四万十・流域圏学会誌

第8巻　第1号

We Love "SHIMANTO"

2008
December

四万十・流域圏学会誌　第8巻 第1号（2008）

目　　次

巻頭言

「最後の清流のいま」

大原 泰輔（四万十・流域圏学会、監事、まちづくり専攻建築士）……1

招待論文＜解説＞

地球温暖化の話

近藤 純正（東北大学名誉教授）……3

解説

氾濫原と魚の話

山下 慎吾（空間生態研究所）……15

総説

地球温暖化の地域総合的な影響評価への取り組み

－高知県における豪雨災害と農業生産の視点から－

西森 基貴（(独)農業環境技術研究所大気環境研究領域）……23

論文(原著)

年輪幅の解析結果を利用して復元した樫原の５月の最高気温年々変動

武市 伸幸（ヤマトスタッフサプライ）……29

熱帯モンスーン地域における地下水と第四紀最新期の海水準変動

辻 和毅（ベクトル(株)）……35

おしらせ

四万十・流域圏学会 第９回総会・学術研究発表会（平成21年６月６日）の案内

山崎 慎一（四万十・流域圏学会第９回大会実行委員会委員長）……45

四万十・流域圏学会誌 新投稿要領（原稿書式フォーマット）

四万十・流域圏学会・編集・出版委員会……53

添付

四万十・流域圏学会・会則……60

四万十・流域圏学会・役員リスト……63

委員会……64

会員募集のご案内……65

入会申込書……66

四万十・流域圏学会誌・新執筆要領（投稿論文サンプル）……67

編集後記……70

四万十・流域圏学会　賛助会員……71

[四万十・流域圏学会誌　第８巻　第１号　1-2　2008]

＜巻 頭 言＞

最後の清流のいま

大原泰輔*

出だしから苦言で申し訳ないが、四万十を冠するこの学会が四万十川流域圏で開催されないのは何故だ？との声が流域に住む会員の中にある。総会の開催や学会員の来訪をお待ちするという不純な動機を言外に込めながら、初夏の四万十川下流域の情景をご紹介するところから話しを始めよう。

四季それぞれに風情のある四万十川だが、中でも五月は活き活きとした姿を見せる。河川敷に茂る柳林には緑の風が吹き渡り、ウグイスは幡多弁で「ほぉー、よぉー来たにゃあ」と歓迎の一声。姿を見せぬままホトトギスが鳴き、オオヨシキリは朱色の口中を陽光にきらめかせて囀る。

アユ（地元ではアイ）は苔を盛んに食んで香りを強める。イタドリ（地元ではイタヅリ）も漬かった頃、上りのカツオも最盛期。なにかと美味しい季節でもある。イタドリは隣接県の方々から「こんなもん高知の人は喰うんか？」と怪しまれるのだが、油揚げと煮てしばしば食卓に上る。小口に刃を入れて水に放てば小さな水車となる。子どもの良い遊び相手であったのだが、この頃は換金商品「山菜」に格上げされた。挙げ句は「お兄ちゃん、採らんとおってや」の声、嘆かわしい世の中になった。

さて、アユは激減した。1981 年から 1992 年までの四万十川におけるアユの漁獲量は平均 900 トン/年。昨今のアユの単価は 7,000 円/kg だから、現在価値で毎年 63 億円相当が獲れた。最近では 100 トンを割る年が多い。親戚の川漁師と話しながら、その原因は「一に砂利採取、二に山林荒廃、三に乱獲」と推定する。それぞれに複雑な背景があるのだが、ここでは砂利について述べる。

春先に海岸からの遡上を始める稚アユは小石や栗石の表面を舐めながら、また身を隠しながら成長し、中流の大石に縄張りをつくる。夏、水面がお湯になっても深い砂利をくぐり抜けた底水は冷たく、アユにも子どもたちにも心地よい。川にたっぷりとした砂利があってこそ良質なアユが育つ。下流では産卵床でもある。

資料が揃っている 1968 年から禁止された 2000 年まで、国と県の許可総量は 1,000 万 m^3 を越える。先代の川漁師は、「(業者から) たいちゃ飲ましてもろうた」と自嘲しながら、「深掘りした砂利は地圧を解かれて体積を大きく増やす。民有地の自然堤防でも掘りまくった。許可量の数倍が掘り採られたのは間違いない」と話していた。

