水循環を具現化、モデル化したものであり、地表系・地下系の水収支バランスを同時に解析し、地下水開発ポテンシャルを評価し、また将来の開発ストーリーに応じて地下水系の動向をシミュレーションすることができる。さらにこのモデルは、基礎的な水文資料の乏しい地域においても適用可能と言う特徴を有し、特に長期の水位観測データの無い、または極めて少ない開発途上国において、初期の開発段階で、あるいはマスタープランの段階で地下水開発計画を立案する上で、非常に有用であると考える。

本編はこの「総合貯留モデル」の概要、基本的な概念とその構造等を紹介し、後に本モデルの実際の適用例を、パート II、「ケーススタディ」として紹介したい。

＊（株）三祐コンサルタンツ、海外事業本部　　〒170-0004　東京都豊島区北大塚 1-13-17　HIB 大塚

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. Tank Model and Synthetic Storage Model (SSM)

One of the famous surface runoff models, Sugawara's "Tank Model (1972) " is now applied in world wide for river runoff and/or surface water balance analysis, because of its simple structure and a quite accurate response nevertheless. "Synthetic Storage Model (SSM)" is an extended application of Tank Model to an underground system, developed by Yoshikawa (1976) , transported into P/C and improved by the author and et al Hereafter, the Tank Model shall be introduced roughly, and then, the SSM shall be explained after that.

As it is shown in Fig.1.1, the Tank Model is explained by plural tanks (usually three) connected vertically. Every tank has some orifices on its side and bottom. The side-flow from the upper tank indicates flood or a high surface flow; the one from the middle tank means a normal river flow; and it from the lowest tank is a base flow. Dr. Sugawara called this system as "Exponential type serial storage model."

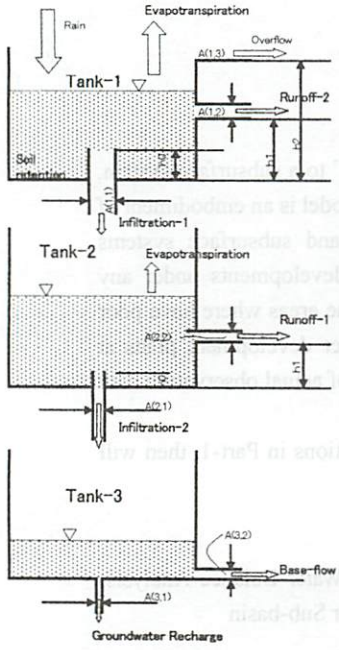



**Fig. 1.1 Concept of the Tank Model**

If there is no rainfall for long period, all of the tanks become empty, neither resulting in no base-flow nor recharging, and this is the situation at the end of dry season. Under the situation, if there is a small rainfall and if it exceeded evapotranspiration capacity of the site, small amount of water shall be stored in the upper most tank. The amount is, however, captured in soil as "soil retention," only when it exceeds the level "$h_0$" of tank-1 "water percolation" to the middle tank shall be started. In the middle tank also, soil retention shall occur, and only when the water level in tank-2 exceeds "$h_0$" (of tank-2) rainwater percolates into the lowest tank, causing "recharging groundwater" through the bottom orifice and "base-flow" from the side orifice. The rainfall until the base-flow happens is called as "missing rain." Through continuous rain, the water level of thank-2 goes up to "$h_1$" in due course of time, and then, most of rain water starts to flow out through the side orifice(s) as a normal river flow. In this situation, usually the lowest tank has much water resulting in enough groundwater recharge. If heavy rain has come under this condition, the water level in the upper tank increases rapidly and a large flow occurs through large side orifice(s) when it arrives the level "$h_1$" in tank-1. Farther, a flood flow shall happen by overflow when the water level goes up to "$h_2$" of tank-1. However, the situation shall end soon and return to the normal flow condition because the runoff coefficient of the side orifice of tank-1 is quite large and the one of overflow, *A(1,3)*, is just 1.0. The water infiltrating through the lowest tank recharges the groundwater.

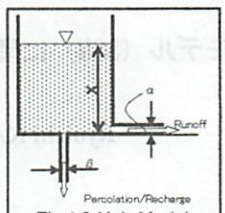



Fig 1.2 Unit Model

Runoff from every orifice is explained as follows . In the unit model (Figure 1.2), $\alpha X$ is a runoff amount when the water level of the tank is $X$ and the water level attenuates by the rate of $r = 1-\alpha$, when $\beta=0$. When $\beta\neq0$ and water level is X , $\alpha X$ is running out, $\beta X$ is recharging, and $\{1-(\alpha+\beta)\}X$ is a balance, and therefore, the attenuation rate $r = 1-(\alpha+\beta)$. The allocation of runoff and recharge is $\alpha:\beta$ i.e. when $\alpha=0.2$ and$\beta=0.1$, the attenuation rate $r$ shall be of 0.7, resulting 2/3 of runoff and 1/3 of recharging.

### 1.2. Concept of Synthetic Storage Model

Synthetic Storage Model (SSM) is, as mentioned above, one of the applications of the Tank Model, extended to subsurface system. Originally, SSM has been developed and established in tight relation with an underground dam scheme in Japan. Since an underground dam is constructed under the ground, the dam itself and its reservoir are not visible directly. Therefore, the underground dam must be operated only based on groundwater monitoring data, essentially through groundwater level in its reservoir area. It means it is quite important to know the relation between the groundwater level and storage volume, the mechanism of groundwater recharge, or the system of groundwater flow. Further, to know the groundwater behavior under a certain pumping condition in future is another quite significant subject for the underground dam scheme. And SSM is just developed and progressed to answer these requests from the planning of underground dam projects.

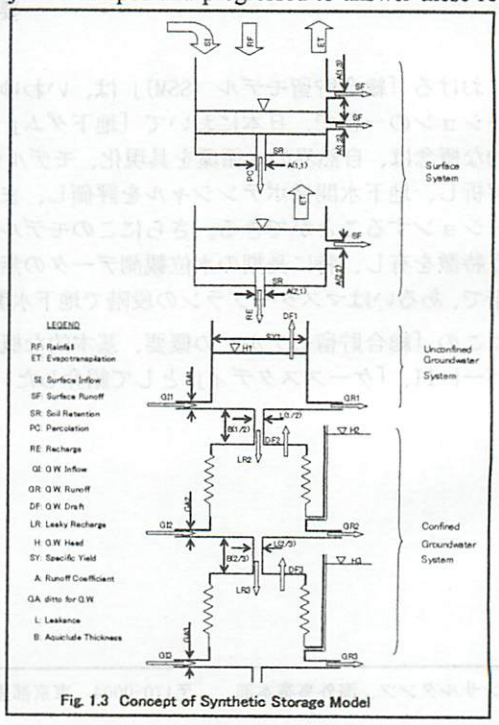



Fig. 1.3 Concept of Synthetic Storage Model

SSM has a structure as shown in Figure 1.3 As easily understandable from the figure, the model has serial tanks (plural in most cases) further below the lowest tank of the Tank Model

showing a groundwater system. The upper most tank in the subsurface system indicates an unconfined aquifer system, and the lower tank(s) indicates a confined aquifer system. This has plural stories sometimes or nothing sometimes. An unconfined aquifer has a groundwater table and the water level varies in accordance with the balance between a recharge and a groundwater flow, therefore, it is represented by an open tank. While, a confined aquifer has a fixed aquifer thickness and has no groundwater table but a piezometric head, and the head varies elastically depending upon also the balance between a leakance from the upper aquifer and a groundwater flow, so it is drawn by a closed tank with spring. These two types of tanks consist of subsurface system, and the upper tanks representing surface system are just Sugawara's tanks.

Inputs to the surface system are a rainfall (RF) and a surface inflow from the upstream (SI), and outputs are an evapotranspiration (ET), a surface outflow to the downstream (SF), and a recharge to groundwater system (RE). In the same manner, inputs to the subsurface system are a recharge from the surface system and a groundwater inflow (GI), and outputs are a groundwater outflow (GF) and a groundwater withdrawal (DF) if any. Looking the subsurface system in detail, outputs from the unconfined aquifer include a leakance to the lower confined aquifer (LR), and the confined aquifer has also a leakance to the confined aquifer farther underlying, if any.

SSM, the Tank Model also, needs to divide the target area into proper number of unit basins (called as sub-basin in this paper) to build a plane model. The figures of 1.1 and 1.3 shown above are the concept of unit structure in each sub-basin. In Tank Model simulation, the target catchment area is simply divided into several sun-basins based upon only a drainage system and a distribution of runoff stations. In the case of SSM simulation, on the other hand, a comprehensive examination on a relief structure relating to a rainfall pattern and an infiltration, a hydrogeological structure concerning to an aquifer structure, a surface geology/ land-use relating to an infiltration, and a human-geography relating to a water use, besides the drainage pattern, is required to construct its plane model. To construct the plane model, sub-basin dividing in other words, is one of the most important procedures controlling the accuracy of the simulation.

### 1.3. Sustainable Water Resources Development, Natural Hydraulic Circle, and SSM

As it is well known, fresh water resources are only 2.5% of the total volume of water existing on the Earth. Farther, the most (more than 70%) of it is fixed as an ice or a snow in the polar zones and on the tops of high mountains. Thus, the fresh water volume which can be utilized by most of the lives directly is only 0.8% of the total water volume This portion of water is naturally circulating on the Earth, and thereby, it has unique property that it is a renewable resources supplied periodically by rainfall in the hydraulic circle. The most basic concept on modern water resources development scheme is a "sustainable development," and it can be achieved to develop only the part of renewable water resources, in most of the cases.

Natural hydraulic circulation is usually explained by the figure shown below (Figure 1.4) In natural condition, the hydraulic circle starts from a rainfall to the ground or sea.

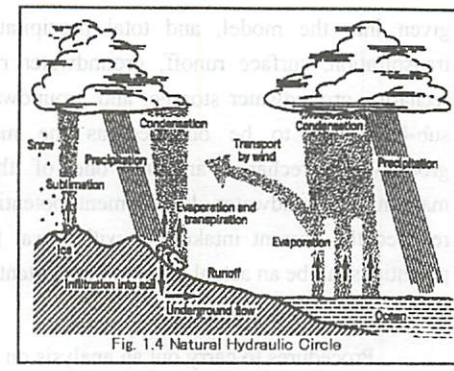


Fig. 1.4 Natural Hydraulic Circle

Most of its part is lost by evaporation and/or transpiration but some part infiltrates into the ground recharging groundwater and the remains flow down on the ground pouring into the sea finally.

The natural hydraulic circle can be modeled as shown as Figure 1.5, quite simply though. In the figure, the circulation starts from a rainfall (RF), as same with the figure 1.4.

A considerable part of rainfall is lost through

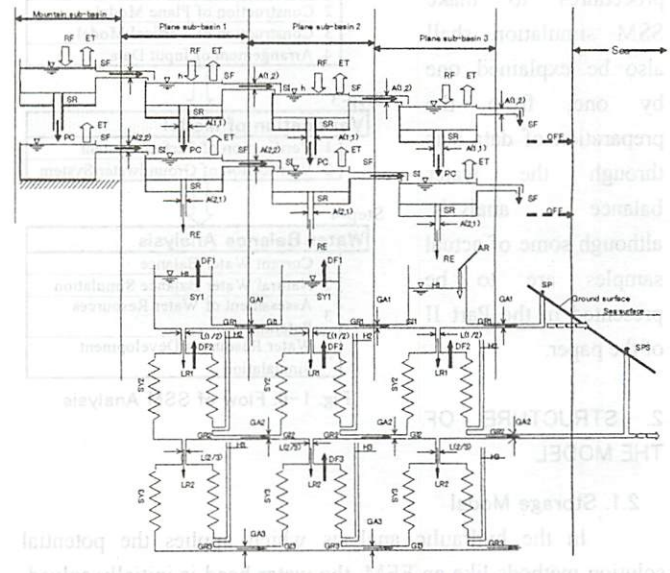


Fig. 1.5. Natural Hydraulic Circulation Model

evapotranspiration (ET), and some part of it runs off the ground surface (SI, SF) pouring into the sea finally. Through the process of runoff, some part of rainwater infiltrates into the ground (PC), being partly captured in the soil (SR) and partly recharging groundwater (RE). Groundwater also runs down slowly (GI, GF) and pours into sea finally. A part of groundwater comes up to the ground surface forming a spring (SP), or spouts out on the sea bottom as a submarine spring (SPS). Most of water arrived at the sea evaporates from the sea surface, condenses to form clouds in the sky and comes down to the ground (or sea) again as a rain or snowfall. This is a series of the natural hydraulic circle.

Synthetic Storage Model to be explained hereafter is, in short, just the model of natural hydraulic circle. First of all, the target area shall be divided into proper number and shape of sub-basins, and then, every sub-basin shall be given its own surface and subsurface structures and hydraulic parameters. As input data, evapotranspiration, precipitation, current intake from surface water and current withdrawal from groundwater are to be

given into the model, and total precipitation, actual evapo-transpiration, surface runoff, groundwater runoff, groundwater recharge, groundwater storage, and groundwater level for every sub-basin are to be obtained as the model outputs. The groundwater recharge amount, one of the outputs, is the maximum groundwater development potential and the amount reduced the current intake and withdrawal from the maximum potential shall be an actual development potential.

### 1.4. Flow of SSM Simulation

Procedures to carry out an analysis on a water balance or a water resources development potential are divided into four major steps: 1) Preparation of the data sets, 2) Construction of the model, 3) Verification of the model, and 4) Water balance simulation as shown in Figure 1.6.

In the flowing sections, the actual procedures to make SSM simulation shall also be explained one by one, from the preparation of data sets through the water balance analysis, although some of actual samples are to be presented in the Part II of the paper.

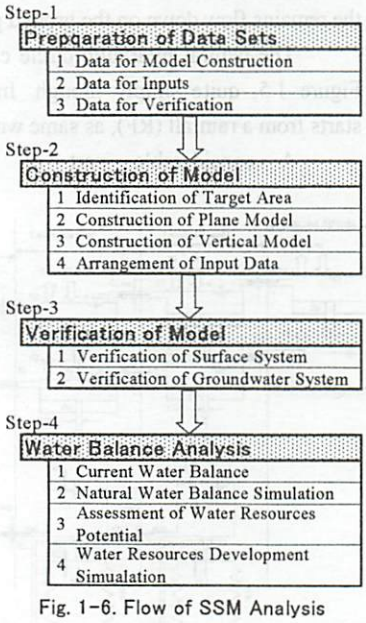


Fig. 1-6. Flow of SSM Analysis

## 2. STRUCTURE OF THE MODEL

### 2.1. Storage Model

In the hydraulic analysis which applies the potential solution methods like an FEM, the water head is initially solved, and then the water storage is secondarily defined. On the contrary, this model solves initially the change of storage (balance) of an aquifer in a sub-basin, and the water head is driven through the relationship between its storage and the head which has been previously defined (refer to Figure 2.1 shown later). This methodology is the most particularity of the model, and is the origin of model name.

Groundwater storage is to be taken place in the upper most unconfined aquifer and the confined aquifers separated by leaky aquiclude (refer to the Figure 1.3). A storage characteristic of each aquifer is defined by Strativity (or Specific Yield) (SY), and a water head is, secondary, defined from the fluctuation of stored water in an aquifer.

The balance of storage in an aquifer of a sub-basin is a sum of the recharge from surface system (RE), the leakance through the neighboring aquiclude(s) (LR), the inflow (GI) and outflow (GF) from/to the aquifers in the same horizon in the neighboring sub-basins, and the draft (DF) as shown in Figure 1.5; Change of Storage = RE + GI – GF – LR – DF.

As the most characteristic point of SSM, as mentioned above, it requires to define the relation between the water head ($h$) and storage volume ($q$) of each aquifer of each sub-basin beforehand.

In the case of unconfined aquifer, the initial water head ($z$) when the aquifer is empty, and the maximum water head ($h$max) when the aquifer is filled up with groundwater and the water level can not raise any more because of spring out of groundwater, are defined at first. When the water head is $h$, the aquifer volume at the time is v, and Strativity of it is λ, the relation between $h$ and $q$ is defined as:

$$q = \lambda v$$
$$v = f(d) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$
$$d = h - z$$

While in the case of confined aquifer, *(z)* shall be the upper limit of the aquifer concerned, it means the water level of the aquifer when confined pressure $p = 0$. In this case, the storage volume *(q)* is defined as follow;

$$q = q_0 \{ 1 + S(h - z) \} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2)$$

where $q_0$: water storage when $h=z$
$S$: Strativity

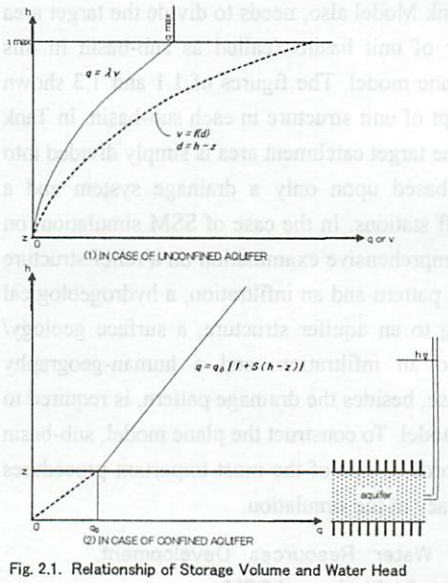


Fig. 2.1. Relationship of Storage Volume and Water Head

However, when $h < z$ (the aquifer is not filled up) the relation changes to the equation *(1)* shown above. These relations are illustrated as Figure 2.1.

As mentioned before, the reason why this model is called as "Storage Model" is due to the equations *(1)* and *(2)* above.

### 2.2. Linkage of Sub-basins

For the surface system, the relation of upstream and downstream of each neighboring sub-basin must be clearly defined in advance. The relation shall only be a serial relation, having no lateral connection, to simplify the model and surface water flow.

In the case of groundwater system, aquifers in a certain horizon of all of the neighboring sub-basins, at up- and down-streams and right and left sides relations, must be connected. Further in the case of confined aquifer is attached, the

relations of up- and down directions (leak-in and leak-out of groundwater through leaky aquiclude) should be considered besides the above mentioned relations. Thus, total six directions of linkage (connecting system), up- and down-stream, left side and right side, and upper and lower, shall be taken into the consideration of water balance.

### 2.3. Groundwater Flow System

A water balance of a certain aquifer in a certain sub-basin shall be expressed as a function of "difference of water heads" with neighboring aquifer in six directions as mentioned above, excepting a recharge from surface system and a withdrawing from each aquifer.

Since all of the parameters on sub-basin or aquifer structures, such as the connections, areas, distance, thickness, depth, etc., were defined in advance, the groundwater flow between the aquifer and the neighboring one can be solved as a differential solution through Darcy's Principle when permeability $k$ of the aquifer or leakance $k'$ of the aquiclude were defined. In the case of unconfined aquifer, the groundwater volume $q$ flowed in (or flowed out) to the aquifer in horizontal direction is expressed below, using the marks shown in Figure 2.2.(1).

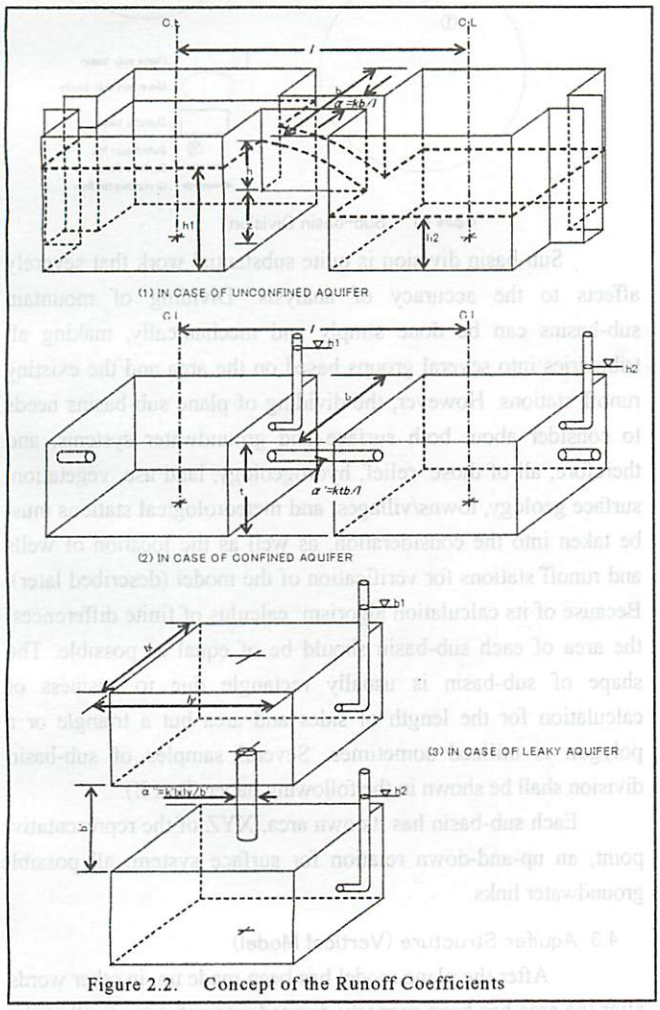


Figure 2.2. Concept of the Runoff Coefficients

$$q = \alpha \cdot h\,(h_1 - h_2)$$
$$\alpha = k \cdot b / \ell \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3)$$

Where, α in the equation shall be called as "Runoff Coefficient" of unconfined aquifer. Conceptually, a connecting system of neighboring two aquifers is expressed to be connected through a ditch with a width of α and bottom height of $z$, as shown in Figure 2.2. (1).

In the case of confined aquifer, the $q$ in the same manner of above but as shown in Figure 2.3.(2). is express as;

$$q = \alpha'(h_1 - h_2)$$
$$\alpha' = k\,t \cdot b / \ell \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4)$$

Thus, a connecting system of neighboring confined aquifers can be explained as a pipe with the thickness of α'.

While, a groundwater volume lost (or gain) through leakance is expressed as the equations shown below and in Figure 2.2.(3).

$$q = \alpha''(h_1 - h_2)$$
$$\alpha'' = k'\ell x \ell y / b' \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5)$$

That means, in the same manners with above two cases, those two aquifers are connected through the pipe with the thickness of α".

## 3. PREPARATION OF DATA SETS

There are major three kinds of data sets required to carry out SSM analysis and simulation. These are the data set required to construct the model, the data set required as input data, and the data set required for its verification. As mentioned above, it is possible to make analyze through SSM based on the least minimum data sets in the case of poor basic data availability but the following data sets are needed in the normal case.

### 3.1. Data for Model Construction

In general, to identify the study area, to make the sub-basin division, and to construct an initial solid model, several data sets and information listed bellow are required:

a) For identification of the area and for plane model;
Topography, geology, hydrogeology, human geography, vegetation, land-use, irrigation facility, well field, meteorological station, runoff gage, rainfall distribution, water resources facility, and so forth.

b) For vertical model construction;
Geological stratigraphy, well and boring data, pumping test, water quality analysis, geophysical prospecting, and so forth.

### 3.2. Data for Inputs

As normal input data for the model, following data sets are required to make analysis and/or simulation;

a) Meteorological data sets;
Rainfall (daily basis, as long as available),
(Snowfall and temperature in case of cold zone),
Evapotranspiration or Evaporation (daily or monthly),
Tidal data (depend upon the purpose).

b) Data for current water use;
Current surface water intake data (daily or monthly),
Current groundwater discharge (daily or monthly),
Spring yield (if there are).

### 3.3. Data for Verification

To verify the model, two kinds of data sets are required. One is data set required to verify the surface model and another is data set required to verify the subsurface model. These are;

Runoff records (daily basis, as long as available), and

Groundwater hydrograph (daily basis).

### 3.4. Output Data

While, SSM outputs runoff and recharge amounts from its surface system, groundwater levels, groundwater flows, spring yields, and balance of groundwater storage from the subsurface system, in daily, monthly and yearly bases based on such input data sets.

## 4. CONSTRUCTION OF THE MODEL

### 4.1 Outlines

After all required data and references, in particular topographic and hydrogeological data have been collected and reviews, the target area for the analysis shall be identified, and then, divided into proper shape and number of sub-basins. The procedures to divide the target area into sub-basins are same with construction of a plane model of SSM. Then, all sub-basins are given their own physical hydrogeological properties such as a surface tank structure, an aquifer structure, depth of the aquifer(s), and depth to the impervious basement. This process is to construct a vertical model of it.

Once the model has been constructed physically, every sub-basin is given its own hydrogeological properties such as a runoff coefficient and infiltration ratio on the surface system, permeability, Storativity, and initial groundwater level(s) on the subsurface system, tentatively. Then, the surface system (tank model) is verified through a pattern matching using the runoff records of rivers running through the target area at first. Thus, the surface system is to be fixed, and then, the subsurface system shall be verified through a direct or a passive verification.

In this chapter, the detail procedures to construct the models for both plane and vertical shall be explained.

### 4.2. Sub-basin Division (Plane Model)

Primarily, the basin to be analyzed is divided into small unit areas called as "sub-basin." There are three types of sub-basins: a mountain sub-basin which has no groundwater system, a plane sub-basin which has a groundwater system, and a dummy basin which is outside of the target area but required for analysis.

The mountain sub-basin has no aquifer underlain; therefore, it has only one function to collect rainwater throughout its area. This is usually drawn by a circle. However, in the case that the mountain (or bedrock) can infiltrate and contain water, like as a karst zone, the sub-basin shall be classified into a plane sub-basin having aquifer system. The plane sub-basins and dummy sub-basins are drawn by an arbitrary rectangle, sometimes by a triangle, but their largeness are roughly proportional to their actual areas. Only the dummy basins are drawn by a dotted line to make clear they are not included in the study area.

Figure 4.1 shows a sample of sub-basin division . White arrows connecting two sub-basins show a surface flow and define their up-and-down stream relation. While, black arrows show groundwater links and they have two heads because the groundwater flows either directions depending upon the related height of groundwater table.

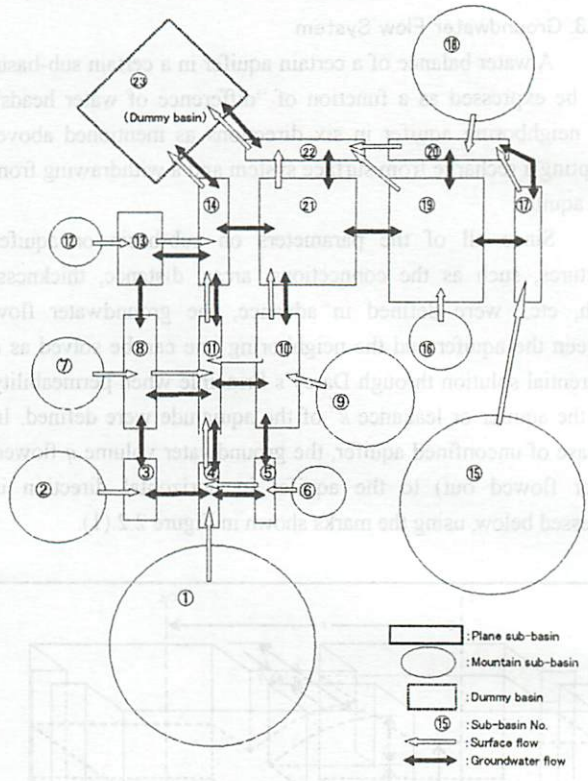



Figure 4.1. Sub-basin Division

Sub-basin division is quite substantial work that severely affects to the accuracy of analysis. Dividing of mountain sub-basins can be done simply and mechanically, making all tributaries into several groups based on the area and the existing runoff stations. However, the dividing of plane sub-basins needs to consider about both surface and groundwater systems, and therefore, all of those: relief, hydrogeology, land use, vegetation, surface geology, towns/villages, and meteorological stations must be taken into the consideration, as well as the location of wells and runoff stations for verification of the model (described later). Because of its calculation algorism: calculus of finite differences, the area of each sub-basin should be of equal as possible. The shape of sub-basin is usually rectangle due to easiness of calculation for the length of sides and area but a triangle or a polygon is utilized sometimes. Several samples of sub-basin division shall be shown in the following paper (Part II).

Each sub-basin has its own area, XYZ of the representative point, an up-and-down relation for surface system, all possible groundwater links.

### 4.3. Aquifer Structure (Vertical Model)

After the plane model has been made up, in other words after the area has been properly divided into sub-basins, all of the sub-basins are given each hydrological vertical structure (as a three dimensional structure). The most simple vertical structure is one unconfined aquifer system, and in this case, depth to the

impervious basement, Storativity of the aquifer, and each permeability to all links are to be given.

In the case of multi-aquifer system, aquifers and aquicludes are to be grouped into some aquifer groups to build up a simple aquifer model, as shown in Figure 4.2. And the depths of each aquifer and aquiclude groups, in a certain sub-basin, shall be defined as averaged values.

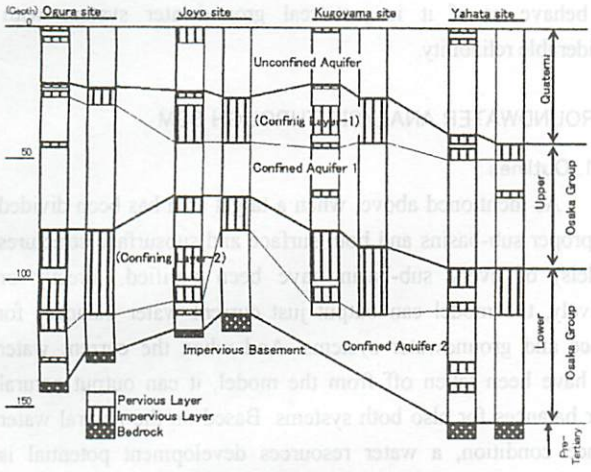



Fig 4.2. Sample of Aquifer Classification

For the unconfined aquifer, the depth of aquifer is changeable by water level, therefore, it shall be defined under the relation with the storage characteristics of the sub-basin, as explained before. In the case of multi-aquifer system, thickness of confined aquifer(s), each Storativity, permeability to all links, and leakance(s) of every aquiclude should be installed.