流域の発電用ダムや砂防ダムなどに堆砂となって止められている土砂も 1,000 万 m^3 ある。供給を 1,000 万 m^3 減らされ、採掘で 2,000 万 m^3 が持ち去られたとして、四万十川は戦後の半世紀で 3,000 万 m^3 の砂利を失ったと推定される。また、家地川ダムより下流の河道面積は 20km^2 と見積もられるから、単純計算すれば中下流の河床は 1.5m 低下したことになる。ご希望があれば、その数字を示す場所をご案内できる。

それにしても、ダムなどから堆砂を上手に採取する方法はないのだろうか？ダムの寿命を延ばし、流域の安全性を向上させる。川砂は高級骨材で、いま 8,000 円/m^3 もする。挑戦に値するだけの経済効果が見込まれる。ダム底からの採取量の半分を下流に流してくれれば、川が生き返るかもしれない。河原から採取する技術は半世紀も前に完成していた。技術の怠慢と思わざるを得ない。

次いで海砂の話に移ろう。高知県は海砂 100 万 m^3（平成 20 年度）の採掘を許可しているが、四万十川河口に近い海域も採掘地である。

砂や砂利は固体だが、水と一緒に動く流体としても振る舞うようだ。洪水のたびに河原がガラッと姿を変えることを知っている川ガキには納得できる話だ。掘削されて大きく窪んだ底に向かって、その傷を埋めるように砂利は移動する。海底が掘られれば上位にある海岸から砂利が移動し、その結果低くなった海岸には河川から砂利が流れ込む。こんな図式で海砂の採掘は川底を痩せさせていく。理由は異なるが、瀬戸内の数県では海砂採取が禁止になった。代替骨材の目処も立っているという。

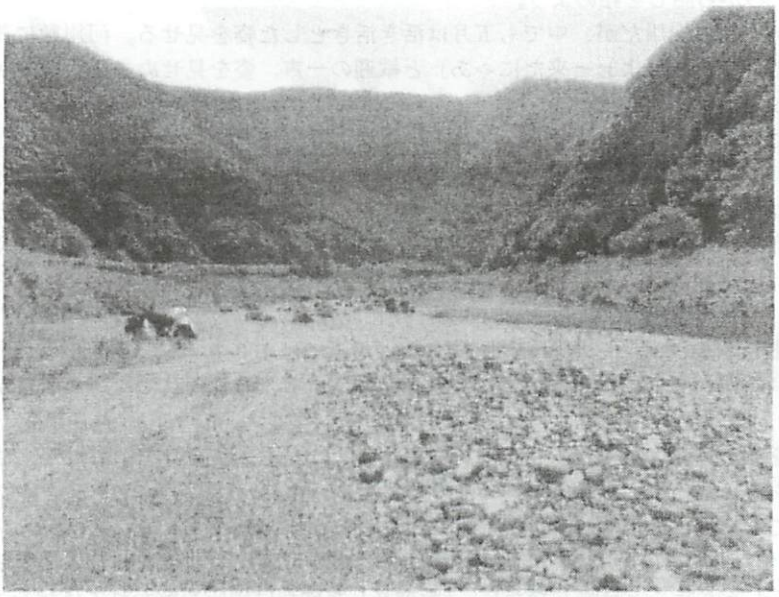
以下、話しの締めくくりとして、私の専門分野から。

コンクリートの中で骨材が占める割合は体積比で 60%ー70%。1m^3 のコンクリートには 0.6m^3 ほどの砂利が含まれている。また、マンション 1m^2 を建てるのに使われるコンクリートはほぼ 1m^3 だから、70m^2 のマンションに使われる骨材は 70×0.6≒40m^3 となる。四万十川で採掘された 1,000 万 m^3 の砂利で 25 万戸、ざっと 100 万人の住居を四万十川は提供してきたことになる。

かつて都市集中を手助けした四万十川は、いま自らが滅びゆく。私はそんな四万十川に育てられ、都市に住む建築士である。罪は深い。

---

*四万十・流域圏学会、　監事、まちづくり専攻建築士



［四万十・流域圏学会誌　第８巻　第１号　3－14　2008］

＜解　説＞

地球温暖化の話

近藤　純正*

1. はじめに

人間の活動が盛んになり、石油・石炭などの消費により大量の二酸化炭素が排出されるようになってきました。その結果、地球の気候が温暖化し、異常気象と災害の頻発が心配されています。「地球の温暖化」はなぜ起きるのか、その仕組みについて学ぶことにしましょう。本論は 2004 年 9 月 18 日、高知市で一般向けに講演した内容に補足したものです。