## 5. VERIFICATION OF THE MODEL

### 5.1. Verification of Surface Model

The model on surface system (Tank Model) has an elevation and a coordination of representative point, sub-basin numbers of the up and the down stream together with their distances by sub-basin basis. Besides these physical data (they are not changeable unless the model is revised), story of tanks and parameters of orifices (number/height/coefficient) on the bottom and side of each tank are to be given. One story tank structure can be applied usually for a mountain sub-basin at where the bedrock is outcropped or there is very thin soil cover. When a soil retention can not be negligible two stories of thank structure shall be applied. Sub-basin having deep soil cover or thick vegetation cover is usually modeled by three stories tank structure. These models are to be constructed at the beginning of work tentatively based on the topography and geology, and they can be revised later on the course of verification work when the model output is inconsistent with the verification data. Parameters on orifices are also adopted by common-sense values at first, and they shall be modified one by one on the course of verification.

Verification process on the surface model is to compare the model output with the observation data (verification data) and to adjust the parameters of the model when these are inconsistent each other, till the inconsistency becomes negligible, called as "Pattern matching." A sample of the pattern matching is shown in

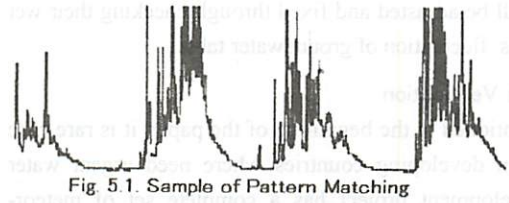


Fig. 5.1. Sample of Pattern Matching

Figure 5.1. In the figure, thin line (pale color) is actual observation data and the thick line is the model output. The process is so-called "Try and Error" approach and it needs to be accustomed and patient considerably. In this process, the story of tank can also be revised if the output is quite inconsistent with the data, as mentioned before. When a certain sub-basin has been verified by the observation data, the model can be applied to the other sub-basins having a similar hydrogeological condition. For sub-basins with quite different condition with such verified sub-basin and no verification data, the model are to be built up roughly as the model out put be consistent with the runoffs in wet and dry seasons by hearing.

### 5.2 Verification on Groundwater System

In the case of subsurface model, the tank story shall be determined from the regional hydrogeological condition. It needs, at least, one story tank for unconfined aquifer (but there is a rare case it consisted by only confined aquifer). The other stories shall be built up depending upon the hydrogeology of the site, whether it has any other confined aquifer(s) below the unconfined aquifer. Every subsurface tank has a series of physical parameters such as a datum depth, width of in/out-flow (and thickness in case confined), which are not changeable. Besides these, another series of hydrological parameters of a Storativity, permeability for every link, leakance to aquifer below, are to be given to every tank as changeable ones. Farther, a volume of current groundwater withdrawal is also given as a fixed value, if any.

Verification work of the subsurface model is also a "Try and Error" approach, checking up the model output (groundwater table) with verification data (groundwater observation data), adjusting parameters when they are not consistent, and running again till they become almost consistent. This procedure is called as a "Direct Verification". Figure 5.2 is one of the samples of direct verification. In the figure, a thin and sharp line is an actual observation record and a thick line is an output of the model. Among those parameters, permeability controls groundwater in and outflows managing water table or head. And, a Storativity controls a relation between the groundwater storage and water table (or piezometric head), which managing a sharpness of the fluctuation of water table. Subsurface models constructed and verified thus are to be applied to the other sub-basins near around or the ones having similar hydrogeology. The sub-basins structures applied from the other

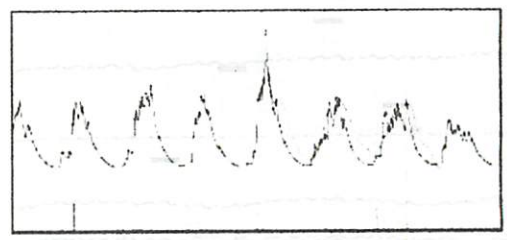


Fig. 5.2. Sample of Direct Verification

sub-basins shall be adjusted and fixed through checking their wet and dry seasons' fluctuation of groundwater table.

### 5.3. Passive Verification

As mentioned at the beginning of the paper, it is rare case that the site in developing countries where need urgent water resources development project has a complete set of meteor-hydrological observation data and groundwater hydrograph for enough long period . Even in these areas, SSM can build up, not thoroughly though, the groundwater model though so-called "Passive Verification." It can be , therefore, available to analyze a water balance and to simulate a water resources development roughly but good enough for an early stage or a Master Plan Stage water resources development project.

When SSM is applied in the site where has no or a little groundwater verification data, SSM constructed physically based on its hydrogeological condition shall be given common-sense values to all required parameters and for initial values at the beginning and run to check the output. And at first, the parameters are to be adjusted as the model output fits to the groundwater table at the time of study (measured in time). Then, the model shall be run as long as possible (more than 10 years at least) and checked the model output, groundwater table, whether it is fluctuating within the range between the most high and low water tables examined beforehand in the field. If the groundwater table of the output has run off the range, upper or lower, the parameters must be modified until the output goes fluctuating correctly within the range. When the precipitation data are too short for the observation period, to build up a long series of precipitation data by repeated use of the actual record but properly and randomly weighted is one of the countermeasures to increase model accuracy. Of course, the subsurface model verified thus shall be less reliable than the one verified by complete verification data, but it can embody the groundwater system almost exactly. Because, if the permeability of a certain groundwater link was set (in the model) a little lower than the actual value, the groundwater level of the sub-basin goes up and results water logging after enough long time, and on the contrary, if the permeability was set only a little higher than the actual value, the groundwater level goes down and results empty of groundwater in the sub-basin after enough long period. The method to verify the model through the procedure mentioned above is called as "Passive Verification." This is quite effective to analyze water balance in the site where has a little basic hydrological data, in particular in the site with poor groundwater data. Figure5.3 shows a sample of passive verification. The figure indicates the model outputs (simulated groundwater table) on 45 sub-basins, and among them, only 5 sub-basins have verification data. However, that the model outputs for the other 40 sub-basins without verification data keep reasonable groundwater level and indicate also reasonable fluctuation in wet and dry seasons for 40 years means the model can behave as if it is just real groundwater system with considerable reliability.

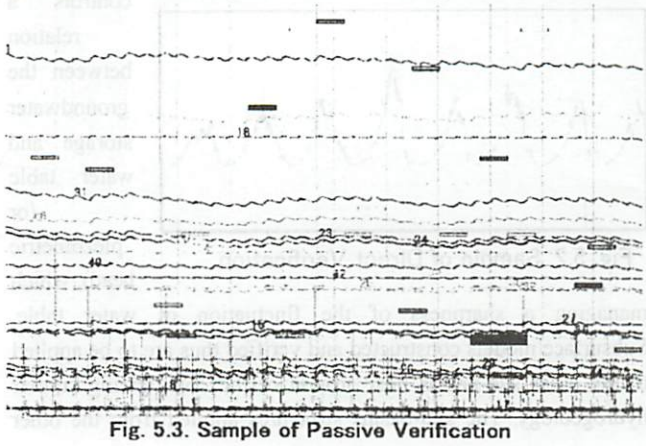


Fig. 5.3. Sample of Passive Verification

## 6. GROUNDWATER ANALYSIS THROUGH SSM

### 6.1. Outlines

As mentioned above, when a target area has been divided into proper sub-basins and both surface and subsurface structures (models) of every sub-basin have been verified, directly or passively, the model can output just current water balances for surface and groundwater systems. And when the current water uses have been taken off from the model, it can output natural water balances for also both systems. Based on the natural water balance condition, a water resources development potential is easily estimate through SSM.

In the chapter, the evaluation of water balances for both surface and subsurface systems, and the estimation of water resources development potential through SSM analysis shall be described.

### 6.2. Water Balance Analysis

In case there are enough verification data the model can be verified by a Direct Verification, and in case there is a little data, the model can be verified through a Passive Verification as mentioned before. In any rate, when the model has been verified and fixed a comprehensive water balance of the site has been obtained simultaneously, and a water resources development potential can be evaluate consequently. SSM makes not only simulation of groundwater table but outputs precipitation, evapotranspiration, surface in/out flows, groundwater recharge, groundwater in/out flows, groundwater storage, current intakes and groundwater withdrawal (if any) for every sub-basin basis in yearly, monthly, weekly, and daily basis. Current water balance can be obtained through summarizing those outputs in yearly basis, taking an average for several years if required. And, the water resources development potential in the future can be obtain through taking off the current water uses (for both surface and groundwater) from the runoff and the groundwater recharge. Figure 6.1 shows a sample of comprehensi

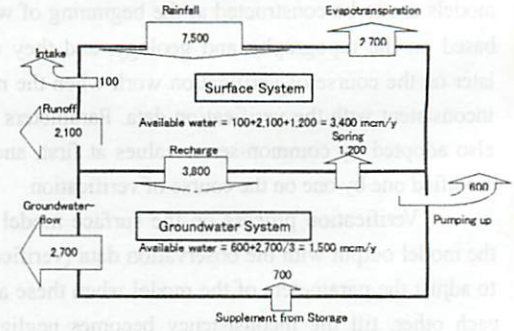



Figure 6.1 Sample of Comprehensive Water Balance

ve water balance analyzed thus. The analyzed site was in a zone of karstic limestone, and therefore, rainfall is easily infiltrating into the ground but also easily coming back to the ground surface forming springs everywhere. Easily readable from the figure, the water resources development potential in this site is 2,000 MCM/a, that is, the amount of remaining of pure groundwater recharge (recharge – spring up) minus current intakes/withdrawal and supplementation from the basic groundwater storage. (3,800 – 1,200) – 600 – 700 = 2,000 MCM/a.

### 6.3. Groundwater Resources Development Potential

In the case of groundwater system, a water resources potential has two meanings. One is the total volume of existing groundwater contained in a certain basin or area, and it is a quite huge volume because the total thickness of all aquifers sums up, usually, to vary large amount. Another is theoretically available groundwater volume every year, in other words, it is a renewable groundwater and almost same meaning of the total of yearly net recharge and groundwater inflow at a certain basin. Both of the groundwater volumes are estimated through SSM simulation study as explained so far.

On the other hand, a groundwater resources development potential has rather restricted meaning that the groundwater volume which can be developed safely for long years, in other words, it is the water volume available for a sustainable groundwater development. Even though the renewable groundwater, it can not be utilized fully because it contains resources for springs in downstream, and some parts difficult to develop practically. Then, the groundwater resources development potential also has two categories: the total development potential and the volume excluding the groundwater volume already utilized for every purpose. These concepts of groundwater potentials are simply illustrated in Figure 6.2.

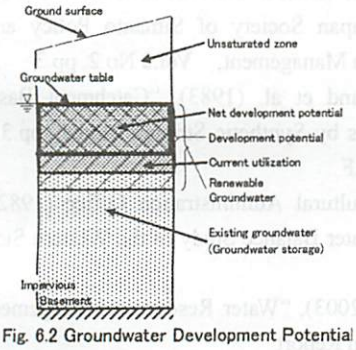


Fig. 6.2 Groundwater Development Potential

Groundwater resources potential is rather easily estimated through SSM simulation, as explained in the previous section. However, the groundwater resources development potential is not directly calculated from the simulation but it needs farther consideration.

### 6.4. Application of SSM

As mentioned in the beginning, SSM has been developed in tight relation with an underground dam scheme. Therefore, the model has two major functions to treat a two-phases density flow to analyze sea-water intrusion and to evaluate a cutoff wall to analyze an effect of underground dam. Farther, SSM can be utilized with other established simulation models because it can offer adequate boundary conditions required needed for the models, such as Modflow or Modpass.

## 7. CONSIDERATION AND CONCLUSION (ON PART I)

### 7.1. Merits and Demerits of SSM Analysis

SSM has several merits as listed below, and these are quite useful or convenient to analyze the comprehensive water balance in the developing countries, those lack or have too short hydrogeological data or records.

a. The model demonstrates a natural hydraulic circulation such as rainfall, evapo-transpiration, runoff, soil retention, and recharge honestly, so it is easily understandable.
b. The model can analyze water balances of surface and groundwater, in the condition of minimum available data sets using "Passive Verification".
c. The model deals the target area into arbitrary sub-basins, so it can divide and treat the area into preferable size of sub-basins in accordance with study purpose.
d. The model has a function which can express the spring phenomena, in relation with the groundwater elevations, as quite important in the groundwater balance in the karstic zone.
e. The model has a function which can express a tunnel or canal that conveys water from a certain basin to another basin, so it can easily calculate the water balance including artificial canal or tunnel systems.
f. It has strong pumping simulation function, so it can make any stories of future pumping simulation.
g. The model has a function of underground dam simulation, because it has been developed for, and it increases the possible strategies for the water resources development in the future.
h. The major outputs of the simulation are estimations such as rainfall, evapotranspiration, runoff, spring out, etc., in each sub-basin, at daily basis and for any years, if the rainfall data is available.

Those are some of the merits of SSM simulation, and the reason why the model was adopted in most of hydrogeological studies. On the other hand, SSM and its simulation have also demerits. These are mainly for methodology on operation and structures, such as:

a. The number of sub-basins has practically a limitation. One or two hundreds of sub-basin divisions shall be the maximum from the procedures of sub-basin by sub-basin verification.
b. Verification of the surface system is a pattern matching between actual runoff records and model outputs through tank model simulation and this is a kind of trial and error approach. It needs some patient works and sense to obtain smooth and good results. Some users do not like these procedures.
c. Verification of the groundwater system is called "Direct Verification" and it is also a pattern matching between the model outputs and actually observed groundwater hydrograph. And, this procedure has the same problem mentioned above.

### 7.2. Applicability of SSM

It is just an urgent issue in the 21 Century [12]. In particular

to the people living in the developing countries in arid or semi-arid zone, water is the most primitive and indispensable resources for live. To develop the water resources for the people is one of the most urgent and important obligation of Japan through the basic concept of Japan's ODA; Human Security. However, there used to be a difficulty to plan up such water resources development project, that is, a lacking or shortage of basic hydrological data because of social, economical, and technical problems in these regions or countries.

In the region where surface water is available the people utilized it since long times ago and the data on river flow are rather easily recorded and stored. For groundwater, the people used it also through the history but it was not easily done to measure groundwater table and record. Recently, it becomes mostly common-sense that the time series observation data on groundwater table is indispensable to estimate a water balance of the site and/or to evaluate a water resource development potential. It was, however, rather difficult to measure groundwater table exactly and periodically for enough long period because it needs considerable manpower and technique, together with a lot of money.

Even in the countries developing and in arid or semi-arid zone, however, it is rather rare case there is no hydrological data (there is not such country by author's experience for more than 30 years). Outside of their observation density, contents, or accuracy, there are several meteorological stations in every country and they continue to observation of rainfall, temperature, and evaporation potential at least, in most of the cases. In the countries having perennial rivers, runoff records of the rivers are taken in almost all of the cases. And, if there are any observation records on precipitation and evaporation for a certain period, and runoff records in some stations in or near around the study area, water balances for both surface and subsurface and/or a water resource development potential can be analyzed or evaluated through SSM.

## 7.3. CONCLUSION

In the paper, SSM has been introduced and explained its structure and functions. Then, the paper showed how it can be applied to formulate a water resources development plan and to analyze or evaluate a water balance and a development potential in the area with poor basic hydrological data availability. The authors have ever suggested that there are several ways or methodologies to build up a water resources development plan even in such disadvantaged areas on the basic hydrological data accordingly to the condition, e.g. reviewing the potential on the analogy of general hydrogeology or large inter-basin aquifer, referring to open data-base or information through the internet, etc. However, we believe the SSM is one of the most effective tools for farther promotion on water resources development projects in the countries with poor basic hydrological data availability.

(原稿受付　2005年 1月10日)
(原稿受理　2005年 2月 9日)

## References

1) Masami SUGAWARA (1972) "Hydrology Course 7 Ryushutsu Kaiseki-Hou", Kyoritsu
2) Mitsuru YOSHIKWA (1976) "Tank Model Simulation on Unconfined Aquifer", Bulletin of Geological Course, Niigata University
3) JICA, Sanyu Consultants (1995), "The Master Plan Study on The Terai Groundwater Resources Evaluation and Development Project for Irrigation", Vol-II, Sector Report
4) Masami SUGAWARA (1972) "Hydrology Course 7 Ryushutsu Kaiseki-Hou", pp.27, Kyoritsu
5) Ryoichi KAWASAKI, Masahiro MURAKAMI (2004) "Application of Synthetic Tank Model Simulation in the Semi-arid Region with Limited Hydrological Data Availability", APHW No.2
6) Ryoichi KAWASAKI (2004), "An Urgent Issue in the 21th Century: "Water", and What the World be Required Nowadays Part-II", Japan Society of Simanto Policy and Integrated River Basin Management, **Vol.3** No.2, pp.3
7) P. A. Demenico and F. W. Schwartz (1990), "Physical and Chemical Hydrogeology" (Japanese version), cover, Doboku Kougaku Sha
8) Ryoichi KAWASAKI (2003), "APPLICATION OF SYNTHETIC TANK MODEL SIMULATION ON THE AREA WITH POOR BASIC HYDROLOGICAL DATA AVAILABILITY", Japan Society of Simanto Policy and Integrated River Basin Management, **Vol.2** No.2, pp.3
9) Mitsuru Yoshikawa and et al. (1983), "Catchment Basis Groundwater Analysis by Synthetic Storage Model" pp.31, Study Report of MOAF
10) Kinki Region Agricultural Administration Office (1982), "Report on Groundwater Balance Study of the Western Side of Kyoto Basin"
11) Sanyu Consultants (2003), "Water Resources Management in Lebanon", Interim Report
12) Ryoichi KAWASAKI (2004), "An Urgent Issue in the 21th Century: "Water", and What the World be Required Nowadays, Part-I", Japan Society of Simanto Policy and Integrated River Basin Management, **Vol.3** No.1, pp.32

[四万十・流域圏学会誌　第4巻 第2号　21-25　2005]

＜調査論文＞

# コロンビア国ボゴタ首都圏の水道事情

中村　篤*

## Water Supply System Management of Bogota Metropolitan in Columbia

Atsushi NAKAMURA*

*Ube City Water Works, 1-8-3 Kamibaracho, Ube City 755-0022 Japan

**Abstract**

Japan International Cooperation Agency (JICA) has just agreed on the technical cooperation between the Colombia government to formulate the social development study of "Sustainable Water Supply for Bogota City and surrounding area based on the Integrated Water Resources Management". The master plan study will have focuses on 1) securing the safe water supply for the poverty reduction in the highland areas, 2) human security and disaster management in water supply sector, 3) environment conservation and sustainability, and 4) crisis management and institutional building by taking into account the promising groundwater development potential of Cretaceous sandstone aquifers in the eastern mountain rims of the Bogata city. This paper introduces the present status of water resources and supply system in the Bogota City and surrounding area to secure sustainable and safe water supply in a framework of integrated water resources management

**Key words** : water supply, water resources management, groundwater, Cretaceous sandstone aquifer, technical cooperation

**要旨**

ボゴタ市の東部に位置する白亜紀層山地帯の地下水開発の可能性を踏まえて、1)高標高貧困地区の安全な水の確保、2)人間の安全保障と防災対策に配慮した水供給関連施設、3)環境と持続性、4) 危機管理・組織体制、の４つの視点を組み入れた「ボゴタ首都圏総合的水資源管理・持続的水供給計画」を国際協力機構(JICA)がコロンビア政府要請のもと実施している。本論はボゴタ首都圏の水源と水道システムの現状分析を行った結果の概要について以下に報告する。

## 1．はじめに

我が国の水道にとって20世紀は拡張の時代であり、面的あるいは量的拡大に施策の重点が置かれていた。また、これまで水道事業者を始め水道関係者が並々ならぬ努力を払ってきた結果、今日、我が国では、安全な水が常時蛇口から供給されることが当然であると考えられるようになっており、安全な水を 97%近い国民に安定して供給する高水準の水道を築き上げることができた [1)]。今や、世界的に見ても、質、量、経営の安定性の各側面においてトップレベルの水道といえる。

我が国の水道に課せられた使命は、築き上げられた世界に冠たる水道を、国民とともに関係者が一体となって次世代以降の将来の世代に引き継いでいくことであり、半世紀から一世紀の将来を展望しつつ、現在抱えている課題はもとより、今後発生するであろう様々な課題に対しても適切に対処していくことにある。その中で、現在、需要者の一定の負担のもとで確保されている給水サービス水準については、現状に甘んじることなく、多様化かつ高度化する需要者のニーズによりきめ細かく迅速に対応することにより、需要者の満足度を向上させていくことが不可欠である。そのためには、良好な水環境に依存すると同時に水環境に影響を及ぼす多様な主体の一員であるとの認識のもとで、自らが高い目標を掲げて、常に進歩発展し、将来にわたって需要者の満足度が高くあり続け、需要者が喜んで支える水道であることが、水道事業運営の目標であるべきである。

したがって、我が国の水道が社会的な責任を果たす観点から、関係者にとってわかりやすい共通の目標として、「世界のトップランナーを目指してチャレンジし続ける水道」を基本理念に掲げ、国民の安心、安定的な供給、運営基盤、文化・技術の継承、給水サービスの充実、環境保全への貢献、国際貢献・調和といったあらゆる分野で世界のトップレベルの水道となるよう、「安心」、「安定」、「持続」、「環境」及び「国際」を５つの主要課題と位置づけた「水道ビジョン」なるものが厚生労働省から出された。

この様な水道事業を取り巻く環境の中、この度、南米コロンビア国の首都ボゴタに派遣された。ボゴタ市の上水道事業を運営する「ボゴタ市上下水道公社」（以下、「Acueduct」という。）を水道技術者として訪問し、ボゴタ市の抱える水道の諸課題を実際に体感し、非常に貴重な経験をしたので以下にボゴタ市の水道事情を報告する。

* 宇部市水道局 工務課　〒755-0022　山口県宇部市神原町 1-8-3

## 2．コロンビア国の自然状況

コロンビア国は赤道直下の北緯4度、西経72度に位置し、国土面積は1,138,910 ㎢、ブラジル、エクアドル、パナマ、ペルー、ベネズエラの各国と国境を接している。地形と気候の分布状況は西から、海岸平地、中央高原、谷をはさんでアンデス山脈、東部平地があり、低地は熱帯、高地は一般的に温暖な気候である。天然資源として石油、天然ガス、石炭、鉄鉱石、ニッケル、金、銅、エメラルド、水力などで、自然環境問題には森林伐採・減少、水質汚濁、土壌汚染、大気汚染がある。

人口は約4,230万人で、人種構成ではメスチソ58%、白人20%、ムタット14%、黒人4%、その他4%となっている。90%がローマンカソリックである。

### 2.1　ボゴタ平原の地形・地質

コロンビア国においてはアンデス山系が３つの山脈に分岐している。南南西－北北東に延びるこれら３つの山脈のうち、東部の東コルデネラ山脈の高地にボゴタ平原が位置する。

ボゴタ平原は、標高2,500～2,600mの平坦な地形で、周りを山地や丘陵に囲まれた盆地状の地形となっている。平原は北北東から南南西に緩く傾斜しており、この傾斜に沿って、平原の中央をボゴタ川が緩やかに流れ、ラケンダマの滝付近で盆地から流出している。平原の東部は急峻な山地に、西部は緩やかな山地・丘陵と接している（Fig. 1参照）。

Fig. 1　ボゴタ市

ボゴタ周辺の地質層序はカンブリア紀～第三紀の堆積岩類と第四紀の堆積物で構成されており、火成岩類は分布しない。ボゴタ平原及び周辺の山地においては、白亜紀のCipague累層から上部が分布している。

白亜紀層から第三紀最下部のグアデュアス層までは海生層で、当時ボゴタ周辺は浅海の環境にあった。古第三紀の暁新世中期に造山運動が始まり、これ以降現在まで陸性層となる。第三紀の陸生層は主に河川及び湖沼の堆積物からなり透水性が悪い。第４紀更新世には氷河が発達し氷成堆積物がボゴタ平原に厚く堆積した。ボゴタ平原中央部における第三紀と第四紀層の深さは1,000m以上と言われている。

### 2.2　ボゴタ平原の気象・水文

年間平均降雨量は、ボゴタ平原内で比較的低く、600～1,000 ㎜程度である。周囲の山地では標高が高いほど多くなる傾向にあり、1,000～1,600 ㎜程度となる。高原地帯であるため、気候の年間変化は顕著には見られないが年２回（4～5月、10～11月）に雨季がある。平均気温は14℃前後で比較的穏やかな気候である。

ボゴタ川は、ボゴタ平原の北部山地に水源を持ち、同平原のほぼ中央部を貫流して南下している。ボゴタ川の左岸側には、ボゴタ首都区の市街地が広がっている。ボゴタ川本川には、多くの支流がある。

### 2.3　ボゴタ平原の人口・社会状況

ボコタ市の人口は約650万人で周辺11都市を加えると約750万人とも800万人とも言われている。ボコタ市郊外及び周辺都市の人口増加は著しくその多くが貧困層で非合法に居住している。郊外の丘陵地の傾斜地に居住しその地域は徐々に上の高い方に拡がっている（Fig. 2参照）。

Fig. 2　丘陵地の傾斜地に居住する貧困層地域

貧困層の他にコロンビア国内の事情（テロ、ゲリラ、麻薬栽培摘発のための枯葉剤散布等）により国内難民となってボゴタ市周辺に流れ込んでいる。国内難民約150万人の内、約10万人がボコタ市内に居住していると言われるが、その数は定かではない。彼等のほぼすべてが不法占拠して居住している。居住地は貧困層同様、丘陵地の傾斜地で土砂崩れ、河川の汚染、水道未普及の問題を抱えている。

## 3．ボゴタ市への浄水システムの現状

ボゴタ市上水道の既存水源システムは、Fig.3に示すように表流水の水系により、Tibitoc系統、Chingaza系統、Regadera系統の３つに分けられる。それぞれの水源システムは、ダムと浄水場を主要施設として保有している。

Fig. 3　上水道水源システムの水系区分

市北部の水源の Tibitoc 系統は、トミネダム、シスガダム、ネウサダムとティビトック浄水場からなる。市東部の水源の Chingaza 系統は、チュウサダム、サンラファエルダムとウィエスナー浄水場からなり、チュウサダムからウィエスナー浄水場まで約 38 kmの導水施設を持つ。市南部の水源の Regadera 系統は、レガデラダム、チサカダムとエルドラド浄水場からなる[2)]。

系統ごとにダム（Fig. 4 参照）と浄水場（Fig. 5 参照）を示す。

| *Sistema Tibitoc: Agregado Norte* | Capacidad [Millones m³] |
|---|---|
| Embalse Tominé | 690 |
| Embalse Sisga | 102 |
| Embalse Neusa | 102 |
| Total | 894 |
| ***Sistema Chingaza*** | **Capacidad [Millones m³]** |
| Embalse de Chuza | 257 |
| Embalse San Rafael | 75 |
| Total | 332 |
| ***Sistema La Regadera: Agregado Sur*** | **Capacidad [Millones m³]** |
| Embalse Chisacá | 6.7 |
| Embalse La Regadera | 3.3 |
| Laguna Los Tunjos | 2.4 |
| Total | 12.4 |

Fig. 4　系統ごとのダム

| *Sistema Tibitoc: Agregado Norte* | Capacidad [m³/d] | |
|---|---|---|
| Planta Tibitoc | 907,200(10.5 m³/s) | EL=2,696m |
| Total | 907,200(10.5 m³/s) | |
| *Sistema Chingaza* | Capacidad [m³/d] | |
| Planta Wiesner | 1,209,600(14.0 m³/s) | EL=2,825m |
| Total | 1,209,600(14.0 m³/s) | |
| *Sistema La Regadera: Agregado Sur* | Capacidad [m³/d] | |
| Planta El Dorado | 138,240(1.6 m³/s) | EL=2,946m |
| Planta La Laguna | 38,880(0.45 m³/s) | EL=2,890m |
| Total | 177,120(2.0 m³/s) | |
| *Vitelma* | *129,600(1.5 m³/s)* | *EL=2,787m* |

Volver Abastecimiento　Total Capacidad 2,250,720 m³/d 26.05 m³/s

Fig. 5　系統ごとの浄水場

### 3.1　Tibitoc 浄水場

ボゴタ川の 2 箇所及びサンラファエルダムから取水している。調査時のボゴタ川の水位は 2,580.93m であった。Tibitoc 浄水場の G.L は 2,696m なので原水を+115m ポンプアップしていることになる（Fig. 6 参照）。

調査時の原水濁度は 17.6 で、清浄とは到底いえないが見た目にも通常の薬品沈殿法で、十分に浄水可能であると推測できた。

Fig. 6　Tibitoc 系統

しかし、上流の工場が夜間に工場排水を不法に流しているので、19:00～03:00 まで取水を停止する場合があるとのことであった。pH は 7.52 であったが、マンガン量が多くなると 9.9 を記録することがあるという。

凝集剤は硫酸アルミニウム（硫酸バンド）で、補助剤として常時ではないがポリマーを注入している。横流沈殿池に藻が発生した場合は着水井に過酸化水素(0.1g/m³)を注入する。ちなみに過酸化水素の値段は 1,500ペソ/kg。高速ろ過池は多層ろ材構成で、上からアンスラサイト 1.0m・砂 0.5m・栗石である。ろ過速度は 300m/日、ろ過時間約 5 分で、我が国の主流の急速ろ過は 18 分だからずいぶん速い。ろ層の逆洗サイクルは 60 時間だが、損失水頭 160cm 以上、濁度 0.3 以上の場合は適宜実施している。逆洗に要する時間は空気洗浄 2 分、逆流洗浄 9 分だという。

以上の過程の後、塩素注入し配水している。浄水井はない。浄水に要する時間約 4.5 時間であるとのことで我が国の浄水システムとほぼ同等の設備である。

汚泥処理は浄水場より低地の汚泥池に排水し、45 日間放置の後、うわ水を河川に放水している。湿潤状態での汚泥量は 10t/日。ケーキはわが国同様産業廃棄物扱いだが、レンガやセメントに混ぜて再利用している。

浄水コストは、電力料金支出の割合が非常に高い。Acueducto と浄水場はコンセッション契約をしているがコンセッション側が 25～30%、Acueducto 側は 50%の電力料金の支出割合となっている。ちなみに宇部市水道局の全体動力費は収益的支出ベース（原価償却費や資産減耗費も含まれるので単純な比較はできないかもしれないが）2.7%である。浄水場の職員によるとボゴタ川の水質が改善されても浄水コストに与える影響は少ないということだった。電力料金負担が財政を圧迫していると想像できる。

### 3.2　Wiesner 浄水場

チュウサダムからチンガサ導水路（直径 3.7m、37.7 km）を経由して取水している。浄水場近くにサンラファエルダムがありチュウサダムからの流量を一時貯留する機能を有している。

導水路からの水質が良好であるので沈殿池をもたない。薬品（硫酸アルミニウム）注入後にろ過池でフィルター（砂層 2.2m+アンスラサイト）処理のみが行われている。ろ過池は

逆洗による自動洗浄が行われており、ろ過水が濁っている時は12～14時間ごと、通常は約80時間ごとに11分間行われる。塩素滅菌後ボゴタ市に配水される（Fig. 7参照）。

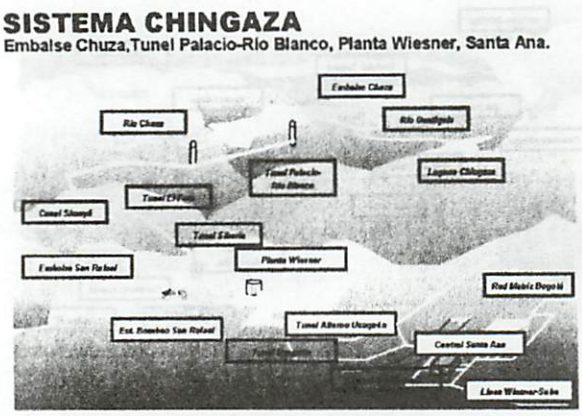



Fig. 7　Chingaza系統

Wiesner浄水場から導水トンネルによりボゴタ市に送水される途中、落差を利用したAcueducto所有の発電所（12.5MW）があり、売電されている。

### 3.3　El Dorado浄水場

Regadera系統は現在のEl Dorado浄水場が稼動するまではLaguna浄水場とVitelma浄水場で浄水していたが、ボゴタ市街地南東地区に特に貧困層の居住地域が両浄水場では配水できない標高の高い地域に拡大してきたため、両浄水場を廃止し標高2,946mにEl Dorado浄水場を建設した。2001年に建設された近代的な施設であり、日本の浄水場の中でも上位を占めるであろう水準である。毎年約5,000人の見学者があるという。

薬品注入（硫酸アルミニウムとポリマー）し傾斜板沈殿池で凝集沈殿した後、ろ過池でろ過する。ろ剤はアンスラサイトである。汚泥処理設備も完備している。ISO9001を取得しており、職員の技術レベルに対する意識が非常に高い印象を受けた。

休止中の二つの浄水場の配水池は、中継配水池として常時利用されておりEl Dorado浄水場からはLaguna中継配水池へ、Vitelma中継配水池へはChingaza系統のWiesner浄水場からそれぞれ送水・貯留され、配水される。他系統との相互融通の発想である（Fig. 8参照）。

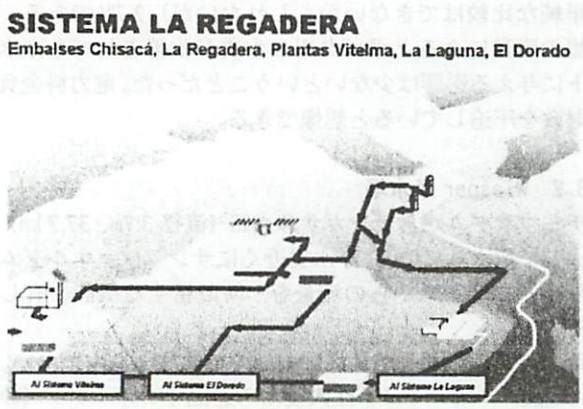



Fig. 8　Regadera系統

## 4．ボゴタ市の配水システム

ボゴタ市及び周辺都市へは前述の3水系から配水されている。給水区域はボゴタ市街地と決められている地域であるが周辺自治体へも給水している。上水を水源として自治体に販売している場合と、直接配水管により給水している場合がある。

配水システムの技術的な考え方は我が国とほぼ同レベルと考えてよいが、無収水量減少の積極的な努力が成されてない事が若干気にかかった。

一方でAcueductoが抱える問題は、ボゴタ平原の人口・社会状況で述べたが、ボゴタ市郊外及び周辺都市に非合法に居住する貧困層・国内難民への給水対策である。非合法に居住する彼等には本来給水の義務はないが、Basic Human Needs（BHN）の観点から給水計画を立てざるを得ない。彼等の給水事情の現状は、Acueductoが布設した配水管から合法に使用しているもの、不法接続して盗水しているもの（集落全体で盗水している地域もある）、民間の給水車から水を購入するもの等様々であるが、いずれにしても健全な水供給が成されていない。

また、Acueductoの料金体系は所得・階級ごとに5段階に定められており、合法に上水を購入しているものであっても、貧困層の料金である。彼等は丘陵地の傾斜地に居住しているので、何段もの加圧ポンプにて給水しなければならず、電力支出に比べて料金収入が少なく経営上問題となっている（Fig. 9参照）。

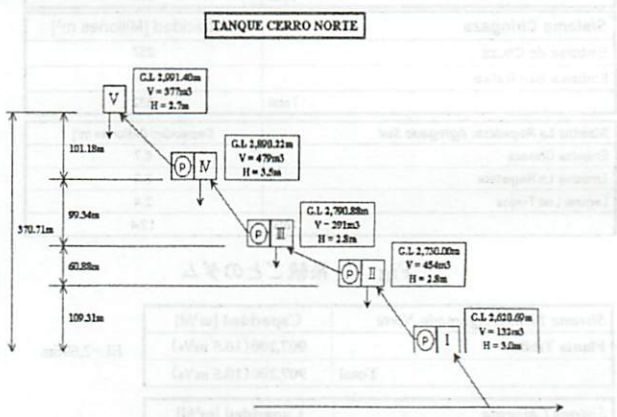



Fig. 9　CERRO NORTE地区の水位（標高）系統図

Cerro Norteという貧困層地域において現地調査を実施したところ、高所に行くほど貧困の度合いが強くなり配水池周辺にも住居があった。住民にヒアリングを行ったところ、どうも盗水しているのではないかと疑わせる回答であった。配水池のH.W.L程度のG.Lであり、配水管接続付近に漏水が見られなかったことから、素人の施工ではないと推測される。また、配水池より高所にも住居が見受けられた。

Acueducto職員の話によると当地区の盗水率は35%と推測しているという。住民や違法な業者が施工している。彼らは日頃は土木建築関係の下請け的仕事をしているので施工技術については熟知しているのだという。Acueductoとしても盗水の実態はつかんでいるもののBHNの観点から電気等の他のインフラが整備されていれば黙認しているとのことであった。

また、山の湧き水を飲料用に用いている地域や、雨水を溜めて使用している住居も確認した。

## 6. 今後の課題

最大の課題である貧困層への給水計画について考えてみた。丘陵地の傾斜地に居住する彼らに対しては安価な水の供給が不可欠である。そこで地下水開発という発想が生まれる。

コロンビアの自然状況でも述べたが、丘陵地は白亜紀層であり1年を通して適度な降雨もある。このことに着目し標高の高い地点で必要水量の揚水量が確認されれば、塩素滅菌程度で、かつ自然流下で供給できるので配水コストのウェートが高い電気料金について削減効果が期待される（Fig. 10 参照)。

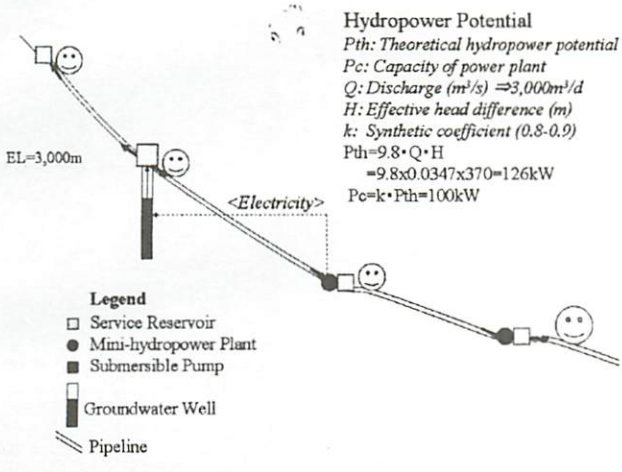



Fig. 10　地下水開発による供給イメージ

## 7. おわりに

以上、コロンビア国ボゴタ市の水道事情について述べたが、今後水道事業の技術者として「環境」「国際貢献」を重要な課題と位置づけたいと考える。貴学会においても「健全な水循環の構築」に取り組んでおられ、水道事業体の一員としてこの様な活動が全国的に広まることを切に希望する。

**謝 辞**

本原稿をまとめるにあたり、国際協力機構「コロンビア国ボゴタ首都圏総合的水資源管理を踏まえた持続的水供給計画調査」(S/W)の団長を務められた高知工科大学・村上雅博教授の助言をいただいた。国際協力機構の関係各位および調査団員に記して感謝の意を表します。

（原稿受付　2005年4月11日）
（原稿受理　2005年4月25日）

**引用文献**

1) 厚生労働省「水道ビジョン」
2) JICA(2005)：コロンビア国ボゴタ市地下水開発・保全計画調査事前調査報告書

[四万十・流域圏学会誌　第4巻 第2号　27-31　2005]

＜調査報告＞

# 四万十川条例に基づく住民意識調査

西村　光寿*

## A Questionnaire Survey on the Local People's Willingness to Participate in the Shimanto River by Laws

**Mitsutoshi Nishimura**

Kochi Prefecture Government, 1-2-20 Marunouchi, Kochi city 870-8570 Japan

### 1.　調査の目的

四万十川の保全と流域の振興といった条例の目的の実現に向け、今後の取り組みにいかしていくため、「四万十川の保全及び流域の振興に関する基本条例（略称：四万十川条例）」第３１条に基づく住民意識調査を平成16年度に実施した。

### 2.　アンケート調査の概要

四万十川流域8市町村の住民の中から1,000人を無作為抽出し、四万十川との関わりや日常生活に関する内容について、以下の要領でアンケートを実施した。調査項目、調査対象、調査時期、調査方法、有効回収数（率）は以下のとおりである。

●調査項目
(1)四万十川との関わり
(2)環境を守る行動や意欲
(3)通信手段について
(4)居住意思と満足度
●調査対象
(1)　母集団　四万十川流域8市町村20歳以上の者
(2)　標本数　1,000人
(3)　抽出法　層化抽出法
●調査時期：　平成16年10月12日～10月
●調査方法：　郵送法
●有効回収数（率）：538人（53.8%）

### 3.　アンケート調査で明らかになったこと

・四万十川流域に暮らす人々の約6割が余暇に川に出かけ、年齢、性別、居住地の違いに応じて、ひとり、或いは家族や友人などと一緒に、散歩やジョギング、釣り、魚とり、水泳水遊び、キャンプ、バーベキューといった多様な手段で川とふれあう姿であった。
・ここに暮らす人々は、ゴミは地域のルールに従い分別してだす、あるいは節電や節水など環境にやさしい暮らし方を実践し、こういった自然環境を守るためには一定額の金銭的な協力を行ってもかまわないと考えている。
・流域に住む人々は居住意思が強く、全般的な生活の満足度は概ね全国レベルよりも高く、特に「まわりに親しめる自然があること」に対する満足率が最も高いことがわかった。

この調査の結果は、16年度に公表した『四万十川条例・目標指標』の中の「生活満足度」や「情報通信網の普及率」など、指標の一部にも反映していくものである。

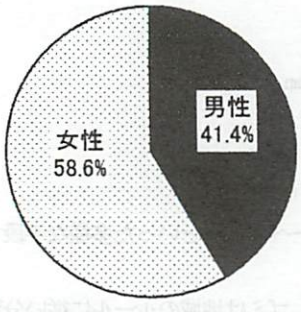
以下にアンケート調査結果の概要を報告する.

＊　高知県文化環境部四万十川流域振興室　〒870-8570　高知県高知市丸の内1-2-20

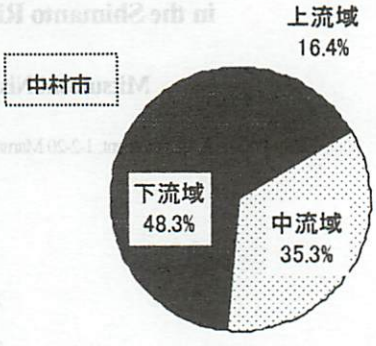
## アンケート調査結果の概要

今回調査の分析対象者の基本的属性は以下の通りである。

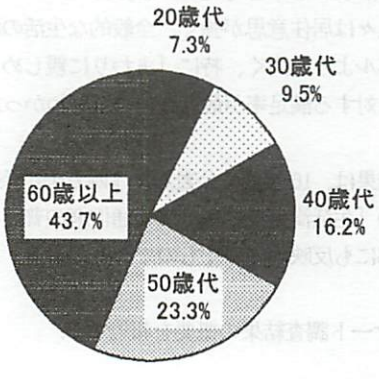
◆性別(N＝536)



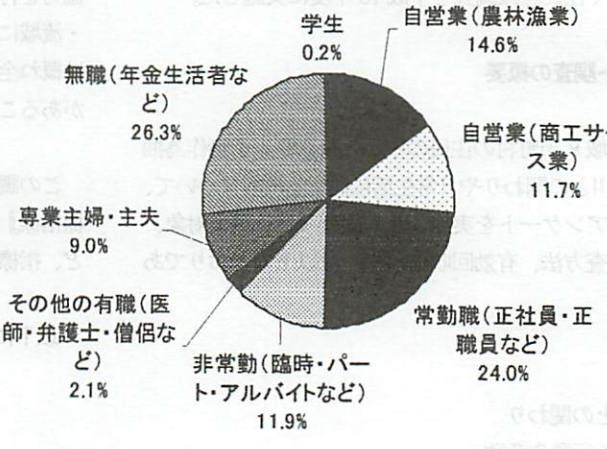

◆居住地別(N＝538)



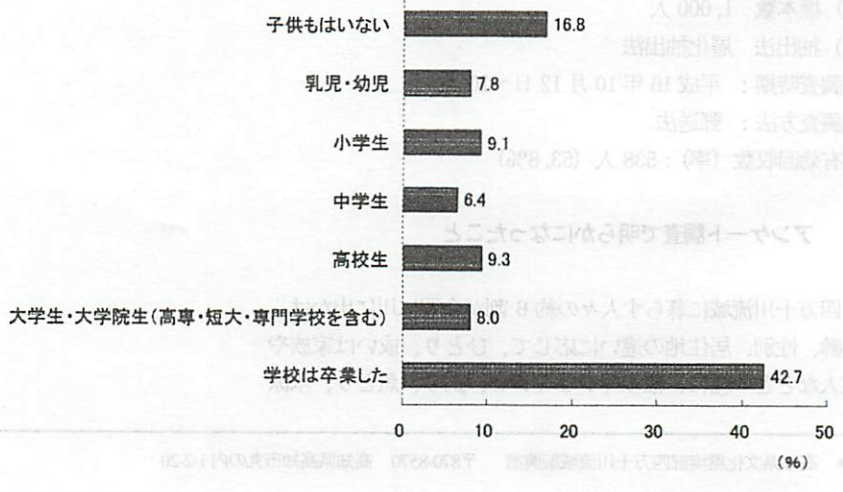

◆年齢別(N＝536)




◆職業別(N＝520)




◆子供の成長段階(N=505)



## 個別総括

■ ［この１年間に仕事以外で川に出かけたことがあるか］

出かけたことが「ある」と答えた人の割合は59.6%

「ある」と答えた人に、その「頻度」、「誰と出かけたか」、「川で何をしたか」について聞いたところ以下の結果が得られた。

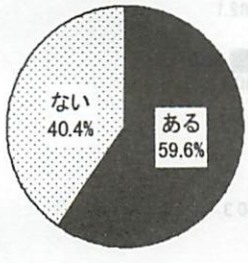
「頻度」　47.2%が「月1～2回くらい」以上は川に出かけている。

「誰と出かけたか」　「友人、知人」 41.7%、「ひとり」 39.6%、「家族（小学生以下の子供を含む）」 36.7%

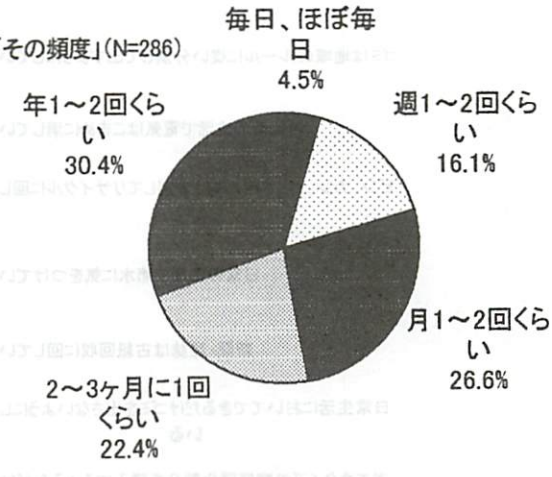
「川で何をしたか」　「散歩、ジョギング、散策」 54.4%、「釣り、魚とり」 49.7%、「水泳、水遊び」 40.1%

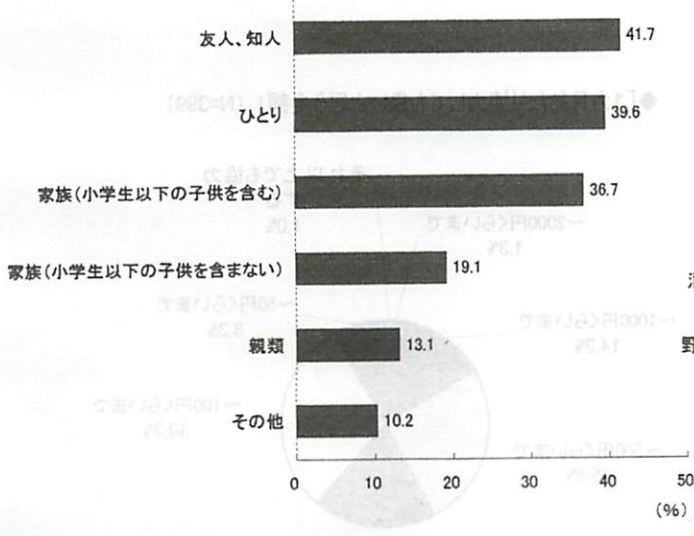
**流域に暮らす人の約６割が川に出かけ（うち約半数は月に1回以上川に出かけている）、散歩やジョギング、釣り、魚とり、水泳、水遊びなど多様な方法で川とふれあい、余暇を楽しんでいる様子がうかがえる。**

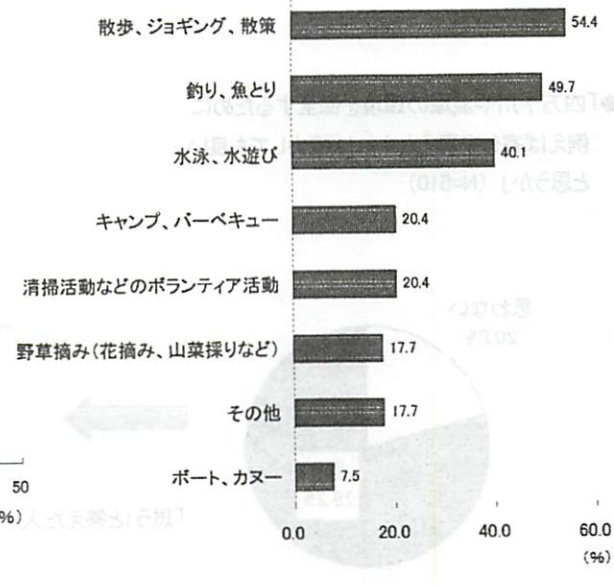
◆「この１年間に仕事以外で川に出かけたことがあるか」(N=493)




◆「その頻度」(N=286)



## 環境を守る行動や意欲

■［環境を守るために日頃どのようなことをおこなっているか］

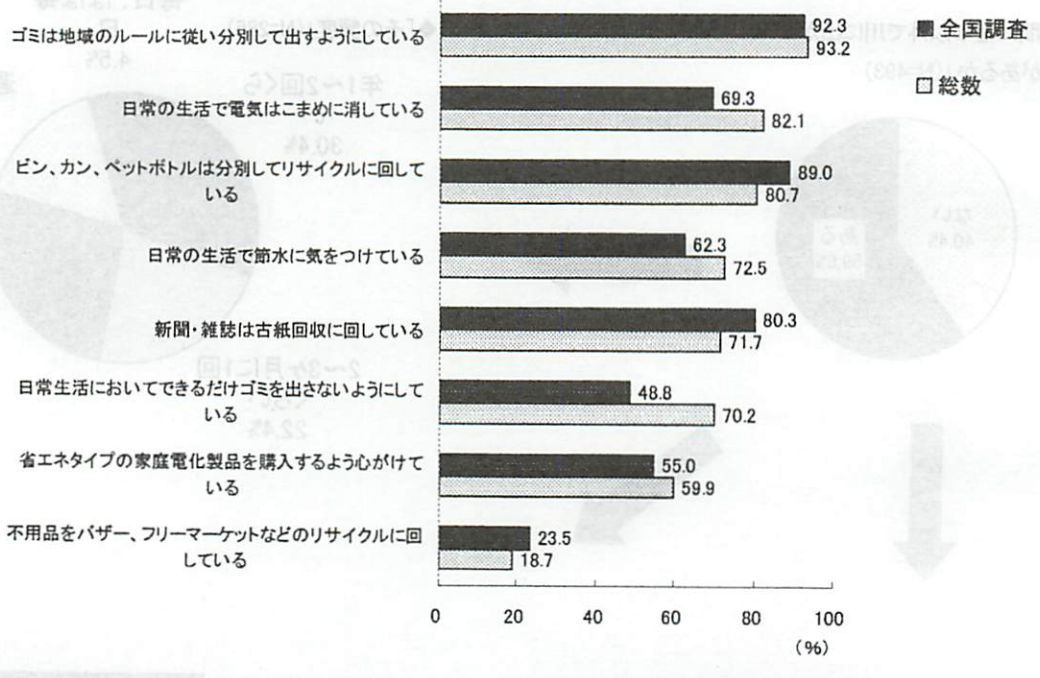
「環境省：環境にやさしいライフスタイル実態調査（平成15年度調査）」と比較すると、比較した８項目中５項目で調査地域の実施率が全国調査の実施率を上回っている。一方、リサイクルに関連する項目では実施率が全国調査の値よりも低くなるといった特徴も見られた。

■［四万十川や流域の環境を保全するために寄付を募るとすれば協力しても良いと思うか］

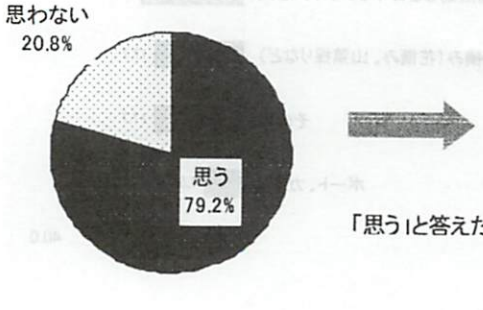
「思う」と答えた人の割合は79.2%に達し、「思う」と答えた人の61.4%が「１カ月あたり300円くらいまで」なら協力してもよいと答えた。

**四万十川流域に暮らす人々が環境にやさしい暮らし方を実践していること、さらには自然を守るためには金銭的な協力をある程度は行ってもよいと考えている姿が見てとれる。**

◆「環境を守るために日頃どのようなことをおこなっているか」

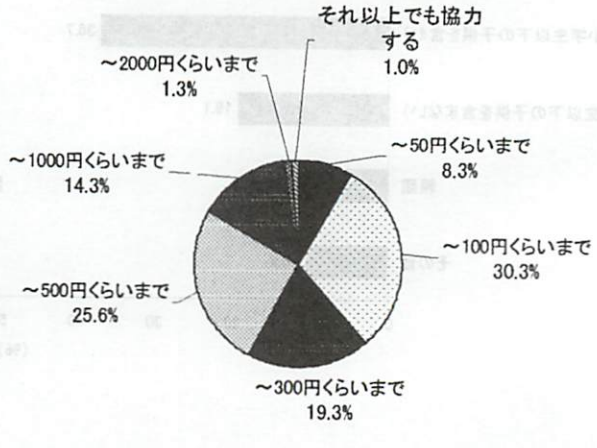



◆「四万十川や流域の環境を保全するために例えば寄付を募るとすれば協力しても良いと思うか」（N=510）




「思う」と答えた人

◆「1カ月あたり協力しても良いと思う金額」（N=399）



## 居住意思と生活の満足度

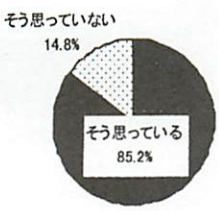
■ ［今住んでいる地域に今後も住み続けたいと思うか］
「そう思っている」と答えた人の割合は85.2%

■ ［今住んでいる地域の総合的な満足度］
「満足している」17.6%、「まあ満足している」48.0%、両者をあわせた「満足率」は65.6%

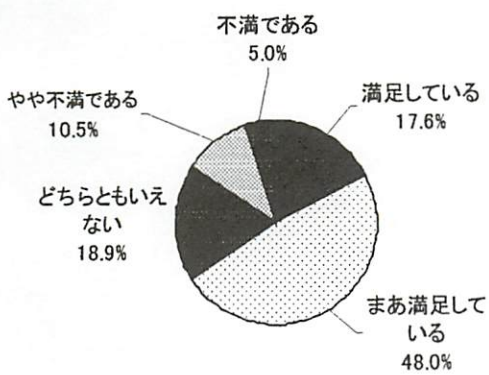
［全国との比較「内閣府：国民生活選好度調査（平成14年度）」］
19項目中13項目で調査地域の「満足率」が全国調査の値よりも高くなっている。
満足率の最も高い項目は「まわりに親しめる自然があること」で75.3%
満足率が低い項目は「収入が年々確実に増えること」が1.7%、「能力があって努力すれば誰　もがふさわしい地位や収入が得られること」が5.8%

**流域に住む人々は居住意思が強く、生活の満足度も概ね高いことが分かる。**

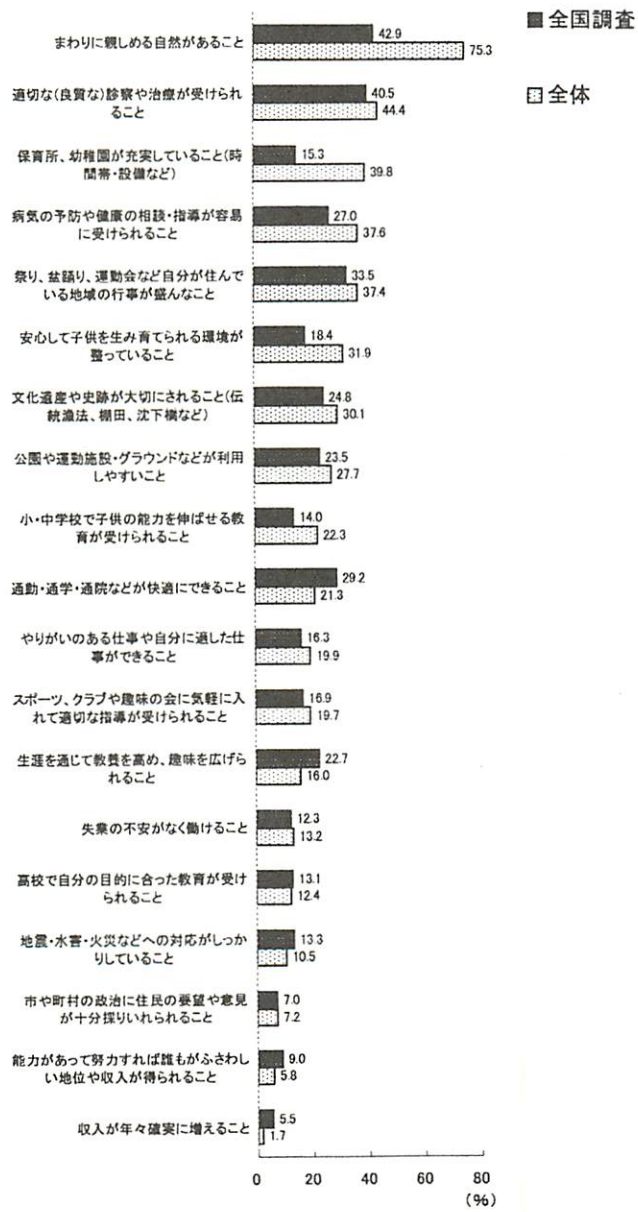
◆「今住んでいる地域に今後も住み続けたいか」（N=534）




◆「今住んでいる地域の総合的な満足度について」（N=535）




◆「生活の満足度 について」



[四万十・流域圏学会誌　第4巻 第2号　33-35　2005]