2. 問題のおこり

大気中の二酸化炭素（CO2：炭酸ガス）の濃度が増加すると、地球の気温が上昇するだろうということはかなり以前から言われていましたが、 1956 年のこと、プラスという学者が、大気中の二酸化炭素が 2 倍になると地球上の平均気温は 3.8℃上昇すると発表しました。これは具体的な数値でありますので、この問題に関心が高まってきました。　さて、ハワイ諸島には西からカウアイ島、オアフ島、モロカイ島、マウイ島、そして東の端には一番大きなハワイ島が並んでいます。ハワイ島は地図では小さく見えますが、四国の５５％ほどの面積でありながら、マウナケア（標高 4206m）とマウナロア（標高 4171m）がそびえています。北側のマウナケアには有名な天体観測所があります。山頂は空気が澄んでいて観測に向いており、世界の天体観測所が集まり、日本の「スバル天体観測所」もあります。最近は観光ツアーも行なわれているそうです。

他方、南側のマウナロアの中腹、標高３４００ｍのところにはアメリカ海洋大気局の観測所があります。私は２０数年前に、この観測所に行ったことがあります。ここでは、大気中の二酸化炭素（ＣＯ２）濃度の測定が昭和３３（１９５８）年から開始されました。この観測は米国人化学者チャールズ・キーリング博士の提唱によるものです。石油や石炭などの消費が急激に進んだ２０世紀前半には、大気中のＣＯ２の増大が心配されだしたので、それを実証するための十分なデータを蓄積しなければなりません。ＣＯ２濃度を正確に知るには、人間活動から遠く離れた場所で観測を続ける必要があり、マウナロアが選ばれたのです。

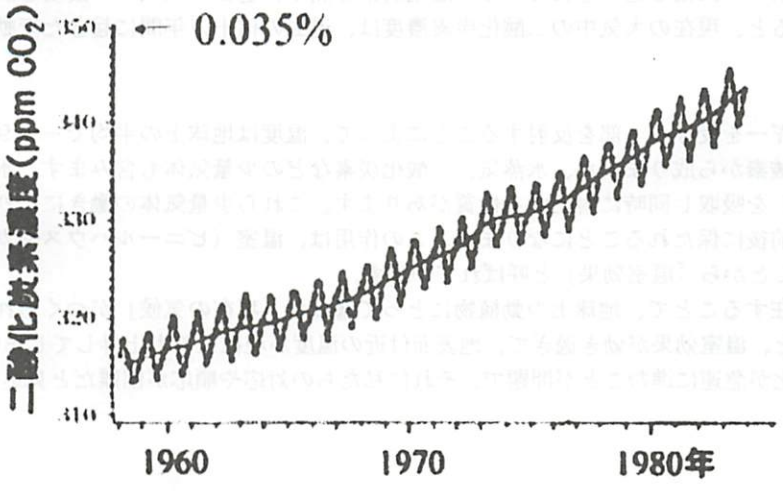
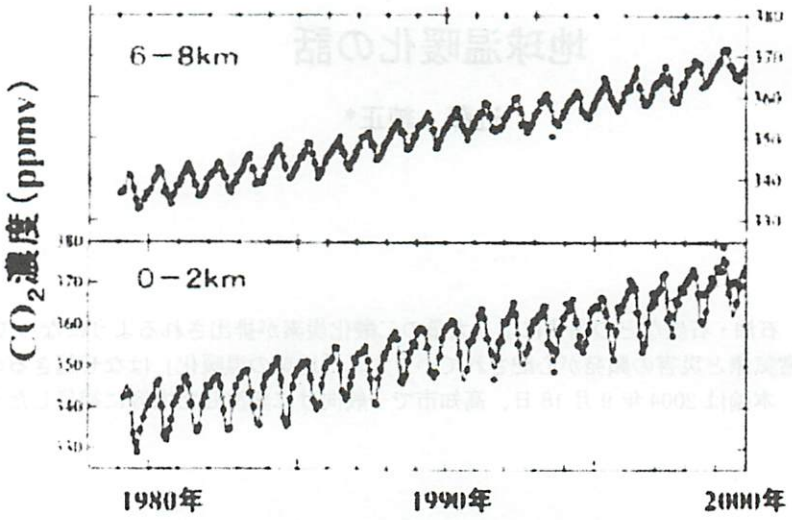


図１ ハワイ島マウナロアで観測された二酸化炭素濃度の年々変化（キーリングによる観測）

図１の観測記録を見ると、ＣＯ２濃度は冬にやや上昇し、夏にやや下降する季節パターンを繰り返しながら、全体として着々と増大していることが分かり、世界中の学者から大きな注目が集まりました。地球温暖化の話題は最近では、一般の人々にも広まってきました。