＜四万十ユースセッション：招待論文＞

# 四万十川の河原に見られる石の白化現象について

佐々木　亮*、中脇　里紗*、藤田　将平*、山本　真佑良*

## 1.　はじめに

自然環境部は、一昨年から四万十川流域の河原で見られる石の白化現象について調査をしてきた。一昨年の調査では、石の白化現象は藻類と土砂が影響しているのではないかという結論が出た。しかし、私たちはこの現象についてもっと詳しく調査してみたいと思い、ほかの白化現象の原因を調査するとともに、人為的影響についても調べた。

## 2.　調査地点

白化現象の原因と考えられる藻類に着目し、四万十川中流域の5ヶ所の調査地点を決定した(図1参照)。

(1) 調査地点 1・かじやせ橋の下（以後、「かじやせ」とする）毎回、はっきりとした白化現象が確認されていた。

(2)調査地点2・窪川町の中心街の下流点（以後、「窪川」とする）ここは5ヶ所の調査地点の中で、毎回、増水後に最も早く白化現象が見られる場所である。

(3)調査地点 3・佐賀取水堰の上流1キロ付近(以後、「家地上」とする)ほとんど白化現象を確認することができない場所である。

(4)調査地点 4・佐賀取水堰の直下(以後、「家地下」とする)白化現象が比較的現れやすい。

(5)調査地点5・上岡の沈下橋(以後、「上岡」とする)5地点の中で最も白化現象が見られない場所である。

図1　調査地点地図

## 3.　実験および結果

### 3.1 実験1：付着藻類の調査

各調査地点に実験石を設置し、藻類はどのように成長・増殖していくのかを調べた。実験方法は、グラインダーで表面を削り、泥や藻類を取り除いた実験石を各調査地点の水深30 cmおよび60 cmに設置した。そして、1週間ごとに歯ブラシで付着藻類を採集しエチルアルコールで固定した。

①調査地点1・「かじやせ」

10 月 3 日：採集した石には微小な石が多く、藻類はほとんど見られなかった（写真1参照)。

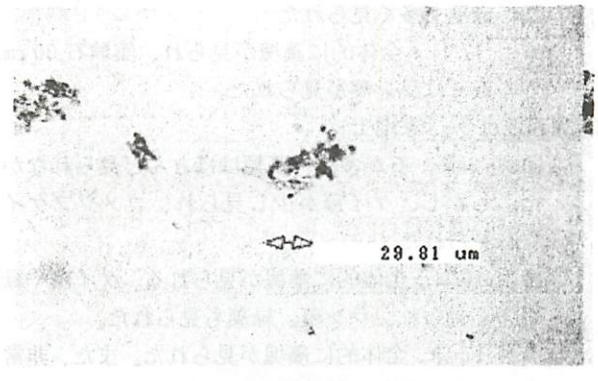



写真1　調査地点1の顕微鏡写真（10月3日）

10 月 10 日：ナビクラ目ナビクラ科ケイが多く見られ、またプランクトスファエリア等の微小な緑藻と接着し藻塊を形成していた（写真2参照)。

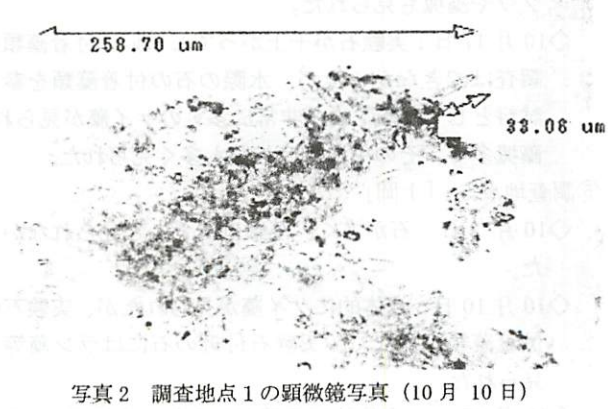



写真2　調査地点1の顕微鏡写真（10月 10日）

* 高知県立四万十高校　〒786-0301 高知県幡多郡大正町田野々590-1

10月17日：クチビルケイソウやナビクラ目ナビクラ科等のケイ藻が接着し、大きな藻塊を形成していた。糸状緑藻も多く、藻塊の中にラン藻が多く見られた。実験石にはハリケイソウも多く見られた(写真3参照)。

写真3　調査地点1の顕微鏡写真（10月 17日）

②調査地点2・「窪川」

◇10月 3日：石が多く、藻類はほとんど見られなかった。

◇10月 10日：全体的に藻塊が多く、ケイ藻が多く見られ、緑藻も多く見られた。

◇10月 17日：全体的に藻塊が見られ、実験石 30 cm以外の石にはラン藻が見られた。

③調査地点3・「家地上」

◇10月 3日：石が多く、藻類はほとんど見られなかった。しかし、ケイ藻が少し見られ、コメツブケイソウも見られた。

◇10月 10日：全体的に藻塊が見られる。ケイ藻や緑藻が多く見られ、ラン藻、緑藻も見られた。

◇10月 17日：全体的に藻塊が見られた。また、非常に多くのラン藻とケイ藻が見られた。

④調査地点4・「家地下」

◇10月 3日：石が多く、藻類はほとんど見られなかった。しかし、藻塊が少し見られた。

◇10月 10日：全体的にケイ藻が見られ、クチビルケイソウや藻塊も見られた。

◇10月 17日：実験石が干上がってしまい、付着藻類の調査はできなかったが、水際の石の付着藻類を参考試料として採集した。非常に多くのケイ藻が見られ、藻塊多く、その中にはラン藻も多く見られた。

⑤調査地点5・「上岡」

◇10月 3日：石が多く、藻類はほとんど見られなかった。

◇10月 10日：全体的にケイ藻が見られたが、実験石の付着藻類は少なく、実験石付近の石にはラン藻等も見られた。

◇10月 17日：全体的に藻塊がみられ、水深 60 cmの実験石とその付近にはラン藻、水深 30 cm付近には緑藻が見られた。

### 3.2 実験2:水質調査

藻類が原因と考えられる白化現象と人為的影響を見るために、各調査地点で川の水を採水し、CODや藻類の栄養素であるアンモニウムイオンや硝酸イオンおよび、ケイ藻のからだをつくる二酸化ケイ素等について調べた。変化や影響が見られたのは $NO_3$のみである。$NO_3$は水の中に含まれるアンモニアが流れの中で酸化したもので、藻類の栄養素である。「窪川」の値が高くなっているのは、四万十川に合流する仁井田川の上流域に豚舎や鶏舎および田畑が多くあるからだと考えられる。また、私たちが川に降りて観察した藻類の付着量と結果の値とが一致した(図2参照)。

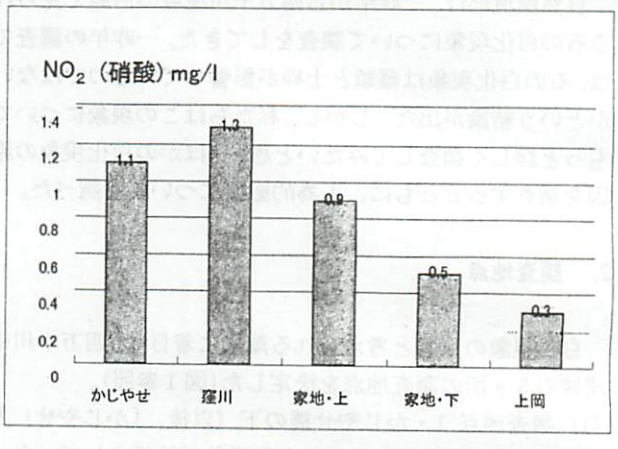



図2　各観測地点の $NO_2$濃度

### 3.3 実験3:調査地点以外での上流域および支流の調査

(1) 調査地点以外での調査

10月16・17日、調査地点以外で一番上流の白化現象が確認できる地点の水質と付着藻類を調査し、また、その地点の上流と、大正町内の支流で同様の調査を行った。

① 調査地点A・「中村」　四万十川の上流域で、白化現象は見られなかった。また、川幅も狭く、水も透き通っていてとてもきれいだった。

② 調査地点B・「倉川」　四万十川本流で白化現象が確認できる一番上流地点で、藻類も多く異臭もした。また、水中の石も茶色に見えた。

③ 調査地点C・「北の川」　大正町内を流れる四万十川の支流で、相去川と呼ばれている。ここは、白化現象が見られない場所でもある。

(2) 実験3の結果（付着藻類について）

全地点で、ケイ藻、緑藻、ラン藻が見られ、藻塊を形成していた。

(3) 実験3の結果（水質調査について）

CODは「北の川」でのみ検出され、他の調査地点では検出されなかった。DETは全ての調査地点で検出され、$NO_3$については「中村」でのみ検出され、その他の地点では測定範囲以下だった。$NH_4$と $PO_4$は、どの調査地点においても測定範囲(0.1mg/l)以下になった。

### 3.4 実験4:河床から採集した付着藻類のある石の乾燥について

各調査地点および白化現象が見られなかった「北の川」の河床の石を採集し、5日間室内で乾燥させた。その後、1日だけ直射日光を当てながら乾燥させた。さらに、その付着藻類を削り取り、顕微鏡で観察した。室内で乾燥させた5日間は、採集したすべての石が緑色になった。しかし、直射日光を1日当てただけで、全ての石に白化現象が現れた。検鏡すると藻類の種類は、ラン藻や緑藻はあまり見られず、主としてケイ藻が見られた。

### 3.5 実験5:水槽の付着藻類の乾燥について

理科室にある水槽に付着していた藻を採集し、石に付着させ、室内にて乾燥させた後1日だけ直射日光の当たる所に放置した。室内で乾燥させると緑色に変色し、直射日光に当てても白化現象は現れず、全て黒く変色した。検鏡すると藻類の種類は、ケイ藻は見られず、ラン藻と緑藻が見られた。

## 4. 考察

### 4.1 藻類の遷移

最初に見られる藻類は、ナビクラ目ナビクラ科の仲間とプランクトスファエリアなどの微小な緑藻の仲間であった。その後、ケイ藻類は数、種類とも増加し、微小な藻類とともに藻塊を形成した。さらにその後には、藻塊の成長に伴い、ラン藻や糸状の緑藻などの糸状藻類が見られるようになった。その後、多量の雨が降らなければそのまま減水期が継続され、糸状藻類の増加を見ながら藻塊の成長がある一定量まで増加していくものと考えられる。今回の実験は、洪水より3週間後以降の藻類の遷移を観察することができなかった。しかし、期間中の各調査地点では、水深や流速および水温等に関わらず、藻類の遷移がほぼ同様なものとなった。

### 4.2 藻類と白化現象

洪水後から出現までは2週間ほどの時間がかかるほか、出現場所も一定しない。10月3日から10月17日までの実験期間中、各観測地点から採集された藻類は、主としてケイ藻類が優占しており、続いて微小な緑藻、ラン藻、糸状の緑藻と続いた。ケイ藻の群体による珪殻の蓄積が石の表面を白くさせるといった白化現象を引き起こしている可能性が高かった。実験4、実験5から、白化現象は多量のケイ藻に直射日光が加わってはじめて起こることがわかった。白化現象が見られにくい場所は、水量が比較的安定しており、ケイ藻が付着した石が水面から出る機会が少ないためだと考えられる。さらに、谷間のため、直射日光の当たる時間が他と比べて少ないことも原因と考えられる。

### 4.3 白化現象と人為的影響

実験2により、白化現象の原因となるケイ藻の繁殖について、栄養素のひとつである$NO_3$の濃度は「窪川」「かじやせ」「家地上」で高い値となった。これは、実際に川で観察した藻類の量とほぼ一致している。また、「かじやせ」や「窪川」および「家地下」で見られた白化現象は、異臭を伴って起こる傾向があり、実験結果の数値として表されない川の汚れを感じることができた。

しかし、$NH_4$と$PO_4$については濃度が低く、人為的影響の指標となるCODやDETとの関連性も判断することができなかった。

(原稿受付　2005年4月 2日)
(原稿受理　2005年4月18日)

**参考文献**

1) 山岸高旺, 淡水藻類入門 淡水藻類の形質・種類・観察と研究
2) 井上勲, 新版 顕微鏡観察シリーズ2 植物の顕微鏡観察
3) 自然共生研究センター:
http://www.pwri.go.jp/team/kyousei/jpn/index.htm
4) 中央水産研究所: http://www.cv.titech.sc.jp/~
5) 東京工業大学池田研究室: http://www.cv.titech.sc.jp/~
6) 珪藻の世界:
http://www.u-gakugei.ac.jp/~mayama/diatoms/Diatom.htm

[四万十・流域圏学会誌　第4巻 第2号　37-48　2005]

＜四万十ユースセッション：投稿論文＞

# 高知県和食ダムプロジェクトと住民意識・合意形成について

小野　正人*、梅津　靖弘*、山崎　美子*、渡部　康志*、村上　雅博*

## WAJIKI Dam Project in Kochi and Consensus Building with People in the Watershed

Masato ONO, Yasuhiro UMETSU, Miwako YAMASAKI and Masahiro MURAKAMI

Kochi University of Technology, 185 Miyanokuchi, Tosayamada-cho, Kami-gun, Kochi 782-8502 Japan

## 1. はじめに

現在、高知県東部芸西村に多目的ダムである和食ダムが建設されている（Fig.1 参照）。このダムは和食川上流馬ノ上字西谷地先に建設され、洪水調整、農業用水、水道用水の確保が目的である。

芸西村は人口 4,300 人、そのうち第1次産業就業者が 1,000 人と農業を主体とする村であり、川沿いにはハウス栽培、村の西部では稲作栽培が行われている。村の特徴は高い農業生産性であり、生産農業所得額（平成 14 年）は農家1戸当たり約 350 万円〈全国平均の3倍〉、耕地 10ha 当たりでは 35 万円〈全国平均の5倍〉を超え、共に高知県下では第一位である。特産物はナス、ピーマンやメロンである。

**Fig.1** 芸西村の位置図

芸西村の総面積 3,963ha の中、可住地面積 1,150ha、耕作面積 322ha（総面積の 8.1%）と狭く、山と海の間に挟まれ限られた土地を最大限利用しているのが現状である。南側は土佐湾に面し、黒潮による一年中温暖な気候に恵まれ、また国道 55 号線沿いのため園芸農業の出荷にも適した場所である。

しかし、この地形環境ゆえ近年の異常気象の影響が極めて大きく、台風や発達した停滞前線による集中豪雨で耕作地が水没、晴天が続けば渇水となるが、ハウス栽培・水洗トイレが急速に普及し取水量が増加したため給水制限が頻発するようになった。農業用ため池が複数建設されたもの、ダム改修による貯水容量増加も限界に達しているため、高知県は和食川上流域に多目的ダムの建設を決めた。

## 2. 和食川と芸西村

### 2.1 流域特性

和食川流域の平野部では温暖多照な気候を利用し、大部分を農地が占める生産性の高い園芸農業が行われている。しかし、和食川の流域面積そのものが小さいためダムの集水域も小さい。また構造的に、山から降った雨が短期間で直接海に流れ出てしまい、乾期には河川の水が枯れてしまう。そして年間を通じて雨量が相対的に少ないこと（県平均の8割程度）から渇水の被害を頻繁に受けてきた。

さらに芸西村は降雨が短期間に集中する傾向があり、降雨強度は 80mm/時を超える。この集中的な豪雨によって和食川流域では過去度重なる洪水被害（平成元年・6年・10年・16年の台風 23 号等）に見舞われている。

### 2.2 河川特性

和食川は山からすぐに平野部に流れ出る小規模な河川で、河川長は 11.9 km である。河口部が砂洲に遮られているため閉塞的な形状になっており、水捌けが悪く、冠水しやすい地形環境にある。

昭和 36 年に河口部に排水ゲート（水門）を設けたが、低地平野であることから台風時の低気圧によって海の水嵩が増し海水が逆流してくる。

そのため台風や豪雨時はゲートが閉鎖されており排水能力が麻痺する状態である（Fig.2 参照）。そのため氾濫が発生しやすく、過去平成 10 年 9 月の高知豪雨災害による被害は、床下浸水 7 棟、農業用施設被害（水路や道路）は 3,600 万円、農産物等の被害は被害面積 12.9ha、被害額 870 万円、うちハウス野菜（ピーマンやなす）の被害面積は 11.1ha で被害金額 650 万円に及ぶ。

和食川は洪水の被害に加え渇水の被害も受けている。集水域が小さいため、構造的に降った雨は即海に流出してしまい、乾期には河川の表流水が枯れてしまう。そのため飲料水は地下水に依存している。

＊ 高知工科大学　　〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮ノ口 185

ハウス農業は灌漑用水の約7割を地下水、3割を表流水に依存しているが、表流水が特に不安定であり渇水時には地下水だけで灌漑用水の必要量を供給できない。

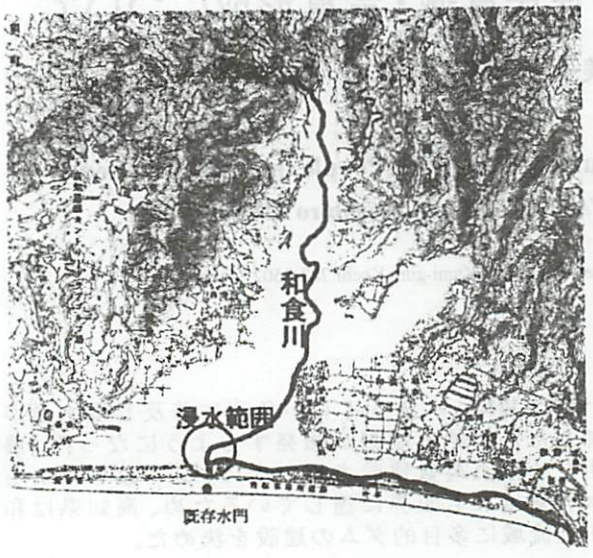



Fig.2 和食川浸水範囲

## 3. 和食ダム建設事業

### 3.1 事業の背景

平成元年、6年、10年、昨年の平成16年度（台風23号）と度重なる洪水被害を受けており、平成2年度の水害統計（最新版）によると過去10年間に4回の浸水被害が発生しているため、芸西村では抜本的な治水対策が必要である（**写真1** 参照）。

**写真1** 和食川氾濫によるハウスの被害（夏期）

和食川は芸西村の農業用水の水源として広く利用されているが、発展するハウス園芸での地下水利用が急速に拡大したため、水道水源としての地下水と競合しているため、過剰揚水から地下水位は低下し、近年でも2年に1回程度の割合で度重なる深刻な給水制限問題が発生している（**写真2** 参照）。平成8年1月には、最大100%の10日間の給水制限を実施しているなど、過去10年間に6回の渇水被害が発生している。さらに、公共下水道事業を実施しており（H13より一部供用開始、H22全戸供用開始予定）、水洗トイレ普及による水需要増に対して水供給が追いつかない状況にある。このため安定水源への転換を図るとともに、新たな環境衛生整備の水需要増に対応するためにも新規の水源確保が必要とされている。

**写真2** 表流水が干からびた和食川（冬期）

### 3.2 事業の目的と目標

和食ダム開発事業の目的と目標は、1)和食川下流域低地平野部の洪水被害を軽減するため、計画規模を1/50年確率として計画洪水流量56m³/秒のうち47m³/秒をダムに貯めて下流側の洪水調節を行なう，2)新たに1,000m³/日（＝0.0116m³/s）の水道用水源をダムで確保する、3)和食川下流の農業用水利を含め流水の正常な機能の維持と増進を図る、の3点に要約される。

芸西村馬ノ上に建設中の和食ダムは提高51.0m、提頂長124.0mの重力式コンクリートダムである。集水面積は1.9k㎡、湛水面積は0.07k㎡で、総貯水容量730,000m³、有効貯水量680,000m³、洪水調節容量360,000m³である。

平成8年度換算の計画概要によると和食ダム建設による便益は205億円、ダム建設事業費用は146億円となっておりB/Cは1.4である。

近年、人口減少や環境問題等への配慮を加えて、全般的な公共事業の見直しが進むなかで、開発計画の見直しや中止が議論されるなか、ダム開発事業の多くが影響を受けているが[1,2]、地元の芸西村の強い要望の元に和食川にダム開発計画が検討され事業が認可された。

## 4. 住民意識調査

公共事業に対する妥当性や透明性の確保が議論になるなかで、和食川流域の住民の「和食ダム」に対する意識調査を平成17年8月に行った[3]。ダムの必要性と妥当性を確認するために、第三者（学部学生の教育的な現場実習）の視点から、直接面接形式の簡単なアンケート調査を実施するコンセプトにもとづいているため、偏見なく事業に対する住民の意見や希望を評価できる可能性がある。

芸西村の瓜生谷、馬ノ上、和食、西分、琴原、松原に在住の村民を対象とした（Fig.3 参照）。琴平は西分、松原は和食としてカウント、また、小学生までの児童用と中学生以上の大人用とに分類し、児童用からは11人、大人用からは女性124人、男性92人、計216人の有効回答を得た。調査方法は各地区

からランダムに訪問、又は街頭での調査を実施した。直接面接方式で行なったため回収率は 100%である[1]。

Fig.3 地区別の位置図

## 5. アンケート調査結果

「芸西村は昔から水の少ない地域であると思う」の問いに対して、全体の 72.7%の人が少ない地域と答えている。一方、「昔から水害の多い地域だと思う」と答えた人は全体の 48.6%である。芸西村は過去に度重なる水災害が起きている。しかし水害が多いと答えた人の割合が少なかった。これは水災害で膨大な被害を受けた人は農家などの限られた業種であり、『水』に対してあまり関わりのない人たちにとっては被害意識の軽薄さが伺えられる。その他『引っ越してきたばかりだ』という人の回答も一部あったことが影響していると考えられる。しかし水不足については過半数以上の人たちが不足していると答えており、夜間断水等の影響が農業だけでなく一般家庭にも影響し、被害の意識を高めたのだと考えられる（Fig.4 参照）。

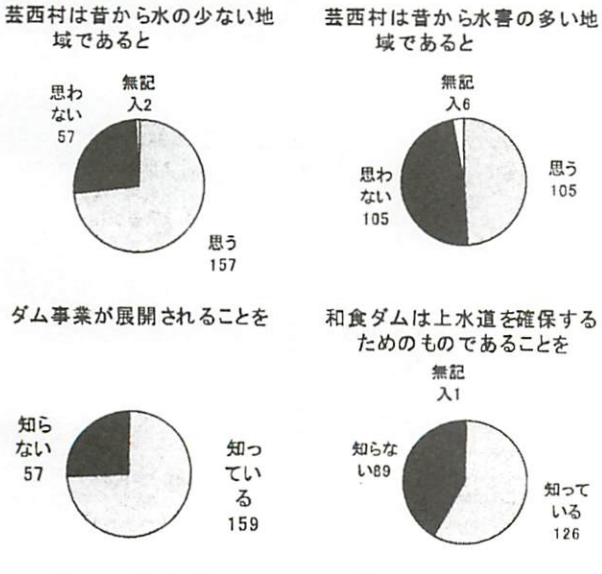



Fig.4 和食ダムアンケート結果（その 1）

次に和食ダム建設事業に関する調査をしたところ 72.2%の人たちが「ダム事業が展開されていることと知っている」と答えている。またダムの目的が「上水道（飲料水）の確保」と「洪水の被害軽減」であることも過半数以上の人が認知していた。これは村役場や和食ダム事務所の方が地域住民への理解をはかるため、日頃からさまざまな活動をしてきていたことの結果であると考えられる。また「ダムの必要性」についても必要であると答えた人は全体の 69.4%と過半数を超えている。必要であると答えた人の意見で最も多かった回答は「過去の水害や水不足を考えると必要」と「水田やハウス等の農業用水の確保」である（Fig.5 参照）。

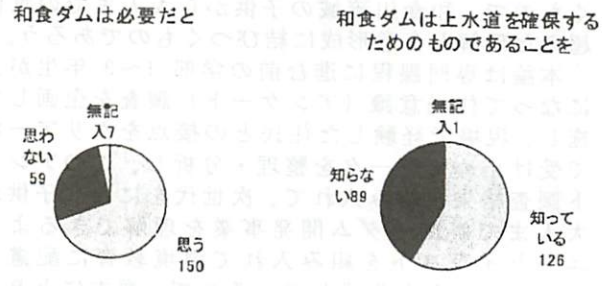



Fig.5 和食ダムアンケート結果（その 2）

地域別に分析を行なったところ、やはり浸水被害に遭った馬ノ上、和食（松原）地区では和食ダムに関する関心や理解度が高く、ダムに対する必要性も馬ノ上地区では 94%、和食（松原）地区では 75%と高い数値を示している（Fig.3 参照）。しかし瓜生谷、馬ノ上、和食（松原）の 3 地区はすべての質問にほぼ類似回答であるのに対し、西分（琴平）地区では水被害やダム事業に対して反対およびダム事業に対して軽薄な意見が多い。これは西分地区が地形的に高い位置に存在し過去の水被害に対して被害率が低く住民の「水被害」に対しての意識が少ないことが考えられる。

ダムが必要であるがどうかについての質問に対し、瓜生谷の住民が比較的賛成派が少なかったのは瓜生谷が建設現場から近く、また一部の住民はダム建設関連工事によって一部の土地が移転せざるをえない状況であることがダム建設賛成への意見を出さなかったと考えられる。しかし中には「自分の土地を交換することを考えるとダム建設には反対したいが、芸西村は昔から水不足や水害に悩んでいるので仕方がない」と言って『必要である』の回答にマルを書いてくれた方もいた。水に関わる仕事や和食川流域の水問題を知っている人のほとんどが必要であると答える結果となった。

## 6. おわりに

和食川は、乾期には水が枯れるため年間を通じて生物が生息するという条件がなく、かつダム貯水池に人家や畑等がないため、環境へのインパクトが最小限に押さえられているという特色がある。住民の約 70%がダムを必要とアンケートに記しており、住民との合意形成の過程で芸西村の持続的な産業（農業）の発展と安定した飲料水の供給のためには和食ダムの効果が非常に高く必要性があると理解され

ている。

今後ダムのみならず、生活密着型の公共事業は住民との十分な対話、意見の尊重が必要であり、またそれに関係する地域の将来を見極めた慎重で理知的な判断が求められる。そのためにも関係住民の関心や興味や意思に継続的な注意を払い、偏見のない科学的な知識や教養の向上も視野に入れて、さらなる合意形成と信頼醸成に努力していくプロセスにも着目する必要があろう。

環境と開発に係わる地域の問題の解決には、持続性の視点が欠かせない。生活密着型の社会インフラ整備における持続的な開発とは、次世代および次々世代のことに視野を広げて地域の視点から自ら地域で活動する（Act Locally）コンセプトにもとづくもので、和食川流域の子供から大人までの世代を超えた理解と合意形成に結びつくものであろう。

本論は専門課程に進む前の学部 1～3 年生が主体になって住民意識（アンケート）調査を企画して実施し、現場で経験した住民との接点をクリアーな目で受け止めてデータを整理・分析し、このアンケート調査結果を組み入れて、次世代をになう子供から大人までが広くダム開発事業を理解できるようアニメとイラストを組み入れて環境教育に配慮したパンフレットを作成しているので、巻末にとりまとめて添付する。

本論が、とかくダム（コンクリート）不要論の風潮が世相を覆うなかで、地方(地域)の住民と総合開発事業のつつしまやかな関係があることに一つの発見と理解が及ぶ一助になれば幸いである。

**謝 辞**

本調査研究を実施するにあたり、高知県和食ダム事務所からは基本的な資料の提供とアンケート調査の機会をいただき、高知工科大学社会システム工学科学部生の田中祐紀氏からアンケート調査における協力をいただいた。とくにと蔵冶光一郎氏（東京大学・愛知演習林）の第 4 回四万十・流域圏学会(2004)での“緑のダム”に関する講演が、本論の執筆者である学部学生に開発と環境の問題を考えるヒントを与えて下さった。ここに記して感謝の意を述べさせていただきます。

（原稿受付　2005 年 4 月 2 日）
（原稿受理　2005 年 4 月 18 日）

**参考・引用文献**

1) 蔵治光一郎(2005) 緑のダムと青の革命、四万十・流域圏学会誌, 4 巻 1 号, 3-9
2) 蔵治光一郎(2005) カリフォルニア州ベンチェラ群マタィリハ・ダム撤去、水文・水資源学会誌, 18 巻 3 号, 220-223
3) 山崎美子(2005) 和食川流域の治水問題と多目的ダム計画について, 高知工科大学プロジェクト研究

# 和食川

―和食川総合開発事業―

こんにちは☆
ボクは和食川の河童だよ☆みんなからは『河童クン』って呼ばれているんだ。
今日は、みんなに大事なお知らせがあるんだ。ボクの生まれ故郷『芸西村』に新しい〝和食（わじき）ダム〟が建設されることになったんだ。これは、芸西村を流れる和食川の上流部分に作られる計画になっているんだけど・・。みんなダムって何だか知ってる？聞いたことはあるけど、よくは知らない？？　じゃあ、これからボクと一緒にダムについていろいろ調べてみよう☆☆

| 凡　例 | |
|---|---|
| ダム | ▼ |
| 集水区域 | |
| 湛水区域 | |
| 洪水防御区域 | |
| 不特定用水補給区域 | |
| 水道用水給水区域 | |

今回、このダム長さんがボクたちに『和食ダム』について詳しく説明してくれるよ☆

こんにちは☆
それでは、「ダムって一体何？どうして作るの？ダムってどうなってるの？」っといった様々な疑問を解決していこう。

ダムとは、川などを流れている水を貯める施設のことで15m以上のものを『ダム』と呼んでいるんだ。ダムにはいろいろな種類（アーチダム、フィルダム、重力式コンクリートダム）があるんだけど、今回和食ダムに使われるのは、『重力式コンクリートダム』っていう形式のダムなんだ。
→→→重力式コンクリートダムとは、ダム本体の重さで水圧（水の流れ）を支えるダムで、横から見ると直角三角形に近い形をしているんだ。〝ダムの重みで水の流れ（洪水）を食い止める〟って、考えてくれればいいんだ★地形、地質、経済性を考えてこれに決めたんだよ。

重力式コンクリートダム

Q:01
どうして芸西村にダムが必要なの？

A:01

和食川のほとりは、昔からたびたび水害を受けてきたんだ。
昭和６２年の台風５号や平成元年の８月の集中豪雨等による浸水（道路や住宅が水浸しになること）や護岸が壊れて氾濫（水があふれ出てくること）が起こったりしたんだ。＝洪水対応の必要性

また芸西村は、ハウス園芸が多く渇水時（水がないとき）の対策として灌漑用水(田畑用の水）等への安定した水の供給が必要となってくる。＝安定した用水の必要性

そして、過去10数年間で時間断水１回、取水制限４回、節水要請６回・・今後さらに、水による需要が増えることを考えると新しい対策が必要だよね。＝村の上水道の必要性

洪水を防ぐには、堤防を高くしたり、川の幅を広くしたりといった対策も考えられる。しかし、河に沿った優良な農地の提供が必要になってしまうんだ。

そのため、これらの地域では一刻も早い治水・利水対策（大雨の時に川の水を安全に海へ流すこと、無駄なく水を利用すること）として今回の『和食ダム建設計画』が持ち上がったんだ。

Q:02
ダムを作ることで洪水や渇水（水不足）の被害は防げるの？

A:02

和食ダムは、豪雨時に上流から一気に流れ落ちてくる水を一時的に貯め込むんだ。
そうすることで・・・
1. 川の水の氾濫（堤防から水があふれ出ること）を抑制したりする洪水調節がされます。
2. 貯えておいた水を、常に川へ水が流れるようにすることで河川維持用水の確保・河川環境の保全がされます。
（芸西村では多くの水田や作物が作られているので、いつでも安心して水を得る農業用水への供給がされます。）
3. 今以上に文化的な生活ができるように上水道の確保がされます。

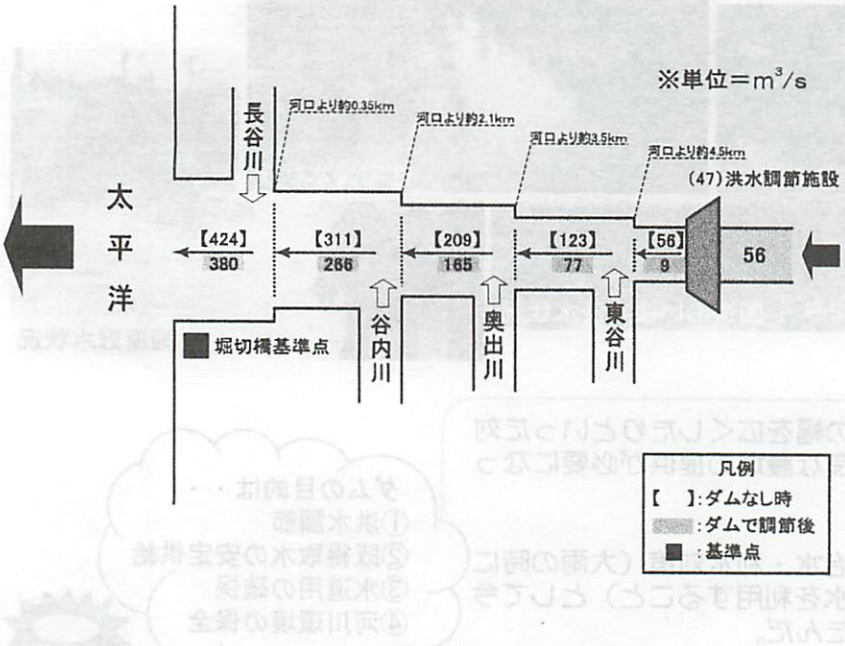
っと、さまざまな重要な役割を担っているんだ。

Q：03
大雨や台風の洪水時には、一気に上流から水が押し流されてくるから水がダムを超えて溢れてくる心配はないの？？

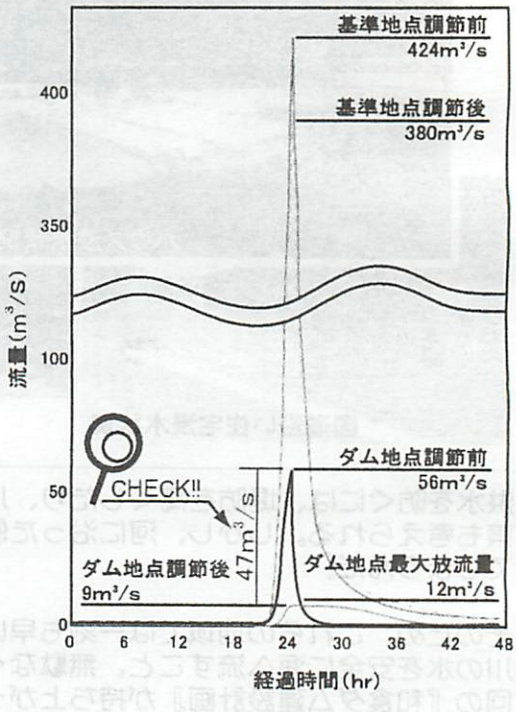
A：03

いい所に気がついたね☆　でも、その対策もしっかりしてあるんだ★
それでは河童くん、下の２つの図を見てくれるかい？

これは『流量配分図』と『洪水調節図』って言うんだ。洪水時には、ダムに入ってくる水を過去（５０年に一回に相当する）もっとも災害の大きかった平成元年８月の洪水量56m³/ｓを基準値として、そのうち47m³/ｓもダムに貯め込むことができるんだ。つまり、洪水時には下流に（56引く47で）９m³/ｓだけを流すという計画になっているということだね。これによって、一気に水が入ってきたとしても十分な貯水量があるので安心なんだ。また、常に適量の水を放流（流す）しているので、下流には安全な水を流すことができるんだ。



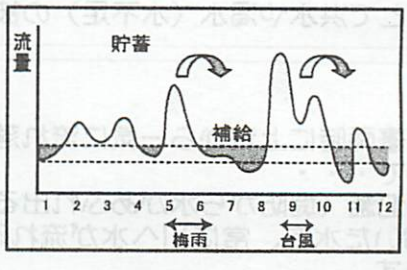

和食川水系整備計画流量配分図




洪水調節図

右のグラフは河川の流量をグラフ化したものなんだけど、このように不安定な河川流量を平準化して、安定な水利用を可能にしたものがダムなんだ★ダムの役割についてだいたい分かってきたかな？？

では、次からは少しステップアップして、和食ダムの大きさについて調べていくよ☆
そうすると、もっと詳しく和食ダムのことを理解できるからね!!



よぉ～し★どんどん和食ダムについて学んでいくぞぅ!!

# 和食ダムの諸元

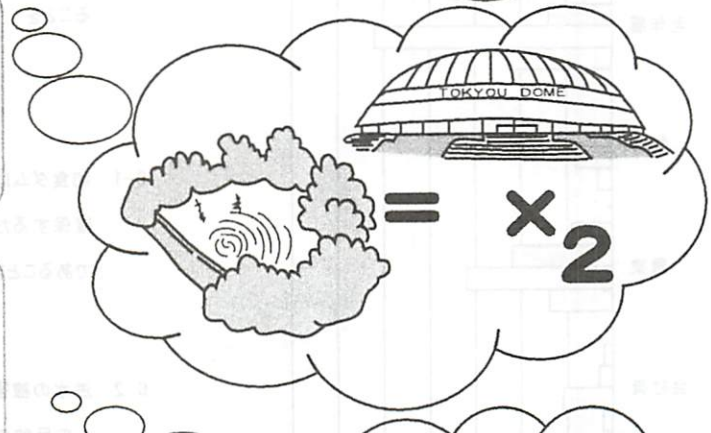
| ダムの諸元 | | 貯水池の諸元 | |
|---|---|---|---|
| 河川名 | 二級河川　和食川水系　和食川 | 流域面積 | 1.9k㎡(和食川約21k㎡) |
| 設置目的 | 洪水調節・流水の正常な機能の保持、既存用水の補給・水道用水 | 湛水面積 | 0.07k㎡ |
| | | 設計洪水位 | EL　98.5m |
| ダム位置 | 高知県芸西村馬ノ上字西谷地先 | サージャージ水位 | EL　96.0m |
| 形式 | 重力式コンクリートダム | 常時満水位 | EL　88.0m |
| ダム天端標高 | EL　100.0m | 最低水位 | EL　72.0m |
| 基礎岩盤標高 | EL　49.0m | 総貯水容量 | 730,000m³ |
| ダム高 | EL　51.0m | 有効貯水容量 | 680,000m³ |
| 提頂長 | 124.0m | 堆砂容量 | 50,000m³ |
| ダムコンクリート体積 | 64,000m³ | 洪水調整流量 | 47m³/s＜12m³/s＞ |
| ダム設計洪水流量 | 160m³/s(クリーガー曲線) | 利水容量 | 320,000m³(新規120,000m³) |
| 計画降雨確率 | 1/50 (307mm/日) | 洪水調節容量 | 360,000m³ |
| 最大流入量 | 56m³/s | | |
| 常用洪水吐き | 高さ1.2m×幅1.3m×1門 | | |
| 非常用洪水吐き | 高さ2.5m×幅11.0m×2門 | | |
| 年間降水量 | 約2000mm | | |
| 年平均気温 | 17.6度 | | |

●ダムの高さ●

ダムの高さは51ｍもあるんだ。これは、高知工科大学の日本一高い学生寮（１５階建て）とほぼ同じ高さなんだよ。

●ダムの広さ●

ダム湖の面積は、0.07ｋ㎡だから東京ドーム２個分の大きさとほぼ同じなんだ。

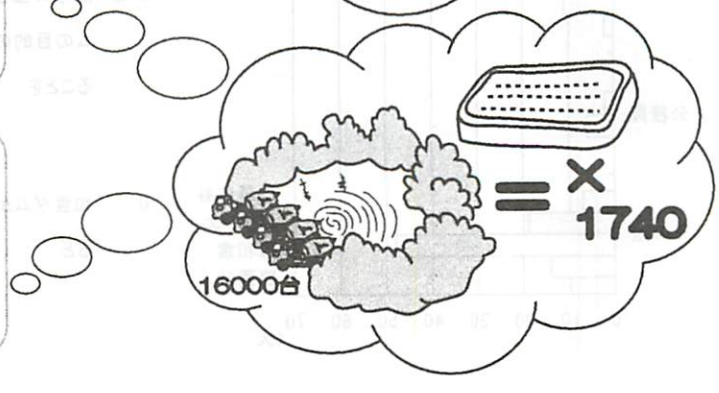



●ダムの体積●

ダムのコンクリートの体積は、6.4万m³だからコンクリートミキサー車（4立方メートル）で約16000台分と同じ大きさなんだ。

●水の量●

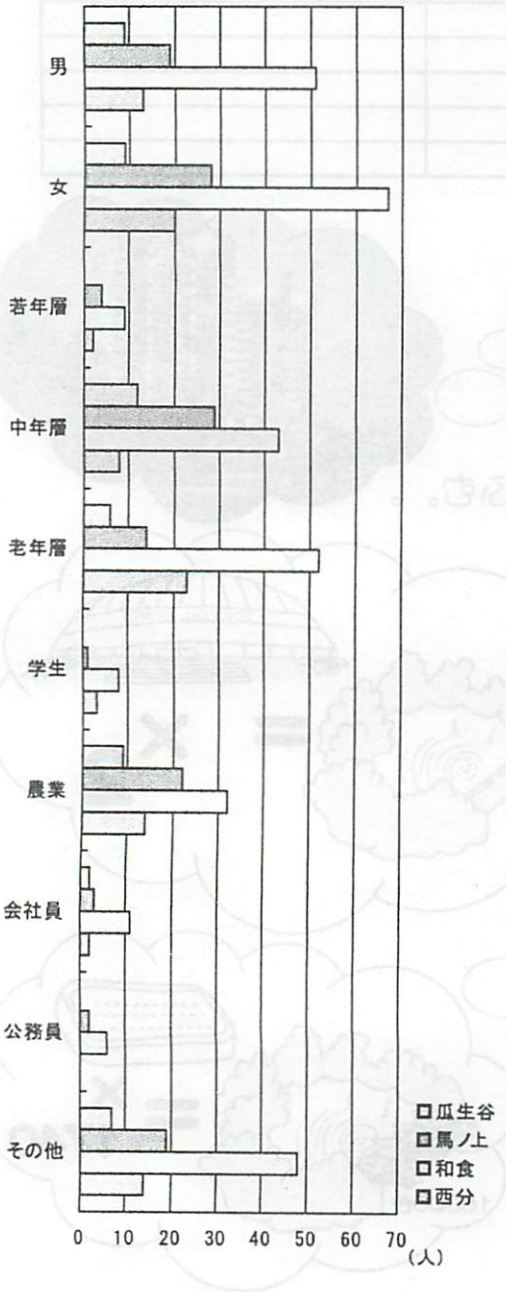
ダム湖の総貯水量は、73万m³だから学校のプール（420m³）の約1740杯分に相当する貯水量があるんだ。



この度、この和食ダム事業に関するアンケート調査を、高知工科大学の学生さんに依頼して行いました。皆さんが和食ダムについてどのようなイメージをお持ちであるのかを知ることによって、より良い事業の展開に繋げていくことができるからです。今回、アンケートにご協力頂いた皆さん本当にありがとうございました。今回のアンケート結果にふまえ、次ページより皆さんの質疑応答を行っていきたいと思います。

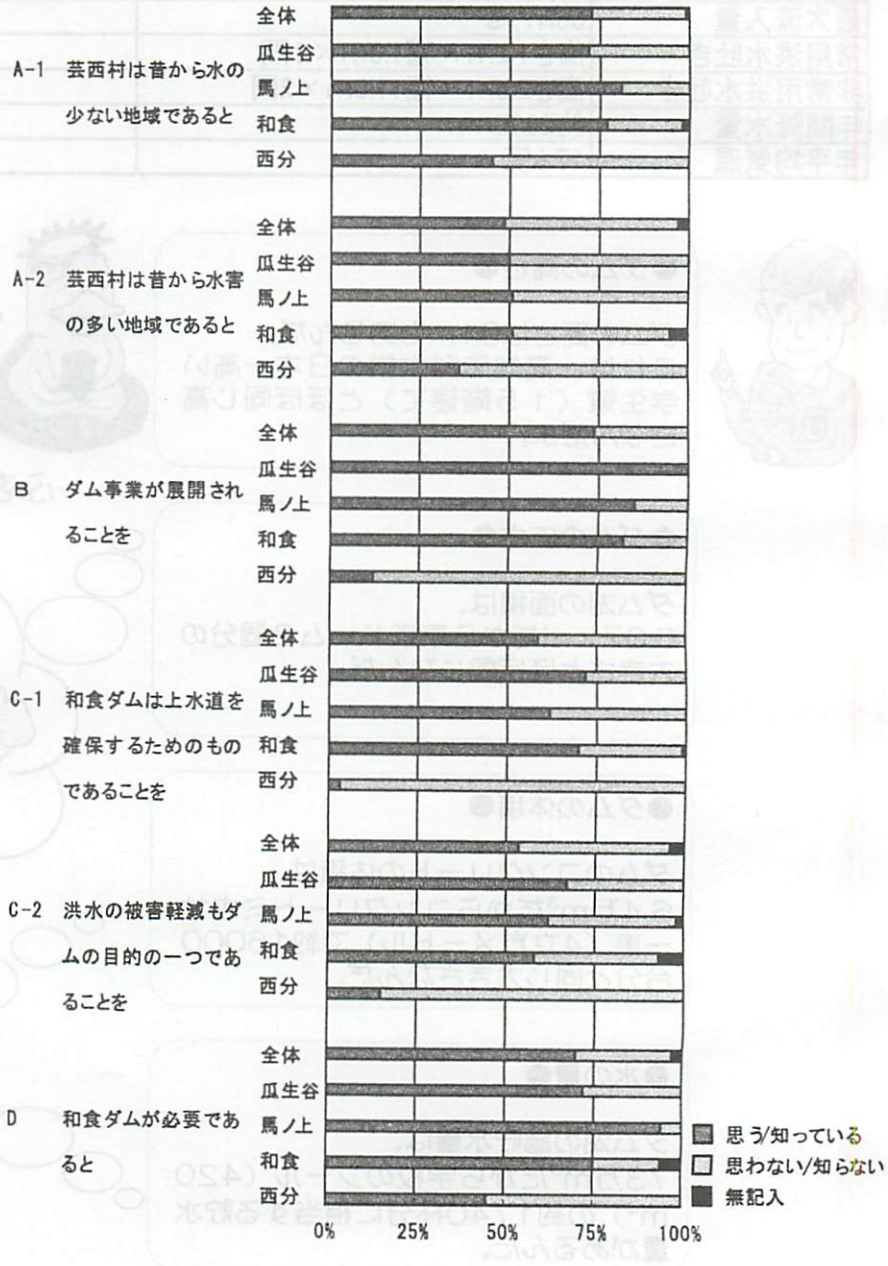
# 〈アンケート調査結果〉

## ▼対象住民の属性




## ▼和食川流域及び和食ダムの現状認識

注：全体—216人、瓜生谷—18人、馬ノ上—47人、和食—118人、西分—33人をそれぞれ100%として表示。



ダムを作ることでそこの地域の環境が変わると、今いる魚や昆虫たちにも何か影響を与えてしまうんじゃないの？
建設前と建設後では、何か環境が変わってしまうことってないのかな・・。

そう！！環境への配慮はとっても大切なことだよね☆☆
和食川流域にも、県レベルで貴重な植物や昆虫が生息している。植物については、専門家の指導のもとに流域の環境が同じ適地に移植することを考えているんだ。そのときは、ぜひ手伝ってほしいなぁ★　また、専門家のお話では、昆虫はダム湖が出来ても、自分の住みやすい所に移動する習性があるそうなんだ。そこで、植物を移植したダム付近にお引越しをしてもらう形になるんだ。お魚たちは、今と同じところで生息できる水量をダムから流出するから大丈夫だよ☆

川はみんなのものだから、空き缶やチリのポイ捨てはやめようね！！

水利権はどうなっているんじゃ？？わしの水田にも十分な水が与えられるんだろうなぁ？？

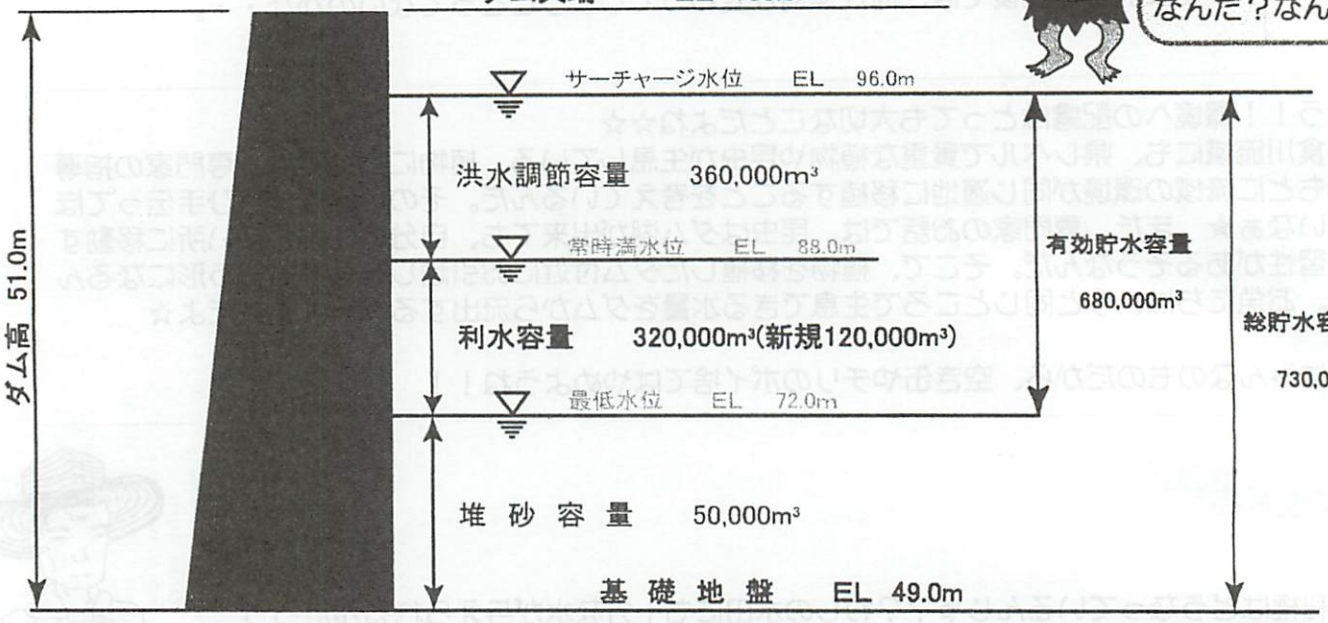
流域にある堰（せき）での水利量は１０年に一度の渇水でも確保されるようなダムの大きさを持っていますので十分な水が補給されます。（新規取水容量＝1,000m³/日が可能）

あら～わたしだって問題はあるわよ☆☆☆
ダムを作るには資金だってばかにならないし、相当の県や村の負担がかかるはずよ！！
ダムに関する事業効果等も聞きたいわね・・。

もし、ダムを作る代わりに堤防を高くしたり、川を横に広げたりして洪水を防ごうとすると、優良な農地の提供や橋の架け替え工事等が必要となってきます。また、村単独で水道専用のダムを作る必要が生じてきます。このように、総合開発事業のダム建設以外の工事方法との経済比較を行い有効性を検証しています。多目的ダムとして建設する方が総合的に経済的であるとともに、村単独で持ち出す経費も安くなります。

へぇ～★
馬ノ上地区の人たちは、93.6%がダムが必要だと思っているのかぁ。
全体でも約70%の人たちが『和食ダム』が必要だと思っているんだね。
でも、その中にもダム建設に不安を抱いている人もいるのかぁ・・。ダムの安全性や環境への影響度などなど・・・。地域の人の意見を聞く事って大切なんだなぁ☆☆☆

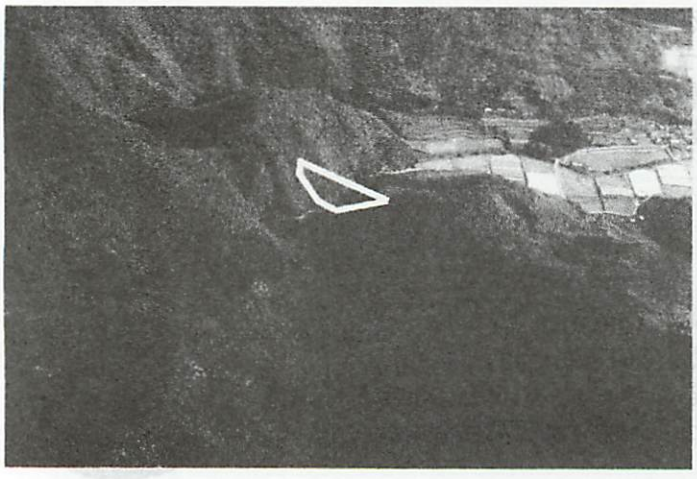
# 貯水池容量配分図



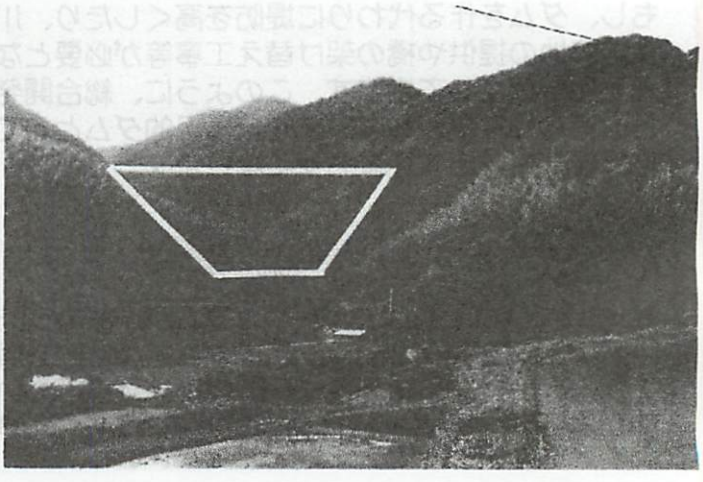

これは、ダムを横から見た時のそれぞれの容量の値を表しているんだ。
上から順に見ていこう★

サーチャージ水位・・・洪水時にダムによって一時的に貯留することとした流水の最高水位
洪水調節容量・・・洪水の時にダムに貯めることのできる水の量
常時満水位・・・平常時（非洪水時）にダムによって貯留することとした流水の最高の水位
最低水位・・・貯水池からの取水口の最低敷高で通常これよりも下の貯留水が利用できない水位
堆砂容量・・・一定期間（１００年間）にダム貯水池に体積すると予想される流入土砂を貯える容量
（※湛水区域の上流には斜路を設置して堆積した土砂の搬出が出来るように計画しています。）
EL・・・標高

## 航空写真



## ダムサイト写真



[四万十・流域圏学会誌　第4巻 第2号　49-58　2005]

＜四万十ユースセッション：投稿論文＞

# 高知県南国市石土雨水調水池の自然再生計画について

梅津　靖弘*、亀田　千明**、渡部　康志*、村上　雅博*

# Restoration of Ishiduchi Storm Water Reservoir at Nangoku in Kochi

Yasuhiro UMETSU, Chiaki KAMEDA and Masahiro MURAKAMI

Kochi University of Technology, 185 Miyanokuchi, Tosayamada-cho, Kami-gun, Kochi 782-8502 Japan

## 1. はじめに

高知県南国市に位置する石土池は、十市パークタウンの宅地開発に伴う雨水調整を目的として平成2年に従来の自然の池を約4倍（約25ha、周囲は約4km）に広げて整備された半人工池である（Fig. 1参照）。池への流入源としては、十市川のほか、直接の降雨、池底からの湧水、隣接する山からの流入である。

1997年に河川法が改正されるまでは、一般に法律上、雨水調整池は環境への配慮が義務づけられてなかったが、当時の石土池では追加コストをかけずに人工調整池と自然の池とを融合し、結果として環境に配慮した雨水調整池が整備されたため、湧水地帯に沈水性水生植物（シャジクモ類）が繁茂し多種多様な魚類が生息し、渡り鳥も飛来する豊かな生態環境が育っている。これは全国でも非常に珍しい自然再生のケースである。

このように石土池は住宅地に隣接しながらも良好な自然環境を維持してきたが、周辺地域のニュータウン造成に伴い、外来種の急増やニホンイシガメの輪禍問題、富栄養化による水質悪化が発生するなど、生態系が危機にさらされている。さらに、環境面のみならず、大量繁殖した浮遊性水草のホテイアオイが冬季に腐敗・沈殿し、池底のヘドロ化が促進することから、治水機能の一部が失われつつあり、現状のまま放置すれば豊かな生態系も調整池としての機能も損なわれる危険性が非常に高く、早急な予防対策が必要である。

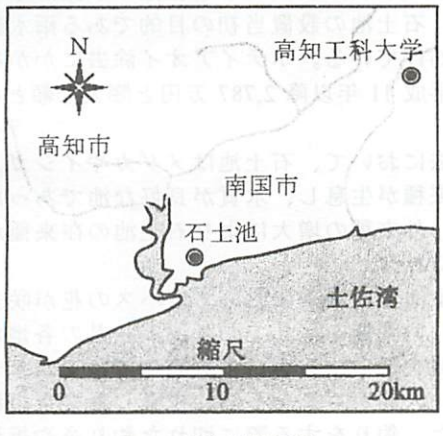



**Fig. 1** 石土池位置図

## 2. 十市川河川の改修事業と石土雨水調整池

十市川は、以前は高知市と南国市の境界線において太平洋に注いでいたが、河口維持が困難なため次第に河川の形を失い、都市化の遊水により内水氾濫が激化したため、戦後に人工の排水トンネルで浦戸湾に転流させた緩勾配の中小都市河川である。十市川の流域平野部は、地盤標高が低く川幅も狭小で流下能力も悪く、石土池・住吉池の二つの遊水池で自然調整されているが十分ではなく、しばしば洪水氾濫を繰り返していた。