* 〒254-0054 神奈川県 平塚市 中里 49-6（東北大学名誉教授、高知県いの町出身）



出典：近藤純正著「地表面に近い大気の科学」東京大学出版会、図7.3、より転載
（Nakazawa et al., 1993, に加筆、中澤高清教授のご好意による）

図2 日本上空における二酸化炭素濃度の年々変動

東北大学では民間の航空機定期便に測器を積み込んで、地上から上空までの二酸化炭素の濃度を定期的に測っています。私の主な研究テーマは太陽エネルギー、大気放射、地面と大気の間で交換される熱エネルギーや水蒸気の流れを調べることが主でして、二酸化炭素の観測を担当したことはありませんが、現在では中澤高清教授が中心となり観測を継続しています。図2を見ても、二酸化炭素は上空でも確実に増加していることがわかります。

いまでは世界中の主要な地点で大気中の二酸化炭素の濃度が観測されるようになりました。南極では太古の昔から積もった雪が圧縮されて、氷の大陸を形成しています。その氷の中には、昔の大気中に含まれていた二酸化炭素が閉じ込められています。ボーリングをして氷の中に閉じ込められている二酸化炭素を測り、過去の大気中の濃度を調べることも行なわれています。その結果と比較すると、現在の大気中の二酸化炭素濃度は、過去の何十万年間に起きた変動幅をはるかに上回り、急速に増加しています。

地球は太陽からのエネルギーを受け、一部を反射することによって、温度は地球上の平均で－１９℃に保たれることになります。大気は主に窒素と酸素から成りますが、水蒸気、二酸化炭素などの少量気体も含みます。水蒸気や二酸化炭素などは赤外線（目には見えない）を吸収し同時に射出する性質があります。これら少量気体の働きにより、地球の表面近くは、－１９℃より高温の１５℃前後に保たれることになります。この作用は、温室（ビニールハウスやガラス張りの温室）内が高温になることに似ていることから「温室効果」と呼ばれています。

水蒸気や二酸化炭素が存在することで、地球上の動植物にとって適度な「現在の気候」がつくられているのです。ところが二酸化炭素が増えすぎると、温室効果が効き過ぎて、地表面付近の温度が現在よりも上昇してしまいます。これが「地球の温暖化」なのです。温暖化が急速に進むことが問題で、それに私たちの対応や順応が困難だと見込まれるからです。

3. 地球の温度の決まり方

「温室効果」や「地球の温暖化」を理解する前に、現在の地球の温度はどのようにして決まるか、学んでおきましょう。

地球は太陽から受けるエネルギーの大きさによって、その温度が決まります。太陽光線に垂直な面積１平方メートルにつき１３６０ワットのエネルギーが地球に注がれています。もし、地球が回転せず大気も動かずに、同じ昼半球が太陽の方に向いたままだとすれば、太陽直下の地域は１２０℃になります。また、夜半球に近い地域は太陽光線が斜めに入るので受け取るエネルギーは少なく低温になります。昼半球を平均すると５８℃になります。いっぽう、夜半球は限りなく低温に近づいていきます（図3）。

今度は地球が自転する場合を考えてみましょう。地球には大気があり、熱的な慣性をもっていて、夜になっても急速には冷えないので、仮に昼夜の温度が一定として計算してみます。最初に、地球が黒くて、太陽エネルギーを反射しないとします。つまり、1平方メートル当たり３４０ワット（地球全表面積の平均値＝１３６０ワット÷４）を受け取る場合を想定します。