昭和50年代から十市川の上流域において高知県住宅供給公社によるニュータウン計画の宅地開発が進められ、ますます下流側に洪水氾濫を起こす危険性が高くなるので、本流域の都市化に伴う治水対策を立てる必要性があったため、高知県は十市川の河川改修計画の総合的な検討を行った。

十市川は河床標高が低いため、川幅を拡張することにより流路断面積を増して粗度係数を小さくし、洪水氾濫を防ぐ従来型の河川改修計画であったが、十市川下流側の住民は農業で生計を立てていたことより、水田等の土地売却に承諾しなかった。そこで石土池周辺の湿田であった場所に雨水調整池を設置するとともに、併せてその調整池を有効に生かした河道計画の総合的な検討を行った。

河川の側面及び河床をコンクリートで覆うことにより粗度係数をより小さくし、十市川と雨水調整池（石土池）は完全に遮断し、平常時は十市川のみを流れて下流側に放流されていた。洪水時には越流堤部分からオバーフローした雨水排水が十市川から雨水調整池（石土池）へと流れ込み、下流の氾濫を防ぎ、その後に水門を開放して池の水位を下げて、次の洪水に備えるという計画で治水事業を実施した。

しかし、十市川の水源は主に十市パークタウンの雨水排水であったため、十市川下流側の住民から水質悪化に関する苦情が出された。そこで十市川と石土池を遮断する堤防の一部を開削し、その直下流地点で十市川を遮断し、雨水排水が雨水調整池（石土池）を通ってから下流に流れるようにした結果、雨水調整池（石土池）の水質浄化作用により調整池より下流の河川の水質は改善した。その反面、調整池の水質は悪化した。

現在の十市川一部の中流部は改修途中であり、従って

* 高知工科大学　　** 高知工科大学・大学院　〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮ノ口185

雨水調整池（石土池）の役割としては、雨水調整池（石土池）周辺の開発区域に降った降雨流出はすべて雨水調整池（石土池）に貯留することになっている。十市川水門は平常時、常に閉めている状況にあるが、雨水調整池（石土池）水位と十市川水位を比較し、洪水時において十市川水位が雨水調整池（石土池）水位より低く、その差に余裕がある場合には、水門を開放し、十市川中流部に排水する計画である。

洪水後において石土池の水位を計画初期値 T.P＋0.0m まで低減させる必要があるが、これを下流側の水位状況を確認しないで水門による操作で行えば、下流の未改修区間で浸水被害が出る恐れがあるため、現在は水門隣に設置してある排水ポンプ（0.5m$^3$/s）2 台のうち、いずれかの運転により石土池内の水位を調節している。十市川中下流の河川改修が終了すれば、雨水調整池の水位は水門で調整される[1)]。

上述したように雨水調整池（石土池）の役割は、開発区域内の降雨流出のすべてを雨水調整池（石土池）に一時期貯留することになっているため、降雨により流域表面から流出した汚濁物質はすべて雨水調整池（石土池）に流入することになる（Fig. 2 参照）。

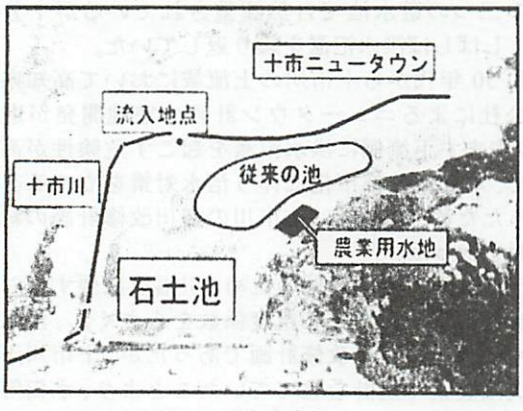



**Fig. 2** 石土池全景

## 3. 石土池の水質と水界生態系管理

### 3.1 水質

石土池を対象として、2002 年 4 月から 2004 年 2 月まで 2 ヵ年にわたり COD、BOD、T-N、T-P の水質指標 4 項目について計測した。石土池の水質環境は以下の特性を示している[2)]。

- COD は、およそ 2 mgl$^{-1}$ から 4.5 mgl$^{-1}$ の計測値を推移している。冬季におけるホテイアオイの枯死による水質悪化要因の増加を考えても、石土池の COD は年間を通して良質な状態を維持している。
- BOD は 1 年を通して、2 mgl$^{-1}$ から 4 mgl$^{-1}$ である。この数値は、アユの棲息限界と言われている 3 mgl$^{-1}$ と比較して同程度及び限界以上である。
- T-P は、すべての観測時期で 1 mgl$^{-1}$ を超えており、春季や夏季においては 3 mgl$^{-1}$ と非常に高い結果となった。なお、T-P は、1 年を通して約 0.05 mgl$^{-1}$ 程度と高い。
- 限りなく富栄養化状態に近いに状況にあるが、クロロフィル a の濃度は最大 30 μg/l（マイクログラム／リットル）とアオコが発生する数値にはなっていない。

石土池における水質測定の結果、環境省が行っている指定湖沼の水質状況と比較すると、COD に関しては年平均で 3.15mgl$^{-1}$ であり上位 4 番目に位置する琵琶湖（南湖）、T-N は年平均 2.06 mgl$^{-1}$ であり富栄養湖で有名な印旛沼、T-P は年平均 0.05 mgl$^{-1}$ であり宍道湖・中海レベルとそれぞれほぼ同程度である。

平成 14 年の調査結果と比較すると、ホテイアオイの面積が平成 14 年度から平成 15 年度にかけて約 33%増加したにかかわらず、T-N や T-P の観測地が逆に減少した結果となった。石土池が平成 2 年に従来の池を拡張する際に、周辺の水田や畑地を開発した。一般に、湿田は高濃度に T-P や T-N が集積しており、石土池においても過去に湿田であった地域から年月をかけて徐々に T-N、T-P が染み出してきていることが考えられる。本結果は、この物質が染み出してきている量は、石土池建設当初は大量であったが、年月を経て徐々に減少してきている可能性があることを示している。もともと環境保全に対する配慮がなされていない雨水調整池としては、良質な水質環境にある。

しかし、石土池は湖面のホテイアオイの面積が増加しており、ホテイアオイが冬季に枯死し池底にヘドロが堆積し、さらなる水質悪化の危険にさらされている。また、ホテイアオイの枯死によるヘドロの沈殿・堆積は、雨水調整容量を減少させ、水質悪化と洪水災害の危険性を高める要因になっている。

### 3.2 水界生態系の管理

石土池はホテイアオイやブラックバスなどといった外来種の混入により、在来の生態系のバランスが乱れてきている。現在の石土池が抱えている生態環境の問題は以下の通りである。

① 水質浄化能力を持つホテイアオイが冬季に枯死して腐敗沈殿し、富栄養化した池の水環境により夏には増殖する正のフィードバックを繰り返す。これにより、石土池の水質が悪化するのみならず、沈殿した腐敗物により石土池の水深が年々浅くなり、石土池の設置当初の目的である雨水調整機能を妨げている。ホテイアオイ除去にかかるコストは平成 11 年以降 2,787 万円と膨大な額となっている。

② 過去において、石土池はメダカやイシガメなどの在来種が生息し、水質が良好な池であった。しかし、外来種の増大により石土池の在来種が減少傾向にある。

③ 石土池では夏季においてはハスの花が咲き乱れる美しい景観を呈しており、高知県の各地からその景観を見学する客が多数訪れているが、一部の心無い人間がゴミを不法に投棄し景観を損ねている。また、釣りをする際に切れた釣り糸や折れたルアーが放置され、これによりカモなどの野鳥に害を及ぼしている。

④ 現在、石土池の周辺は、近年の十市パークタウン

整備作業により宅地の造成や交通量が増大し急激に都市化している。一部の地域からの生活排水が石土池へと流入し始め、石土池の水質環境の一部が悪化の傾向にある。

⑤ ④と関連して、交通量が増加することにより、石土池における生態系の象徴的存在であるイシガメの輪禍問題（ロードキル）が多数発生し、地域住民と石土池との距離が離れる原因の一つとなっている。

### 3.3 エコロジカルな水質改善モデル

池の富栄養化を予防するために、処理費用をかけないでエコロジカルに植物性プランクトンを削減するモデルについて検討を進めている。二枚貝の食物連鎖による植物プランクトンの捕獲効果を石土池の複数の水質サンプルを用いて実験室にて比較実験を行い、二枚貝によるアオコ抑制による水質浄化効果を定量的に評価した。

その結果、石土池において、二枚貝（淡水シジミ）を導入してアオコを抑制して最小対策費用にて水質浄化を実現することは可能である。ただし、今日のモデル実験は高知県内では始めての試みであるため、現在、現地にても実証実験を行っている。今後に配慮すべき問題点と課題は以下の3点に要約される。

① 長期データの必要性：実験データから溶存酸素が予想以上に減少する点と、二枚貝の排泄物による窒素・リン濃度の変化明確化と対策のため、本研究の実験でも行った「貝＋水草」の共生パターンの長期データを採取する必要性がある。

② 貨幣価値での評価：本実験では貨幣価値での評価まで進まなかったため、水質改善の処理費用がどのくらい必要かという評価ができていない。現在実施されている事例と、貨幣価値で比べ評価する必要があると考える。

③ 実験パターン変更の必要性：今回の実験では、淡水シジミ、石土池の水を使ったパターンのみだったが、カラスガイやドブガイ等、淡水に生きる二枚貝は他にもおり、それぞれの貝によっても変化パターンが変わってくる可能性がある。更に実験用水もクロロフィル a 濃度が高い水で変化が変わる可能性があるため、実験パターンの変更により、さらに効率のよい方法が出てくる可能性がある。

現段階では上記の問題点と課題を残しているが、現場での実験を繰り返し、二枚貝による水質浄化モデルの可能性を今後検討していく。

## 4. 住民意識アンケート調査

石土池の住民意識アンケート調査は地域住民に石土池（および周辺）の環境に対する意識指標化を目的とし、今後の住民と行政における環境保全活動の参考となる資料を待ために行った。2005年3月27日～28日の2日間（時間帯；10：00～12：00）にかけて高知県南国市の十市ニュータウンの住民を中心に住民アンケート調査を実施し、対象者の選出は、各地区からランダムに訪問、または街頭調査を実施した。直接面接方式で行なったため、回収率は100%である。有効回答は男性58人、女性61人、計119人の有効回答を得た。

アンケートはフェイスシート項目を除き13項目からなっている。主に1)石土池の現状認識、2)現在の石土池に対する環境像、3) 石土池を憩いの場としての認識について尋ねた。

石土池の歴史、概要に関する質問では、ほとんどの質問で半数以上の方が「はい」と答えた。つまり、多くの住民が石土池に関しての知識を持っていることが分かる。

しかし、石土池の概要、環境問題の質問には、多くの人が「知っている」と答えたのに対して、本来の目的である雨水調水池の機能を知っていると明記した人の方が少ないことより、周辺住民の石土池に関する意識指標は、洪水防水機能より文化面や環境に対する意識、特に環境に対する意識が強いことが伺える（Fig. 3 参照）。

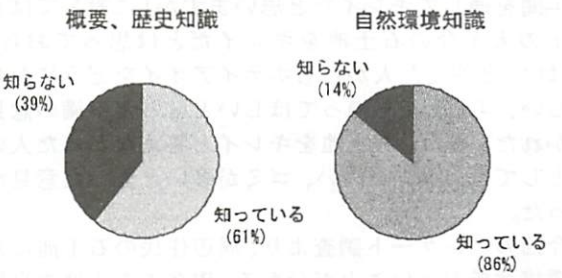



**Fig. 3** 石土池の現状認識

石土池に対する環境に関する質問では、「石土池にはハスがたくさんあることを知っていますか」に全員が「はい」と答え、「石土池にはホテイアオイがたくさんあることを知っていますか」でも8割近くの人が「はい」と答えた。「先ほどの質問で『はい』と答えた人は、ホテイアオイが枯れて池底にヘドロとしてたまっていくことが知っていますか」の質問でも6割以上の人が「はい」と答え、現在の石土池に対する自然環境、環境問題の認識の高さが分かる(Fig. 4 参照)。

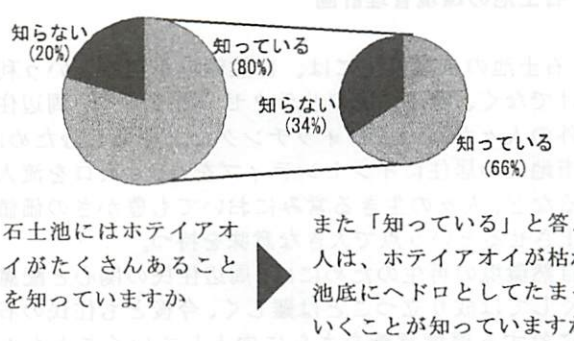



**Fig. 4** 環境の認識（ホテイアオイ）

これは、十市地区では、小学校教育に石土池の環境を対象とした総合学習の授業があること、石土池が周辺住民の自然環境を感じることできる身近な場であること、数十年前と比べて、現在は年々水質汚染が進み、環境の悪化、生態系の異変から石土池に自然環境の危機感を持っていることなどがその要因と考えられる。

特に十市小学校では総合学習の一環として、3年生と

4年生に学校に隣接する石土池をフィールドに環境学習を行っているため、地元の石土池アンケート調査の過程で、小学生の石土池と生態（動植物）環境に対する認知度と理解度が非常に高いことが分かった。学校に隣接する野外観察のフィールド（石土池）を有するという絶好のロケーションと担当の教諭の指導レベルが高ければ、子供たちは素直に反応して環境に興味を示して学習を深めていくが、石土池の環境学習としてのフィールドの特徴と優位性を地元の学校のみならず、高知県を代表する環境学習のモデルとしても活用する可能性について、地域のご父兄やグランドワーク十市推進協議会等の地元団体、行政および大学の研究者との連携を視野に入れたネットワークをつくることから検討を進めていく必要がある。

一方、「石土池で散歩をしたことがありますか」の質問に対しては8割以上の人が「はい」と答え、石土池にやすらぎや親しみを感じていることが分かる。「石土池は年間を通してキレイだと思いますか」に対しては6割以上の人が今の石土池をキレイだとは思っておらず、「はい」と答えた人からもホテイアオイをどうにかしてほしい、ゴミを持ち帰ってほしいと言った不満の意見が聞かれた。また、石土池をキレイと答えなかった人の理由としては、水質が汚い、ゴミが多いと言った意見が多かった。

今回のアンケート調査より、周辺住民の石土池に対する環境意識が高いことが分かる。現在の石土池の自然環境を守らなければならない、改善しなければならない、といった指標が多く得られた結果であった。

しかし、今後石土池が汚染され、生物がいなくなれば、住民の環境意識は薄れ、「守らなくてならない水辺」から「汚れることに違和感がない水辺」へ住民意識が変わってしまう恐れがある。地元住民が主体となって保全活動を行っていくためにも、石土池の自然環境の関心、関与を継続、環境保護に対するモチベーションを維持・向上させていく工夫が必要である。

## 5. 石土池の環境管理計画

石土池の自然再生には、自然環境が戻るという利点だけでなく、周辺住民のリラクゼーションや、周辺住民以外の人々がバードウォッチングなどを楽しむために、十市地区の居住にインセンティブを与え、人口を流入させるなど、人々の生きる営みにおいても豊かさの価値を向上させるという点で大きな意味を持つ。

自然環境の再生のためには、周辺住民の関心と配慮が無くしては成り立つことは難しく、今後とも住民の石土池に対する環境意識をさらに向上していくことも石土池自然再生計画において重要である。また、住民が主体となって池の環境管理やホテイアオイ等の定期的な除去などを行えるようになるためには、行政が住民の自主的な活動をサポートし、援助できるシステム、さらに大学などの学識者との組み合わせを視野に入れたい。

私たちが次の世代へどのような水辺環境を残せるかは、今日の私たちの努力に加えて、子供達の関心や関与が継持することでる。大切なことは、地域の自然環境資源を「再生」・「保全」するということで、適正な管理をすれば巨大な資金をかけずに自然が我々へ歩み寄ってくれる。裏を返せば、適正な管理ができなければせっかくの自然の恵みすら失ってしまう。地域に特有な自然の恵みは次世代に引き継いでいきたい。そのための地域環境教育の一モデルを示すことができればと思い、以下に次世代の環境教育に配慮したパンフレット、「石土池についてみんなで学ぼう！！」を添付するので御参考いただければ幸いである。

**謝 辞**

本調査研究を実施するにあたり、高知県南国土木事務所からは貴重な資料の提供、高知工科大学村上研究室の各位からはアンケート調査における協力をいただいた。ここに記して感謝の意を述べさせていただきます。

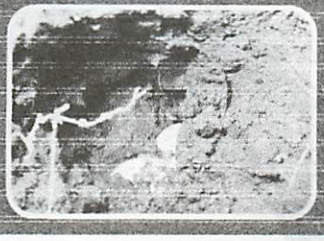
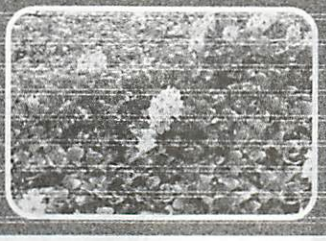
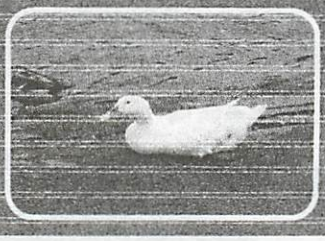
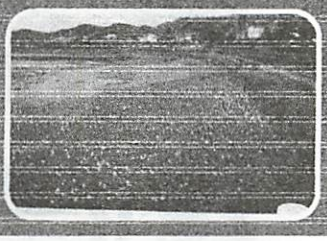
（原稿受付　2005年4月 2日）
（原稿受理　2005年4月18日）

**参考・引用文献**

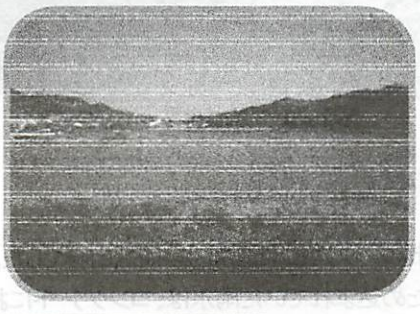
1) 亀田千明 (2005) 半閉鎖水域の雨水調整池における水質特性～雨水調整池（石土池）における都市雨水流出について，高知工科大学プロジェクト研究

2) 高知県南国土木事務所 (2005) 石土池環境再生環境調査研究委託業務報告書，高知県

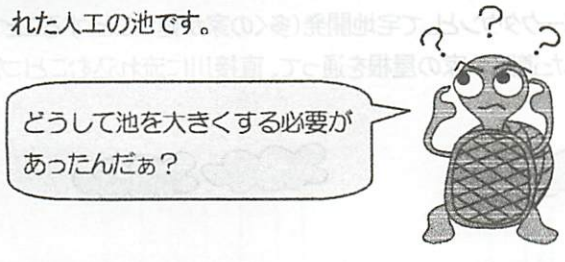
# 石土池について みんなで学ぼう！！

## 石土池の歴史



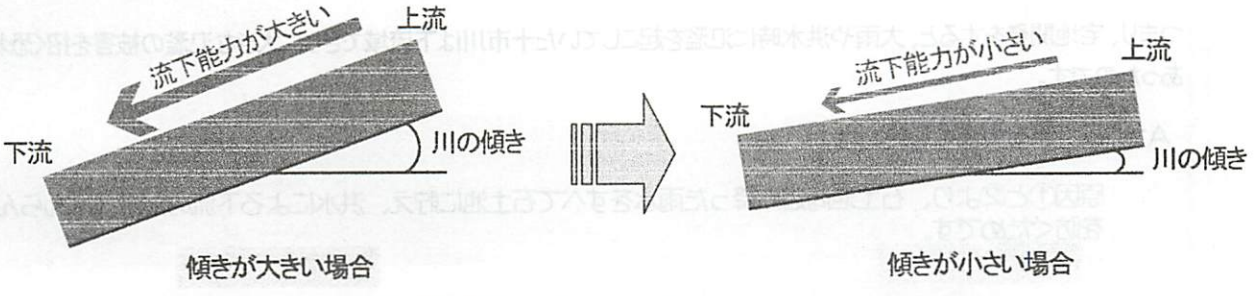
高知空港から西に向かって海岸寄りの道を行くと、右側に湖のような広い池が見えてきます。「石土池」です。現在の石土池は、以前あった自然の池を大きくして作られた人工の池です。



### Q1：なぜ石土池を大きくする必要があったのでしょう？

（ヒント；川の勾配（川の傾き）に着目してみよう！）

現在の石土池の隣には「十市川」が流れています。しかし、その十市川は勾配（川の傾き）が小さく川の流れが非常に遅いため、上流から下流へと流下（りゅうか）する能力が小さい。



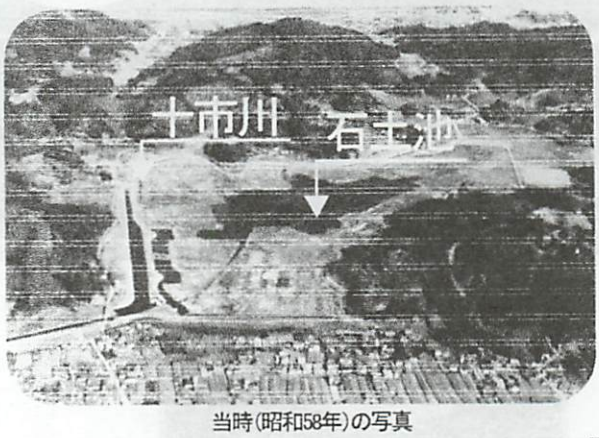

**川の傾きが大きいほど、川の流れが速く、川の傾きが小さいほど川の流れが遅い**

**チェックポイント**

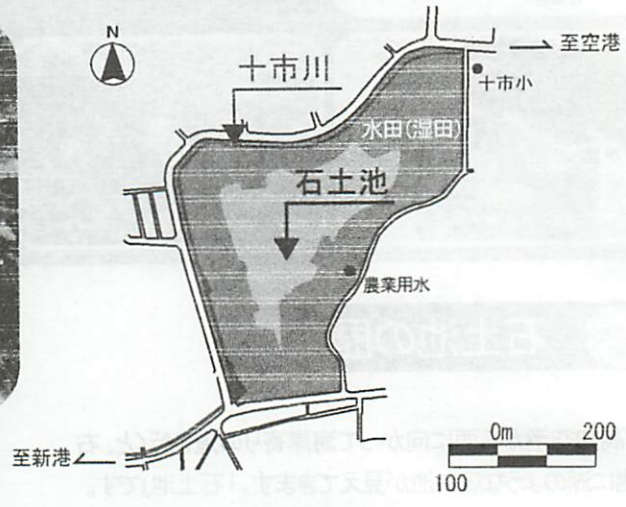
- 十市川は傾きが小さく川の流れが遅い
- 十市川は、川幅がせまい

## 原因①

昔の十市川は、勾配の低さ、川幅の狭さより、大雨や洪水時にはしばしば洪水氾濫(こうずいはんらん)が起こっていました



当時(昭和58年)の写真

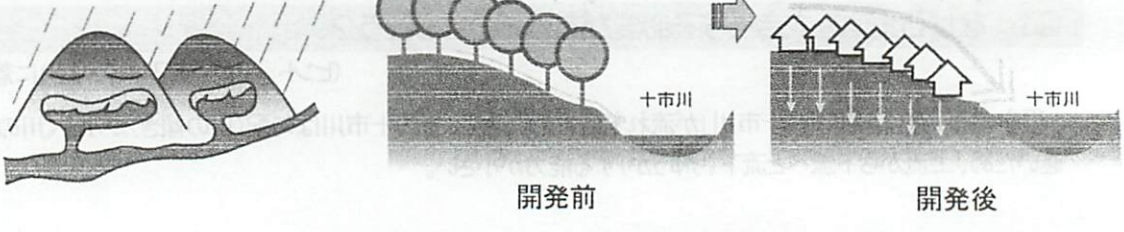



## 原因②

現在の十市パークタウン周辺は、以前は山林でした。十市パークタウンとして宅地開発(多くの家が建つこと)することで、今まで山にため込まれていた雨水は、コンクリートにおおわれた道路や家の屋根を通って、直接川に流れ込むことになります。

**チェックポイント**

直接山に降った雨水は、一部の水を山が貯えて、残りは川に流れ出たり、蒸発したりします。

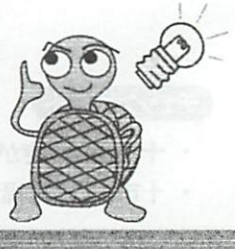



つまり、宅地開発をすると、大雨や洪水時に氾濫を起こしていた十市川は下流域でさらに大きな氾濫の被害を招く恐れがあったのです。

A1：石土池を大きくしたのは

原因①と②より、石土池周辺に降った雨水をすべて石土池に貯え、洪水による下流の氾濫（はんらん）を防ぐためです。

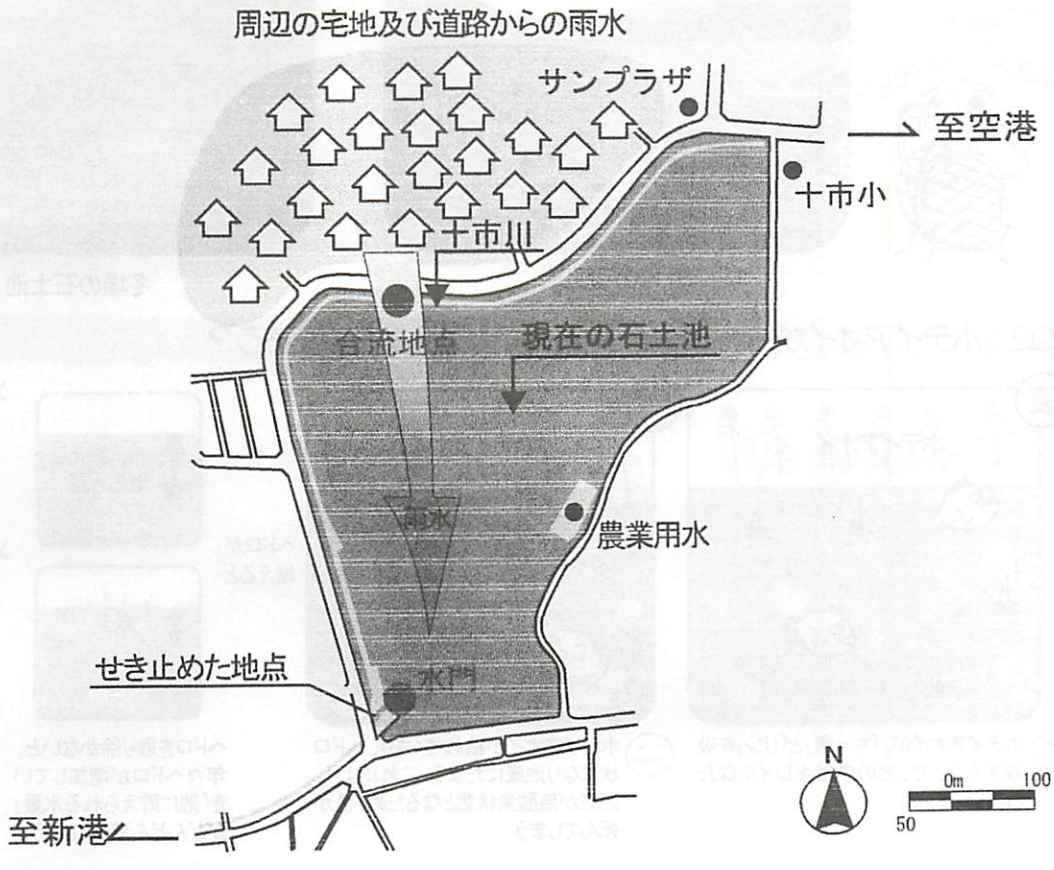
石土池の拡大化は、過去の洪水氾濫と宅地開発による更なる洪水の氾濫を防ぐためだったんだね☆
石土池は、雨水を調節する役割を果たしているんだぁ☆



## 石土池の働き

昔は、石土池と十市川は完全に分離されていました。しかし、十市パークタウンの開発により、住宅の屋根や道路に降って流れた(汚れた)雨水が直接川に入ることで、下流側の住民から「水が汚れてきた！」という文句がありました。そこで、堤防の一部分を開け川と池を合流させ、水門の手前で川をせき止めることにしました。また、石土池に流れた雨水は、降雨後、ポンプを利用して十市川の下流側に流します。

これにより、汚いものが池底に沈み、下流域に流れる水がキレイになってきました。




## 石土池の問題点

### 問題点①

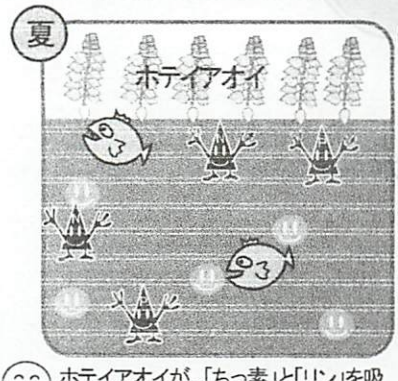
石土池には、良質な水を好む日本にしか生息しない「ニホンイシガメ」がいます。しかし近年、産卵時の交通事故や外来種である「アカミミガメ(通称:ミドリガメ)」に生息地を追われ、今ではその姿は珍しくなっています。そのため、地域住民と県では、ニホンイシガメを保護する取り組みがなされています。

石土池には、ハスやホテイアオイやヒシモといった水生植物が数多く混在しています。夏場には、青々とした緑が水面に茂り(しげり)ハスやホテイアオイの美しい開花が見られます。また、野鳥なども飛来し、石土池周辺は地域住民の散歩コースとしてより良い環境を与えています。その他、ブラックバス(魚)などの生息し、たくさんの釣り人の姿が見られます。しかし、池に浮遊(ふゆう)しているホテイアオイは、秋から冬に掛けて枯れてしまい、池の環境悪化につながっています。

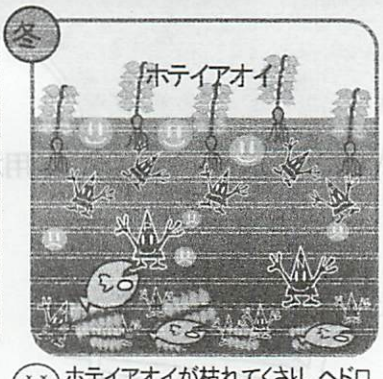
夏場の石土池

冬場の石土池

## Q2：ホテイアオイが枯れるとどうして環境が悪化するのだろう？




ホテイアオイが、「ちっ素」と「リン」を吸収することで、池の中はキレイに保たれている。




ホテイアオイが枯れてくさり、ヘドロ状になり池底にたまる。これにより、池底が無酸素状態となるため、魚が死んでしまう。

ヘドロが増えると

ヘドロを取り除かないと、年々ヘドロが増加していき「池に貯えられる水量」がどんどん減ってしまう。

**ちっ素(N)**
植物の栄養になるが多くなると池の汚れの原因となる。

**リン(P)**
植物の栄養になるが多くなると池の汚れの原因となる。

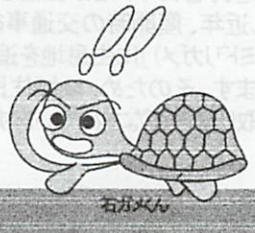
**酸素**
微生物が有機物を食べるときに必要なもの

### A2：悪化の原因は

ホテイアオイが枯れて池底に沈みヘドロ化することで、ちっ素とリンが池底にたまり、池の汚れの原因となっています。また、ヘドロ部分は『無酸素状態（酸素がない状態）』となるため、池の魚や鳥たちがやがていなくなってしまいます。さらに、ヘドロが池底にたまることで池が浅くなり、本来の池に貯えられる水量が少なくなります。その結果、下流側への洪水氾濫の危険性が高まります。

夏場はあんなにキレイなホテイアオイも除去していかないととんでもないことになるんだぁ！！

池が汚れたり・・・お魚さんがいなくなったり・・・
洪水の原因にもなるんだぁ！！　これは大変だぁ！！


石ガメん

ヘドロ化

# 四万十通信

第 37 章～第 49 章

（平成 12 年 4 月 10 日～平成 13 年 3 月 10 日）

高知県四万十川対策室

（現：高知県文化環境部四万十川流域振興室）

清流通信「四万十川物語」
第３７章（H12．4．10）
送信者：高知県四万十川対策室
tel(088)-823-9795　fax(088)-823-9296　e-mail　s14102@ken.pref.kochi.jp

# （財）四万十川財団が本格始動

## ～２１世紀に向けた四万十川の保全活動のはずみに～

「四万十川物語」読者の皆様、こんにちは。
今、四万十川流域でも桜の花が咲き乱れています。春の訪れを感じさせる光景です。みなさまはお花見には行かれましたか？

さて、このほど高知県と四万十川流域８市町村は共同で（財）四万十川財団を設立しました。
設立のねらいは、これまではややもすると行政主導になりがちであった四万十川の保全について、産・学・民・官の連携のもとに四万十川にかかわる一人一人がその役割を認識し、流域全体で総合的な力を発揮できるような体制に転換することにあります。
そして、もちろんのことですが、四万十川保全への支援を行ってくださる全国の方々とも連携し、事業の展開を図ることもその一つです。
また、これまで全国の皆様に募金をいただいております「四万十川ファンド」は、流域の市町村で構成する「四万十川総合保全機構」で管理を行っておりましたが、四万十川財団に移管し、新たに「四万十川基金」と名称を変更し管理を行ってまいります。
全国の皆様方の一層の御支援を今後ともよろしくお願いします。

池田高知県文化環境部長　　中越副理事長

【財団法人　四万十川財団】
〒786-0013　高知県高岡郡窪川町
琴平町３－１４
tel：０８８０－２９－０２００
fax：０８８０－２９－０２０１
※E-mailアドレス　ホームページ
現在準備中です
開所時間：８：３０～１７：１５
土日祝日は休みです

四万十川基金（シマントガワキキン）
四国銀行窪川支店
（普）0331175

**new!**

『人と自然の共生モデル事例集』『四万十なんでも事典』が完成

四万十川流域内の環境に配慮した事業や事例等を集めた「人と自然の共生モデル事例集」と四万十川についての質問に答える「四万十なんでも事典」がついに完成。
事例集をご希望の方はＡ４サイズ以上の封筒に２４０円分の切手を、なんでも事典をご希望の方はＢ５サイズ以上の封筒に２７０円分の切手を、両方をご希望される方はＡ４サイズ以上の封筒に３９０円分の切手をお貼りのうえ、郵便番号・住所・氏名を記入し、四万十川対策室までお送りください。なお、直接四万十川対策室まで取りにおいでていただいた方には、無料で進呈させていただきます。
（部数に限りがございますので、勝手ながら各々先着１０００名様までとさせていただきます）
高知県四万十川対策室：〒７８０－８５７０　高知県高知市丸ノ内２－４－１

*次章（５月１０日発信）は「２１世紀の扉を開けて～高知大学教育学部付属小学校の取り組みについて」を予定*

清流通信「四万十川物語」
第３８章（Ｈ１２．５．１０）
送信者：高知県四万十川対策室
tel(088)-823-9795　fax(088)-823-9296　e-mail　s14102@ken.pref.kochi.jp

# ２１世紀のとびらを開けて
## ～高知大学教育学部附属小学校の取り組み～

「四万十川物語」読者の皆様、こんにちは。
ゴールデンウィークも過ぎましたが、みなさん元気でお過ごしでしょうか。四万十川流域も連休中はたくさんの観光客を迎え、連日大変なにぎわいを見せていました。

今回は高知大学教育学部附属小学校の６年生が作った小冊子「２１世紀のとびらを開けて」について、お知らせします。

この小冊子は、昨年、高知大学附属小学校の６年生１２０人が高知県の県政について約半年をかけて取材を行ったもので、自分達が興味を持った事柄を調べるため、自分達で県庁の各課で取材を行ったものです。行政の取組みの内容や自分たちの感想がまとめられています。四万十川対策室へは１２人の子供達が四万十川に関心を持って取材に来てくれました。

どのようなことに一番興味を持っているのかと小冊子を見てみると、やはり一番の関心は川の汚れのよう。空き缶のポイ捨てについて書いたものや、家庭排水や畜産の糞尿についてふれたもの、道路工事についてのものもありました。中には「森林の適正な管理とはだれがどのようなことをしているのかなと思った。」など流域の保水力の向上について鋭い視点で切り込んだものもありました。

子供達も四万十川の清流保全の大切さを敏感に感じていることが分かる内容でした。環境保全に対する子供達の意識がどんどん広がって、清流四万十川が次の世代に引き継がれるよう努力する決意を新たにしました。

### 四万十なんでも事典配布終了

前号でお伝えしました、四万十なんでも事典の郵送につきまして、当初予定しておりました１０００名を超える方々から申し込みがありましたので、締め切らせていただきます。予想以上の反響と皆様からの温かいご声援、どうもありがとうございました。

なお、発送作業が若干遅れ気味となっております。申し込んでいるのにまだ届いていない方は、申し訳ありませんがもうしばらくお待ち下さい。

### event情報！

６月４日　檮原町にて、四国神楽（かぐら）大会・土佐牛まるかじり大会があります。四国神楽大会は入場無料。土佐牛まるかじり大会は入場券が必要です。前売り券についてのお問い合わせは下記まで。開催場所は両方とも檮原町太郎川公園です。

問い合わせ先
土佐牛まるかじり大会：
津野山農業協同組合
０８８９－６５－０３２９
四国神楽大会：
檮原町教育委員会
０８８９－６５－１１１１

*次章（６月１０日発信）は『四万十カヌー工房』を予定*

清流通信「四万十川物語」

第３９章（Ｈ１２．６．１０）

送信者：高知県四万十川対策室
tel(088)-823-9795　fax(088)-823-9296　e-mail　s141020@ken.pref.kochi.jp

# 四万十大使に椎名誠さん就任

「四万十川物語」読者の皆様、こんにちは。
梅雨の季節となりましたが、みなさん元気でお過ごしでしょうか。
この時期、四万十川流域でも蛍をみかけます。日頃の蛍光灯に慣れた目で蛍の光を見てみると、何か不思議な感じがしませんか？

今回は「四万十大使に椎名誠さん就任」と「カヌー工房」についてお伝えしようと思います。

作家、そしてアウトドア活動をはじめとする幅広い分野で御活躍の椎名誠さんが、四万十大使にご就任されました。俵万智さん、宮崎美子さん、山本容子さんに続いて４人目、男性では初めての大使です。
四万十大使は著名人の方々に知事が委嘱し、県民、国民の共有財産である「四万十川」への支援を全国に呼びかけていただくことを目的としています。大使の「報酬」は、心ばかりの四万十川の「天然アユ」となっています。
椎名誠さんは、第一回映画監督作品として四万十川を舞台とする「ガクの冒険」を製作されたり、これまでに１０回以上も四万十川を訪れカヌーを楽しまれるなど、四万十川に対する関心も深く、そのようなご縁がきっかけとなって大使就任が実現したものです。

椎名誠さんには、去る５月２４日、橋本高知県知事から正式に委嘱状と大使の名刺をお渡しして、ご支援をお願いしました。就任式では橋本知事から「椎名さんの感性で四万十川への応援をよろしく」、椎名さんからは「四万十川は僕にとって、ストレスを解消してくれる川」「沈下橋をいつまでも残して欲しい」といったやりとりがされていました。

## 手作りカヌーへの招待

四万十川対策室では、カヌーや木工品を手作りできる「体験型工房」ができないか検討しました。これは、昨年度四万十川流域の方々にお願いして研究を重ねていただいたものです。
工房のあり方としては、カヌーと木工品の製作、キット販売と自然を身近に感じられるカヌー体験を組み合わせたものとし、四万十川流域一体で「遊ぶ・学ぶ・創る」という自然体験を楽しめる仕組みづくりが必要との報告がありました。

また、地元のスギ集成材等を使って、実際にカヌーを製作していただきました。製作した３艇のカヌーは大正町の「道の駅」や「オートキャンプ場ウェル花夢」、西土佐村の「四万十楽舎」で展示しております。木のぬくもりの伝わる美しいカヌーですので、是非一度ご覧ください。
今後は、研究いただいたグループが中心となって工房の実現に向けた活動を続けるほか、手作りカヌーの交流会なども計画しています。
地元産材料での手作りカヌーで四万十川がにぎわう日をめざしてがんばりたいと思います。取り組みへの、御声援・御協力をよろしくお願いいたします。

*次章（7月１０日発信）は『こどもを川にもどす提言』を予定*

第４０章（Ｈ１２．７．１０）

送信者：高知県四万十川対策室
tel(088)-823-9795　fax(088)-823-9296　e-mail　s14102@ken.pref.kochi.jp

# 四万十大使に畠山重篤さん就任

「四万十川物語」読者の皆様、こんにちは。

前回予告しました「こどもを川にもどす提言」の予定を変更し、今回は「四万十大使に畠山重篤さん就任」をお伝えします。

宮城県気仙沼で、牡蠣の養殖をされている皆さんでつくる「牡蠣の森を慕う会」代表の畠山重篤（はたけやま　しげあつ）さん。高知県は、畠山さんに四万十大使を新たにお願いしました。畠山さんは、海に注ぎ込む川、さらにその上流の森の働きが海の生き物を育んでいることに気づき、「森は海の恋人」運動を展開されています。県境を越えた植樹活動を１２年間続けられる傍ら、上流域の子どもたちを海に招き、環境教育の体験学習も行うなど、幅広い実践活動を行っておられます。

今回の四万十大使就任は、四万十川フォーラム２１（平成８年：中村市）にパネラーとしてご参加いただいたことや、宝酒造さんと官民一体で展開してきた「四万十川の清流を守ろうキャンペーン」のなかで、清流の森づくりに対するエールをいただいたことをきっかけに実現したものです。

ご夫妻で出席いただいた６月２１日の就任式では、橋本知事から委嘱状と大使の名刺をお渡しして今後のご支援をお願いしました。畠山大使から「どんな川が流れているかは、そこに住む人々の民度を示す。」といったご指摘や「川の環境を守っていくためには森や海を含めた全体への視点が必要。四万十川河口で漁業をする人やホエールウォッチングをする人たちに呼び掛け、連携できれば･･･」との抱負が、また、橋本知事からは「畠山さんのこれまでの経験やノウハウを四万十川に教えて欲しい」などといった話がありました。

四万十大使は、俵万智さん、宮崎美子さん、山本容子さん、椎名誠さんに続いて５人目の大使となります。

トピックス

○四万十川一斉水質調査

「四万十川の日（7月25日）」の記念行事として、7月3日から7月中旬にかけて、四万十川本流及び支流73箇所において、四万十川流域8市町村の小中学生約300人（22校）による水質調査が行われます。

主催・お問い合わせ先：(財)四万十川財団　電話：0880-29-0200

*次回（7月２３日発信）は『森は海の恋人』を予定*

清流通信「四万十川物語」

第４１章（Ｈ１２．７．２３）

送信者：高知県四万十川対策室
tel(088)-823-9795　fax(088)-823-9296　e-mail　s14102@ken.pref.kochi.jp

# 森は海の恋人

清流通信「四万十川物語」の読者のみなさんこんにちは。

今回は、平成１２年７月２５日に行われる「四万十版「森は海の恋人」意見交換会」についてお伝えしようと思います。

「森は海の恋人」、これは宮城県の気仙沼湾で牡蠣の養殖に従事され、先に５人目の四万十大使になっていただいた「牡蠣の森を慕う会」の代表、畠山重篤さんが1994年に出版された本の題名で、畠山さんのグループが山に木を植え始めたときに、歌人の熊谷龍子さんが森と海の関係を大変魅力的に表現した言葉です。

四万十版「森は海の恋人」意見交換会は、こうした県外の漁業関係者による先進的な取組みを理解し、今後本県においても漁師さん達による山への植樹を定着させる契機とするため、７月２５日の「四万十川の日」に四万十川河口沿岸部の漁業関係者の方々が集まって、四万十川とクジラの関わりや森と川と海のつながりについて考えていこうという行事です。

当日は、森と川と海のつながりを科学的に研究、実証されている北海道大学水産学部、松永勝彦教授の「森と川と海のつながり」と題した基調講演や、畠山四万十大使の「漁師が山に木を植える理由」と題した先進取組み事例の発表が行われます。

また、会の後半には、松永教授と畠山大使のお二人に、地元の（社）高知県森と緑の会の坂本耕平さんや砂浜美術館の水野聖子さん、入野漁業協同組合の澳本健也さんを交えた意見交換会が行われます。　会場は、大方町入野のふるさと総合センター、開始時間は午後１時３０分となっています。

なお、秋には、この意見交換会に参加いただいた四万十川河口沿岸部の漁業関係者の方々を中心に、四万十川流域への植樹活動も予定しています。

○ 基調講演（１３：４０～１４：３０）
　北海道大学水産学部教授　　松永勝彦さん
　―森と川と海のつながり―

○ 取組み事例発表（１４：３０～１５：２０）
　「牡蠣の森を慕う会」代表　畠山重篤さん
　―漁師が山に木を植える理由―

○ 意見交換会

| | |
|---|---|
| 北海道大学水産学部教授 | 松永勝彦さん |
| 「牡蠣の森を慕う会」代表 | 畠山重篤さん |
| （社）高知県森と緑の会事務局長 | 坂本耕平さん |
| 砂浜美術館事務局長 | 水野聖子さん |
| 入野漁業協同組合参事 | 澳本健也さん |

トピックス

○四万十川歩行者天国（仮称）

８月１４日（月）の西土佐村口屋内ふるさと祭りに合わせ、口屋内沈下橋を歩行者に開放します。

*次回（８月１０日発信）は『こどもを川にもどす提言』を予定*

第４２章（Ｈ１２．８．１０）

送信者：高知県四万十川対策室
tel(088)-823-9795　fax(088)-823-9296　e-mail　s14102@ken.pref.kochi.jp

# こどもを川にもどす提言

清流通信「四万十川物語」の読者のみなさんこんにちは。

今回は、先頃出されました「こどもを川にもどす提言」についてお伝えしようと思います。

川で遊ぶ日が１年間に１０日に満たないこどもたちが約半数を占めるなど、四万十川流域でもこどもの川離れが進んでいます。背景には、川の汚れ、多忙な学校生活、水難事故への配慮など様々な要因があると考えられます。

時代を担うこどもたちが楽しい川の思い出とともに、豊かな感性や、自然環境への配慮を育んでいけることを願って、清流四万十川総合プラン２１推進委員会から、「こどもを川にもどす提言」が出されました。

提言では、

・こどもが遊ぶことのできる四万十川を大切にする（四万十川の価値の再確認）。
・四万十川で遊び、四万十川を愛するこどもを育てる。
・こどもの川遊びを見守る状況を作り出す。

を基本に、川の環境保全、川に触れる機会の確保などの具体策が示されています。

この夏も、流域の小中学生による一斉水質調査や自然生活体験キャンプなど、いくつもの活動が行われています。四万十川にはこどもを受け入れる水辺があり、川で遊ぶこどもの姿には人と川との理想的な関わりが残っています。この提言を実現するため、流域住民、学校、県や市町村等が力を合わせて、こどもの歓声が響く、美しく豊かな四万十川を残すための取り組みを進めていきたいと思います。

## 四万十歩行者天国

前章でもお伝えしましたが、四万十川流域の生活文化遺産としての「沈下橋」の魅力を体験していただくため、８月１４日に西土佐村の口屋内沈下橋を歩行者に開放する予定です。同日は口屋内ふるさと祭りも予定されております。　歩行者天国の時間帯は午前８時から午後１０時（ふるさと祭りは午後４時から）となっております。

なお、雨天の場合は、ふるさと祭りは中止させていただきます。

問い合わせ先：
高知県四万十川対策室　088-823-9795
西土佐村建設課　0880-52-1111（代）

## トピックス

○週刊[四万十](仮称)発刊

高知県中村林業事務所では、地域における「木の文化県構想」を推進するため、FAX、Eメール通信"週刊[四万十](仮称)"を発刊することにしました。　これは「木の文化県構想」について、様々な取り組みや情報をわかりやすい形にして、発信することを目的としています。　第1号は9月上旬発信の予定です。　ご希望の方は週刊「四万十」発行人　小味章秀　akihide_komi@ken3.pref.kochi.jp　FAX 0880-35-5585　までご連絡ください。

*次回（９月１０日発信）は『森は海の恋人植樹祭』を予定*

清流通信「四万十川物語」

第４３章（Ｈ１２．９．１０）

送信者：高知県四万十川対策室
tel(088)-823-9795　fax(088)-823-9296　e-mail　s14102@ken.pref.kochi.jp

# 四万十川の「清流度」

清流通信「四万十川物語」の読者のみなさんこんにちは。

今回は、前回予告いたしました『森は海の恋人植樹祭』の予定を変更して、四万十川の透明度の測定についてお伝えしたいと思います。

毎年行われています四万十川の水質測定結果を見ると、一般に川の汚濁度を示しているＢＯＤ(生物化学的酸素要求量：有機汚濁の指標）やＳＳ（浮遊懸濁物質量：にごりの指標）は概ね良好で、むしろ改善しているように見られます。しかし、こういった数値では、川の水の「きれいさ」を具体的に思い描くことが困難で、人間が感じる微妙な水質の変化に対応できていないのではないかと考えられます。

このため、四万十川対策室と高知県環境研究センターでは、清流を代表する四万十川の変化を把握するために、水平方向の透明性（清流度）に着目し、指標として採用できるかどうか、その測定はどうやればいいかなどを検討しています。これは「水に潜ったときに、何メートル先の魚が見えるか」をイメージしたもので、清澄度の高い水環境では、にごりのわずかな変化に対して、清流度が大きく変わる傾向があります。

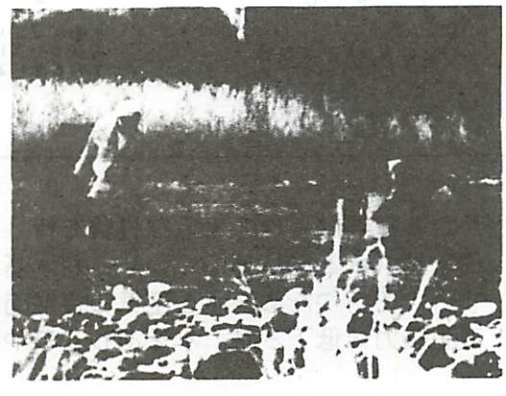
専門家のアドバイスや現地調査の結果をもとに、今年度中には指標としての安定性や測定方法について結論を出す予定です。

以下は７月11日に行った測定の例です。

**清流度及びＳＳ測定結果（H12年7月11日 測定）**

| 測定箇所＼測定項目 | | 清流度（メートル） 黒色板 | 清流度（メートル） 白色板 | ＳＳ (mg/l) |
|---|---|---|---|---|
| 四万十川 | 鍛冶屋瀬橋 | 3.0 | 3.7 | 1 |
| | 大正流量観測所 | 4.4 | 4.9 | 1未満 |
| | 橘 | 3.5 | 4.0 | 1 |
| | 具同*** | 2.0 | 2.4 | 2 |
| 目黒川四万十川合流前 | | 9.3 | 11.9 | 1未満 |
| 黒尊川四万十川合流前 | | 13.1 | 16.5 | 1未満 |

・四万十川（本川）の環境基準：ＳＳ　25mg/l以下
・この日の具同は、上流で何らかの人為的な影響を受けているのではないかと思います。



45度の角度で反射鏡を取り付けた測定装置を使って、川の中を水平方向に観測し、水中の黒色板や白色板が、何メートル先まで見えるかを測定

四万十歩行者天国

８月に開催された四万十歩行者天国は、ご好評のうちに無事終わることができました。誠にありがとうございました。

さて、今月２３日（土）にも四万十川流域の生活文化遺産としての「沈下橋」の魅力を体験していただくため、西土佐村の口屋内沈下橋を歩行者の皆様に開放する予定です。同日は火振り漁も行われる予定です。歩行者天国の時間帯は午前８時から午後１０時（火振り漁は午後７時頃から午後９時頃まで）となっています。

なお、雨天の場合は、火振り漁は中止となります。

問い合わせ先：
高知県四万十川対策室　088-823-9795
西土佐村建設課　0880-52-1111（代）

*次回（１０月１０日発信）は『森は海の恋人植樹祭』を予定*

第４４章（Ｈ１２．１０．１０）

送信者：高知県四万十川対策室
tel(088)-823-9795　fax(088)-823-9296　e-mail　s14102@ken.pref.kochi.jp

# 四万十川で見られる「あわ」

「四万十川物語」読者の皆様、こんにちは。
今回は四万十川で見られる「あわ」についてお知らせしたいと思います。

四万十川中下流域で、多数のあわが集合したものや筋状に並んだあわが流れる様子を目にすることがあります。「あわの発生は、家庭排水の洗剤が流れ込んでいるためではないか？」と懸念する声もあがっています。高知県環境研究センターが行った平成１０年４月から平成１２年４月までの調査の結果、原因物質として洗剤等の人工的な界面活性剤ではなく、水中の藻などから溶け出す「多糖類」が有力視されることがわかりました。これらの「あわ」の発生は自然のメカニズムが引き起こす現象と考えられること、また「あわ」の発生防止は困難であることなどから、今後はあわの正体を理解してもらうために、流域内外にこの情報を発信していきたいと考えています。

図１　あわ発生のしくみ

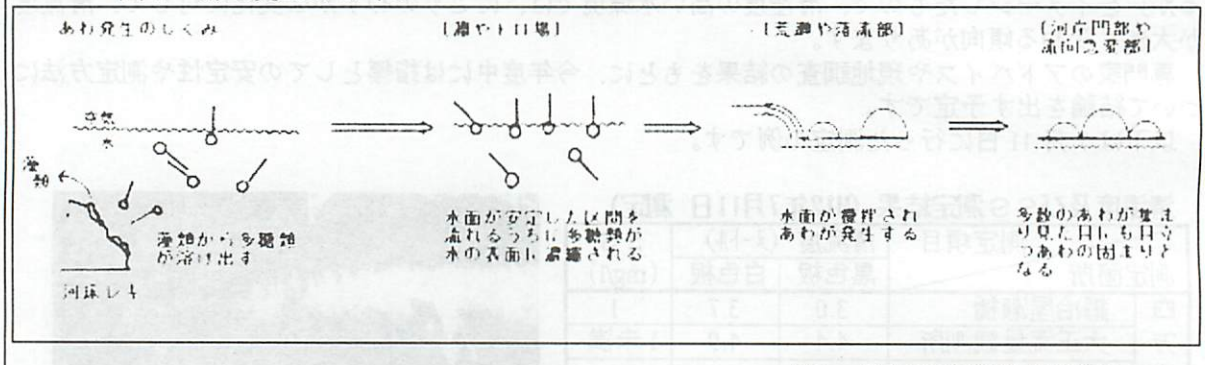
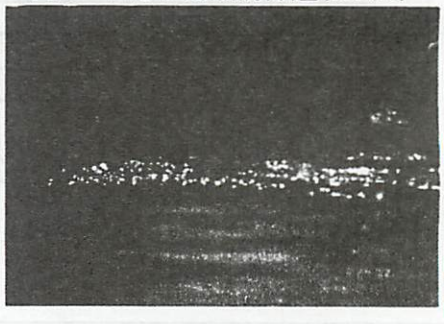



図２　中村市高瀬橋付近(H11.8)



☆うえの多糖類は、次のような性質を持っています。
・疎水基（水となじみにくい）と親水基（水になじみやすい）を持つため、水と空気の接触面に集まりやすい
・表面張力を低下させ、水をあわ立ちやすくする

淵やトロ場、荒瀬などは四万十川固有のものではありませんが、四万十川は河床勾配が緩やかで、長大なトロ場が存在するなどの特徴があるため、他の河川に比べてあわが発生しやすいと考えられています。

なお、現地調査の結果、黒尊川（四万十川の一次支川）上流部の清冽な水域をはじめ、上下流・本支川を問わず、水系全体であわの発生が確認されました。

トピックス

○第８回四万十川大学院開催

平成１２年１０月１４・１５日に大野見村で四万十川大学院を開催。１４日は女性が語る四万十川の未来「四万十川の美しさとその明日」、講演「人の勝手都合と魚たち－魚から見た四万十川－」１５日はワークショップ「みんなで考えよう！四万十川の未来」の開催が予定されています。

【問い合わせ先】
第８回四万十川大学院実行委員会事務局　　大野見村建設課　TEL.0889-57-2021（代）

*次回（１１月１０日発信）は『沈下橋の文化的価値』を予定*

清流通信「四万十川物語」
第４５章（Ｈ１２．１１．１０）
送信者：高知県四万十川対策室
tel(088)-823-9795　fax(088)-823-9296　e-mail　s14102@ken.pref.kochi.jp

# 四万十川のシンボル「沈下橋」

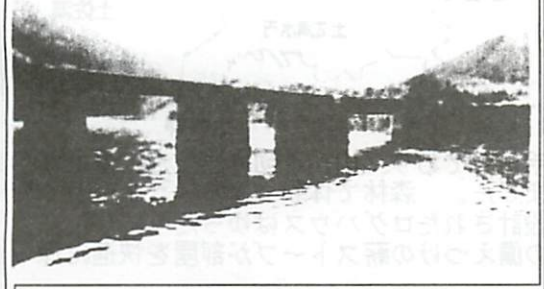
## ～一斗俵沈下橋、登録有形文化財に～

四万十川では秋が一層深まり、ところどころ紅葉も見られます。清流通信のみなさんは元気にお過ごしでしょうか。

四万十川のシンボルであり、流域の原風景を形づくる沈下橋。流域には４７の沈下橋があります。
今回は、１０月２０日に沈下橋としては全国で初めて、国の「登録有形文化財」に登録された「一斗俵（いっとひょう）沈下橋」をご紹介します。
「一斗俵沈下橋」は、四万十川流域に現存する最古の沈下橋で、昭和１０年に建設されました。中流域の窪川町一斗俵に位置し、窪川町中心市街地から上流に向かって車で１０分程のところにあります。
この沈下橋は、築後５０年を経過し、国土の歴史的景観に寄与していることから、有形文化財として登録されたものです。

橋の近くで商店を経営されている羽方日出男さん（８３才）に建設当時のお話を聞きました。建設前には、両岸を結ぶ渡し船があり、橋の建設とともに廃止されたそうです。また建設にあたっては、当時の役場からの支出だけではなく地元も相応の負担をしたこと、橋脚の水中での床堀は潜水夫が手作業で行っていたこと、工事現場で川に落ちた作業員には温めた豆腐がふるまわれた話などがありました。

羽方さんから、一斗俵沈下橋が人間だったらこんなこと言うんじゃないか、ということもお伺いしました。



わしは「一斗俵沈下橋」。戦前の昭和１０年に生まれ、今年で６５才になる。年金の代わりに「文化財」という表彰をもらったようなもんじゃ。
長さは６０．６ｍで幅は２．５ｍ。仲間のうちでは中くらいの大きさじゃ。作られて数年もしないうちに真ん中の足を大水にさらわれてしまって、しばらくは使いもんにならんかったが、戦争から帰ってきた人たちに修理してもらったんじゃ。
昔はわしの上をバスやトラックが走っていて、人や物がずいぶんと行き交ったものじゃ。が、孫みたいな橋がすぐ下流にできて、わしの役目は、子どもたちの水泳の飛び込み台や魚釣りの絶好のポイントになったんじゃ。そうこうしているうちに、面倒みきれんから壊そうという話がおこった。じゃが、わしと一緒に育った頃合いの者たちが、わしはこの地の文化そのものだから壊さず残そうと言ってくれたおかげで、命拾いしたわい。
仲間から聞いた話じゃが、沈下橋を渡って嫁いできた嫁さんが祝言をあげている最中、大雨が降ってきたんで、橋が水中に没するほど水かさが増える中、嫁さんの親戚連中が大慌てでわしの仲間の上を帰っていったこともあったそうな。わしが生まれてからいろいろあったもんじゃ・・・。

窪川町役場では、一斗俵沈下橋を地域おこしにも活用していきたいと話しています。沈下橋の保全と活用が、四万十川の保全と活用にも大きくつながっていくことを期待しています。

### 津野山（古式）神楽

毎年１０月末～１１月にかけて、梼原町と東津野村の津野山一帯の神社で奉納される踊りで、全てを舞納するには約８時間を要すると言われる勇壮な神楽です。
梼原町では「津野山神楽」、東津野村では「津野山古式神楽」と呼ばれており、いずれも国の重要無形民俗文化財です。

お問い合わせ先　梼原町役場　0889-65-1111
東津野村役場　0889-62-2311

*次章（１２月１０日発信）は『森は海の恋人植樹祭』を予定*

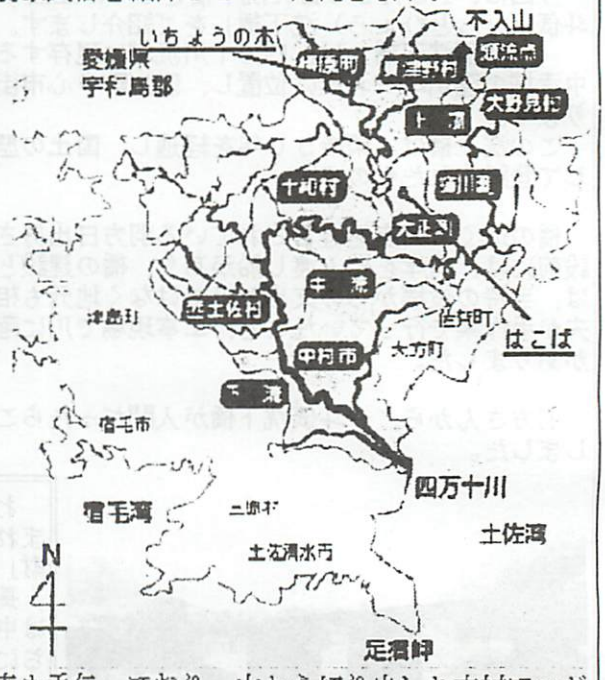
清流通信「四万十川物語」
第４６章（Ｈ１２．１２．１０）
送信者：高知県四万十川対策室
tel(088)-823-9795　fax(088)-823-9296　e-mail　s14102@ken.pref.kochi.jp

# 四万十川流域の農家民宿

## ～四万十川流域のグリーンツーリズム～

２０世紀も残すところわずかになりました。四万十川でも、夕方に日陰に入ると厚着なしではいられない季節となりましたが、清流通信の読者のみなさんは元気にお過ごしでしょうか。

四万十川流域では、今年２軒の農家民宿（民泊）がオープンしました。位置は四万十川の上流部の梼原町と中流部の大正町です。そこで、今回は農家民宿を紹介させていただきます。




まずは梼原町川西路にオープンした農家民宿「いちょうの木」から。川西路は周囲を山に囲まれた１５軒ほどの小さな集落。主の上田さん宅から隣の家までは１００ｍ以上離れており、「いちょうの木」からは、静かな野山が見渡せます。

農業を営まれている上田知子さんが梼原町川西路にご自宅の一部を改装した農家民宿を開いたのは今年の４月。山菜取りなど、季節に応じたさまざまな農作業の体験ができるほか、農作物を宅配便で送ってもらうこともできます。やさしい上田さんの人柄に惹かれて、２回・３回と訪れる方もいらっしゃるとのこと。

宿泊料金（１泊素泊まり：３，５００円）

一方、大正町にできた、農家民泊「はこば」について。中津川という４０世帯弱が住む集落にあり、中津川の集落に入る道の最後の角を曲がると、視界にログハウスが飛び込んできます。

農業と林業をされている田辺荘市さんが、森林のことをもっと知って欲しいとの思いから作られました。ご自身も農業の傍ら、森林組合の仕事も手伝っており、山から切り出した木材でログハウスを建設、農家民泊としてこの夏にオープンさせました。　森林で体験できるメニューづくりと広報活動が目下の課題ということですが、ご自身で設計されたログハウスはゆったりとした作りで、夏は川から吹き込む涼しい風が、また冬には室内の備えつけの薪ストーブが部屋を快適に保ってくれます。

宿泊料金（１泊素泊まり３，０００円）

上田さんは「人とのかかわりを大事にしたい」と言い、また田辺さんも「たくさんの方との出会いを楽しみにしています」と言われるように、お二人とも、農家民宿（民泊）を都市との交流の場として提供していきたいとおっしゃっておられました。

問い合わせは下記まで

農家民宿「いちょうの木」　上田知子（ともこ）様方　TEL:0889-65-0418
電子メール　siyaji@ps.inforyoma.or.jp　URL: http://www2.inforyoma.or.jp/~siyaji/
農家民泊「はこば」　田辺荘市様方　TEL:0880-27-5305
電子メール　hakobas@sun.inforyoma.or.jp

### Ｔシャツアート展作品募集開始

来年で第１３回を迎える、Ｔシャツアート展（大方町・入野の浜：砂浜美術館）の募集が始まりました。締め切りは２００１年３月１２日。応募料が１点につき３，５００円必要です。

応募者全員には自分がデザインしたＴシャツが６月に送られてきます。

お問い合わせは　０８８０－４３－４９１５　砂浜美術館事務局まで

「森は海の恋人植樹祭」は、来年３月に開催する予定で準備を進めています。

*次章（１月１０日発信）は『２１世紀へのコメント』を予定*

清流通信「四万十川物語」
第４７章（Ｈ１３．１．１０）
送信者：高知県四万十川対策室
tel(088)-823-9795　fax(088)-823-9296　e-mail　s14102@ken.pref.kochi.jp

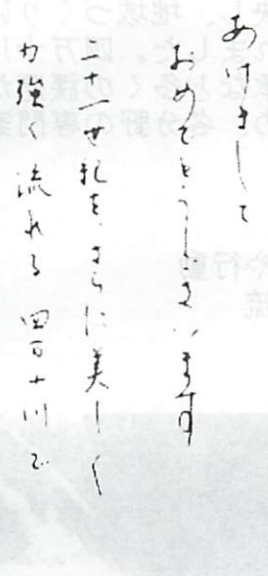
# ２１世紀へのメッセージ

～四万十川の２１世紀に向けて～

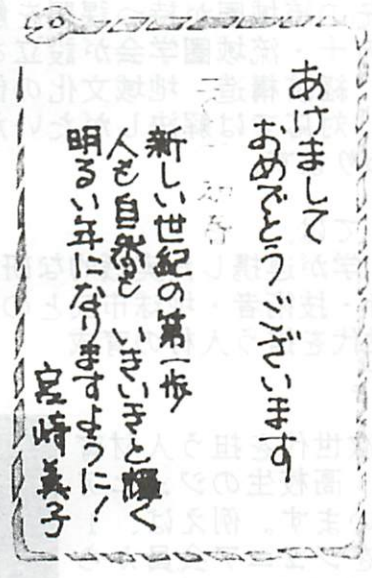
**新年あけましておめでとうございます。**

**21世紀最初の清流通信に、四万十大使の皆様からメッセージを頂戴いたしました。大使の皆様の四万十川に寄せる想いをご紹介させていただきます。**

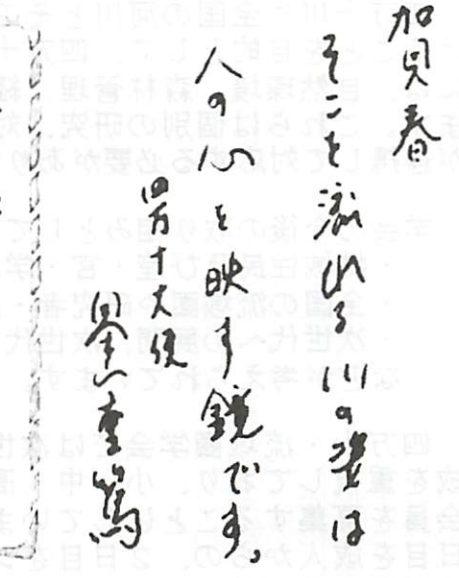
（歌人　俵　万智さん）

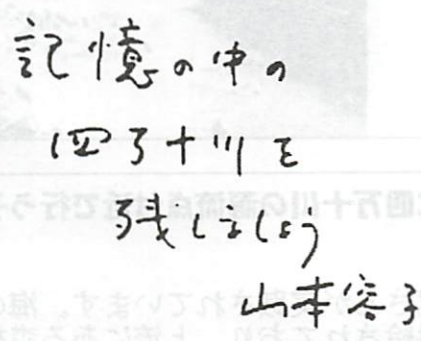



（女優　宮崎　美子さん）

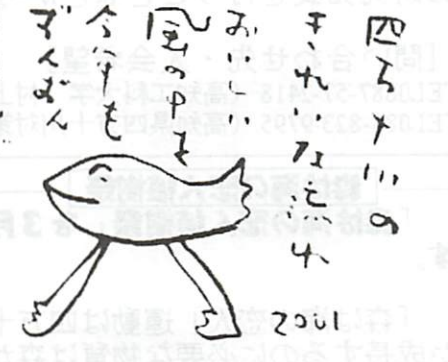



（森は海の恋人　畠山重篤さん）




（版画家　山本　容子さん）




（作家　椎名　誠さん）

**清流通信の読者の皆様へ**

**四万十川への御支援を、21世紀も引き続きよろしくお願い申しあげます。**
**大使の皆様にも心から御礼申しあげます。**

**高知県　四万十川対策室　一同**

*次章（２月１０日発信）は『四万十川植樹祭』を予定*

清流通信「四万十川物語」
第48号（H13．2．10）
送信者：高知県四万十川対策室
tel(088)-823-9795　fax(088)-823-9296　e-mail　s14102@kenpref.kochi.jp

# 四万十・流域圏学会設立

## ～四万十川をめぐる多分野の連携～

寒い日が続いていますが、清流通信の読者のみなさまは元気にお過ごしでしょうか。四万十川流域では、そろそろ花粉が飛ぶ季節になります。花粉症の方にとっては頭が痛い季節ではないでしょうか。

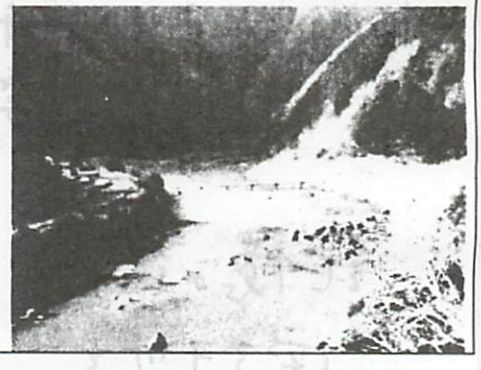
今回は、２月８日（木）に設立発起人会及び設立総会が行われました、「四万十・流域圏学会」についてお伝えします。

四万十川や全国の河川とその流域圏が持つ課題を解決し、地域づくりにつなげることを目的として、四万十・流域圏学会が設立されました。四万十川流域には、自然環境、森林管理、経済構造、地域文化の伝承など多くの課題があります。これらは個別の研究、対応では解決しがたいため、各分野の専門家などが連携して対応する必要があります。

学会の今後の取り組みとしては、
- ・地域住民及び産・官・学が連携した実践的な研究や行動
- ・全国の流域圏や研究者・技術者・地球市民との交流
- ・次世代への展開、次世代を担う人材の育成

などが考えられています。

四万十・流域圏学会では次世代を担う人材育成を重視しており、小・中・高校生のジュニア会員を募集することにしています。例えば、１日目を成人からの、２日目をジュニア会員からの研究発表を行うことなどが考えられます。



［問い合わせ先・入会希望］
TEL0887-57-2418（高知工科大学　村上研究室）
TEL088-823-9795（高知県四万十川対策室）

## 森は海の恋人植樹祭

**「森は海の恋人植樹祭」を３月２４日（土）に四万十川の源流点付近で行う予定です。**

「森は海の恋人」運動は四万十大使の畠山重篤さんが実践されています。海の生物が成長するのに必要な物質は森から川を通じて供給されており、上流にある森林がいかに重要であるかを植樹活動を通じて示されています。

また、下流の人に上流がどういう状況になっているのか、上流の人に上流での行動がどのような影響を下流に及ぼすのか、関心をもってもらうこともこの植樹祭の目的です。

**詳しくは次号で取り上げさせていただきます。**

*次章（３月１０日発信）は『森は海の恋人植樹祭』を予定*

四万十川対策室ホームページ：http://www.pref.kochi.jp/~shimanto/
財団法人四万十川財団ホームページ：http://www.shimanto.or.jp/

清流通信「四万十川物語」
第４９章（Ｈ１３．３．１０）
送信者：高知県四万十川対策室
tel(088)-823-9795　fax(088)-823-9296　e-mail　s14102@ken.pref.kochi.jp

# 森は海の恋人植樹祭

## ～源流点に大漁旗が！～

森は海の恋人。なんと素敵なフレーズなんでしょう。森が海の生き物たちを支えていることに気がついた漁師たち。山に木を植える活動が、全国に広がっています。海は川を通じて森とつながっています。健全な森が健康な海の生き物をはぐくみます。

昨年７月に開催しました「森は海の恋人意見交換会」に引き続き、大漁旗がはためく山で、広葉樹の植樹に参加しませんか。場所は東津野村の四万十川の源流点。

・名　　称　四万十版「森は海の恋人」＆自然再発見！四万十川源流点の森づくり合同植樹祭
・日　　時　平成１３年３月２４日（土）
　午前９時１５分集合（小雨決行）
・集合場所　東津野村船戸（元県立森林センター資材倉庫跡）
　（中村市・高知市・東津野村役場前から送迎バスがあります）
・植樹場所　四万十川源流点周辺（東津野村船戸）
・募集人員　１２０名程度（中学生以上：定員に達した場合締め切ります）

・参 加 料　無　料
・持参品等　作業に適した服装（防寒具、運動靴等）、雨具、鍬、鎌、弁当と飲み物（各自持参）
・バ　　ス　高知市から　：県民文化ホール前　午前８時出発
　中村市から　：中村市役所前　午前７時５０分出発
　東津野村から：東津野村役場前　午前９時出発
・申込締切　３月１９日（月）　※申し込みのとき、バス便を利用するかどうかお申し出ください。
・申 込 先　高知県四万十川対策室　（TEL088-823-9795,FAX088-823-9296）
　東津野村役場産業建設課（TEL0889-62-2314,FAX0889-62-3519）

## 四万十・流域圏学会、会員募集

**２月８日に設立発起人会及び設立総会が行われました四万十・流域圏学会では、会員を募集しております。**
**お問い合わせ先はTEL0887-57-2418（高知工科大学　村上研究室）かTEL088-823-9795（高知県四万十川対策室）です。興味がある方は是非ご入会ください。**
**なお、来年度活動として、まず５月１１日に第１回総会、研究発表会を、５月１２日に四万十川見学会を予定しております。**

*次章（４月１０日発信）は『対策から振興へ』を予定*

四万十川対策室ホームページ：http://www.pref.kochi.jp/~shimanto/
財団法人四万十川財団ホームページ：http://www.shimanto.or.jp/

# 添　付

四万十・流域圏学会 第５回 学術研究発表会 プログラム
（平成 17 年 5 月 28 日、高知高専）

四万十・流域圏学会会則

入会申込書

# 四万十・流域圏学会 第5回 総会・学術研究発表会の御案内

**期日：** 平成 17 年 5 月 28 日(土)
**会場：** 高知工業高等専門学校(南国市)図書館1階視聴覚教室
**交通：** 高知空港から徒歩 10 分

## 全体プログラム

5 月 28 日(土) 四万十・流域圏学会第5回総会・学術研究発表会：高知高専図書館1階視聴覚教室

| | |
|---|---|
| 8:30～ | 受付 |
| 9:00～ 9:05 | 開会挨拶〈高知高専校長： 藤田正憲〉 |
| 9:05～10:35 | 企画セッション：特別講演(1) 水と生物〈司会：石川妙子〉 |
| | ●福留脩文(西日本科学技術研究所・所長)：日本の近自然河川工法と生物の係わり |
| | ●島谷幸宏(九州大学大学院・教授)：河川の自然再生の考え方 |
| | ●花里孝幸(信州大学山地水環境教育研究センター・教授)： |
| | バイオマニピュレーション(生態系操作)による水質浄化 |
| 10:35～10:40 | 休憩 |
| 10:40～11:00 | 小学校の調査研究発表〈司会：石川妙子〉 |
| 11:00～11:10 | JICA 四万十研修生の紹介 |
| 11:10～12:00 | 総会 |
| 12:00～13:25 | 昼食、ポスターセッション： 図書館ロビー |
| 13:25～13:45 | 高校生の調査研究発表 〈司会：池田誠〉 |
| 13:45～14:45 | 一般セッション講演(1) 〈座長：松田誠祐〉 |
| 14:45～14:50 | 休憩 |
| 14:50～16:10 | 一般セッション講演(2) 〈座長：西森基貴〉 |
| 16:10～16:20 | 休憩 |
| 16:20～17:50 | 企画セッション：特別講演(2) 多自然型川づくりと流域圏 〈司会：福永泰久〉 |
| | ●石川愼吾(高知大学理学部・教授)：物部川下流域における河辺植生の変遷と自然再生の可能性 |
| | ●秋元建一(高知県文化環境部四万十流域振興室) ：四万十川における流域管理のあり方 |
| | ●吉川勝秀(日本大學理工学部・教授)：多自然型川づくりを越えて |
| 17:50～17:55 | 閉会挨拶 〈四万十・流域圏学会 会長： 今井嘉彦〉 |
| 18:30～20:30 | 懇親会 |

5 月 29 日(日) 9:00～12:00 ミジンコの観察とおもしろ話

県立牧野植物園(高知市五台山)に花里先生(予定)をお招きして、水中のミジンコのお話をして頂きます。花里先生の面白くて楽しいミジンコ話や、顕微鏡でみるミクロの世界を体験できます。なお、参加費は無料です(大人は入園料が必要です)。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

5 月 29 日(日) 8:30～17:00 多自然型川づくりの見学

四万十川における多自然型川づくりの現場を日帰りで見学できる源流コースと下流コースの 2 ルートを選択できます。各コースともに現場を知っている会員が同行し説明します。参加希望者は下記までお申し込みください。

①各コースの見学内容
・源流から中流コース：北川(落差工の改良、低水水制と置き石、ロードキル対策、木の香る道づくり)
四万十川・窪川町周辺(砲弾型水制工、ハイドロバリヤー水制工)
・中流から下流コース：四万十川・窪川町周辺(砲弾型水制工、ハイドロバリヤー水制工)
四万十川・中村市周辺(隠れ水制、護岸水制、トンボ公園)
②定員 各コース 8 名程度 高知県外の会員を優先し先着順とします。
③費用 6～8 千円程度(レンタカー代、高速道路料金、燃料代を参加者が負担)
④その他 *東京行きの最終便に搭乗できるようにします。中村市で下車することも可能です。*
担当：福永泰久(西日本科学技術研究所)、TEL. 088-884-5151、FAX. 088-884-5160、E-mail：fukunaga@ule.co.jp

**学術研究発表会の参加費他**

1)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
2)懇親会費は、一般・会員 5000 円、 学生(大学院生を含む)2500 円。会場へは送迎バスで移動。
3)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。

---

**四万十・流域圏学会第 5 回学術大会実行委員会 問い合わせ先：**
1) 四万十・流域圏学会 第 5 回学術大会実行委員会 実行委員長：山崎慎一
〒783-8508 高知県南国市物部 200-1 高知工業高等専門学校 建設システム工学科
Tel/Fax. 088-864-5671、E-mail：syama@ce.kochi-ct.ac.jp
2) 四万十・流域圏学会 総務委員会 委員長：村上雅博 ＜発表申し込み、要旨＞
〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮の口 185 高知工科大学 工学部・フロンティア工学コース
Tel. 0887-57-2418, Fax. 0887-57-2420, E-mail: murakami.masahiro@kochi-tech.ac.jp

# 四万十・流域圏学会 第5回 学術研究発表会 プログラム
## 平成17年5月28日(土) 高知高専図書館1階視聴覚教室

8:30～　**受付**

9:00～ 9:05 **開会挨拶** 〈高知高専校長: 藤田正憲〉

9:05～10:35 **企画セッション:特別講演(1) 水と生物** 〈司会:石川妙子〉
●福留脩文(西日本科学技術研究所所長):日本の近自然河川工法と生物の係わり
●島谷幸宏(九州大学大学院教授):河川の自然再生の考え方
●花里孝幸(信州大学山地水環境教育研究センター教授):
バイオマニピュレーション(生態系操作)による水質浄化

10:35～10:40 **休憩**

10:40～11:00 **小学校の調査研究発表** 〈司会:石川妙子〉
10:40～11:00 奈路川の環境調査 (南国市立奈路小学校 4・5年生)

11:00～11:10 **JICA四万十研修生の紹介**

11:10～12:00 **総会**

12:00～13:25 **昼食、ポスターセッション**: 図書館ロビー
P-A1 四万十川の河川調査
*田井一也, 古谷誠, 吉村匠 (高知県立窪川高等学校)*
P-B1 2004年の台風に伴う四国地方の豪雨特性
*○足立真吾(愛媛大学大学院連合農学研究科), 松田誠祐(高知大学農学部)*
P-B2 SUSTAINABLE WATER RESOURCES AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN PAKISTAN
○Asif Mumtaz & Masahiro Murakami (Kochi University of Technology
P-B3 WATER RESOURCES ASSESSMENT OF JORDAN
*○Sahar Dalahmeh* and Masahiro Murakami**
P-B4 半閉鎖水域の雨水調整池における水質特性
*○亀田千明(高知工科大学大学院)、村上雅博(高知工科大学)*
P-B5 道路緑化における大気浄化効果の検証
*○寺田 佳将(高知工科大学大學院)、村上 雅博(高知工科大学大学)*
P-B6 平成16年の台風と土佐湾沖海水面温度について
*○大家英一(高知工科大学大学院)、 村上雅博(高知工科大学)*
P-B7 四万十川流域における面源からのBOD,TN,TPの流出特性に関する調査
*○谷脇基文、山崎慎一(高知高専)、間可幸代、藤原拓、大年邦雄(高知大学)*
P-B8 動物系(二枚貝)食物連鎖による植物プランクトン(アオコ)抑制と水質浄化実験
*○渡部康志、村上雅博 (高知工科大学)*
P-B9 ベトナム・サイゴン川河口デルタ地帯のマングローブ林エコ・ツアー
*○千頭麻子、村上雅博 (高知工科大学)*
P-B10 石土池に関する周辺住民意識調査アンケートの結果と考察
*○梅津靖弘(高知工科大学)、亀田千明(高知工科大学大学院)、村上雅博(高知工科大学)*
P-B11 高知県安芸郡芸西村の和食ダム建設事業とそれに伴う住民アンケート調査について
*○小野正人、梅津靖弘、田中佑紀、山崎美子、渡部康志、村上雅博(高知工科大学)*
P-C1 四万十川条例に基づく住民意識調査
*○西村光寿(高知県文化環境部四万十川流域振興室)*
P-C2 自然の水音と人工的な水音の比較 - 近自然河川工法の音の検証 -
*○福永健人((株)西日本科学技術研究所)、豊島照雄(同左)、筒井郁夫(同左)、小松豊(同左)*
P-C3 挿し木によるネコヤナギの繁殖試験
*○福永秦久((株)西日本科学技術研究所)、甲斐隆宏・井上哲(国土交通省)*
P-C4 音波探査記録からみた四万十川河川感潮域における淡塩境界の動態
*井内美郎(愛媛大学沿岸環境科学研究センター)、○井上卓彦(愛媛大学理工学研究科)、徳岡隆夫(㈲徳岡汽水環境研究所)、吹田歩(㈲徳岡汽水環境研究所)、中原知明(愛媛大学理学部)*

13:25～13:45 **高校生の調査研究発表** 〈司会:池田誠〉
13:25～13:45 四万十川の河原に見られる石の白化現象について
*佐々木亮、中脇里紗、藤田将平、山本真佑良 (高知県立四万十高校)*

13:45～14:45 **一般セッション講演（1）** 〈座長：松田誠祐〉
13:45～14:05 水田コンパートメントを組み込んだ POPs の動態予測モデルの構築
○*西森基貴・魏永芬・小原裕三(農業環境技術研究所)*
14:05～14:25 第三紀末から第四紀に形成された沖積平野の水理地質的考察 —アジア各地の沖積平野の比較検討の事例—
○*辻和毅（不二グラウト工業）*
14:25～14:45 コロンビア国ボゴタ首都圏の水道事情
○*中村篤(宇部市水道局)、村上雅博(高知工科大学)*

14:45～14:50 **休憩**

14:50～16:10 **一般セッション講演（2）** 〈座長：西森基貴〉
14:50～15:10 四万十川の塩水遡上と超音波を用いた観測法
○*井上卓彦(愛媛大学理工学研究科)、中原知明(愛媛大学理学部)、徳岡隆夫(㈲徳岡汽水環境研究所)、吹田歩(㈲徳岡汽水環境研究所)、井内美郎(愛媛大学沿岸環境科学研究センター)*
15:10～15:30 家畜ふん尿の堆肥化と農地への広域配分がもたらす四万十川水質の改善効果
○*吉田正則、吉川省子(近畿中国四国農業研究センター)*
15:30～15:50 シカによる食害跡地の森林再生とおおどう大道マツの再生
－四万十川森林環境保全ふれあいセンターにおける自然再生の取組－
○*中島 章文(林野庁 四万十川森林環境保全ふれあいセンター)*
15:50～16:10 四万十川流域圏の環境共生社会システム・モデルに関する研究
*末武透(あずさ監査法人)、中村州男(NPO情報化ユートピア)、○池田誠(東洋大学)*

16:10～16:20 **休憩**

16:20～17:50 **企画セッション：特別講演(2) 多自然型川づくりと流域圏** 〈司会：福永泰久〉
●石川愼吾(高知大学理学部・教授)：物部川下流域における河辺植生の変遷と自然再生の可能性
●秋元建一(高知県文化環境部四万十流域振興室)：四万十川における流域管理のあり方
●吉川勝秀(日本大學理工学部・教授)：多自然型川づくりを越えて

17:50～17:55 **閉会挨拶** 〈四万十・流域圏学会 会長： 今井嘉彦〉

18:30～20:30 懇親会

# 四万十・流域圏学会会則

## 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、５月１日から翌年４月３０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。

*会費振込先：　郵便振替　01670-7-3731 四万十・流域圏学会　または、銀行口座　四国銀行下知支店　普通預金0387519四万十・流域圏学会　会計　福永秦久*
*お願い：　領収書は発行いたしませんので、振込みの控えを保存して下さい。*

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

# 入 会 申 込 書

四万十・流域圏学会会長 様

平成　　年　　月　　日

氏名：

住所：

| | | | |
|---|---|---|---|
| 連絡先住所（　自宅　・　勤務先　）<br>〒＿＿＿＿＿＿<br>Tel:＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿Fax:＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿<br>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

# 編集後記

学会誌第４巻第２号が，完成しました。今号は、「地下水・流域住民意識」の特集を組みました。

「地下水」関連として、論文「日本の地下水法制と地下水盆管理」、技術ノート「総合貯蓄モデル(SSM)に関する技術ノート（パート１）」、報告論文「コロンビア国ボゴタ首都圏の水道事情」、「流域住民意識」関連として、調査報告「四万十川条例に基づく住民意識調査」、投稿論文「高知県和食ダムプロジェクトと住民意識・合意形成について」「高知県南国市石土雨水調水池の自然再生計画について」を掲載しました。

流域圏の活性化を目指すには、現場把握と地域住民の意識の実態が連動していかなければなりません。ギャップをどう埋めていくのかも課題となります。そのため、両者の実態調査は、不可欠だと言えます。

また、四万十ユースセッションとして招待論文「四万十川の河原に見られる石の白化現象について」を掲載しました。四万十通信は、第 37 章～第 49 章を掲載しました。

本特集は、今後の流域圏の将来を見据える意味においても、重要なテーマ設定であったと言えます。流域住民が活性化への取り組みとして「何を求めているか、求めていないか」現場の状況に対して「何について不満か、そうでないか」など、自然環境のみならず、文化環境・社会環境の視点からも検討していく必要性を感じました

（橋尾直和）

We Love "SHIMANTO"

2005.4

■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 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ノ口185
TEL:0887-57-2418　FAX:0887-57-2420
E-mail:murakami.masahiro@kochi-tech.ac.jp