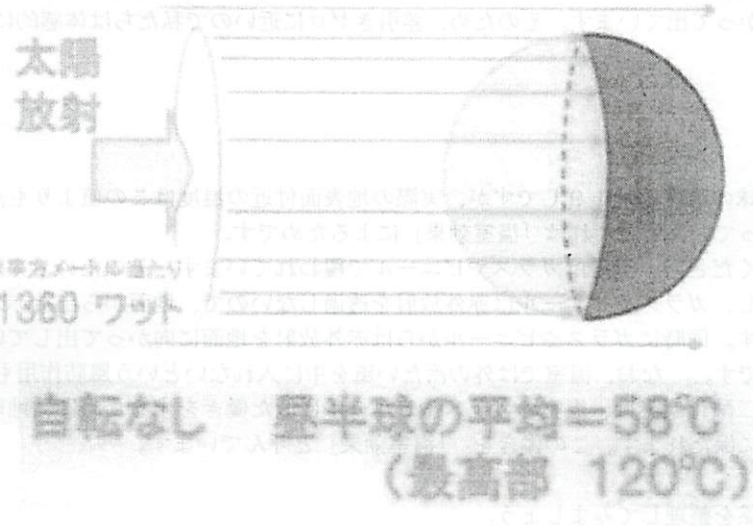


図３ 地球の同じ半球が太陽の方向に向いたままだと仮定したときの地球の温度の説明図

公式によれば、球の表面積は断面積の４倍であることから、１３６０を４で割り算して３４０ワットが出てきました。地球が全球面の平均値で３４０ワットを受け取る場合、「平衡になる地球の温度」は５℃になります。今度は現実の地球を考えてみましょう。地球上には雲があり、また氷で覆われた地域や砂漠などがあり、太陽エネルギーの３０％は反射されています。したがって残りの７０％が地球に取り込まれています。すると、地球の昼夜・全面積で平均すると１平方メートル当たり２３８ワット（＝340×0.7）のエネルギーを取り込んでいることになります。1平方メートル当たり太陽エネルギーが平均２３８ワット注がれていれば、「平衡になる地球の温度」は－１９℃ となります（図４）。この値は大気と地球表面を平均した温度を意味しています。宇宙から地球を観測すると、実際に－１９℃が得られます。

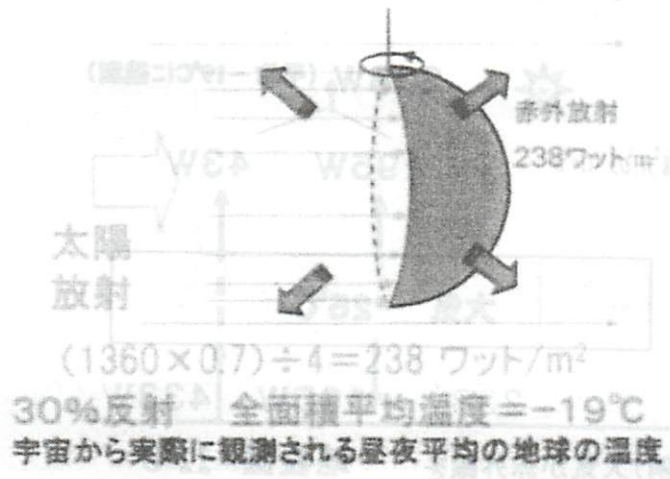


図４ 太陽エネルギーの30%を反射する場合の地球の温度の説明図

上述の「平衡になる地球の温度」のことを説明しておきましょう。地球は太陽エネルギーを受けると温度が上昇していきますが、地球自体はその温度に応じた赤外放射を宇宙に向かって放出します。地球から２３８ワットを放出すれば平衡になるわけで、その温度が－１９℃というわけです。赤外放射量は温度が－１９℃なら２３８ワット、５℃なら３４０ワット、２０℃なら４１９ワット、１２０℃なら１３６０ワット放出します。

赤外放射は目に見えないので、普段は感じないのです。皆さんも体温に応じて赤外放射を出しています。また、部屋の壁からも赤外放射が私たちに向かって出ています。そのため、差引きゼロに近いので私たちは体感的には気付きません。

4. 温室効果とは

地球の表面と大気を含む地球の温度は－１９℃ですが、実際の地表面付近の温度はこの値よりも高温になっており、逆に上空の大気は非常に低温となっています。これは「温室効果」によるためです。

みなさん、温室を想像してください。温室はガラスやビニールで覆われています。そのため、太陽エネルギーは透過して温室内へ入ってきます。しかし、ガラスやビニールは赤外放射を透過しないので、地面から出た赤外放射は温室の外へは出て行かず吸収されてしまいます。同時にガラスやビニールからは赤外放射を地面に向かって出しています。その結果、温室内は高温に保たれているわけです。　なお、温室では外の冷たい風を中に入れないという風防作用も重要です。

大気中に含まれる水蒸気や二酸化炭素は、温室のガラスやビニールに似た働きをするために、地球の表面近くの温度は高温に、逆に上空の大気は低温に保たれます。この働きを 「温室効果」と呼んでいます。

「温室」と「地球」の対応関係を整理してみましょう。

○温室が高温になる理由：
（１）ビニールやガラス板は太陽放射を透過するが、
（２）温室内から出る赤外放射（目には見えない）を吸収し、外へ出るのを防ぐ。
（３）ビニールやガラス板は、その温度に応じた赤外放射を出し温室内を温める。
（４）風防効果により、風を防ぎ冷気を入れない。

○地球の表面付近が高温になる理由：
（１）大気は太陽放射量の大部分を透過する。
（２）大気中の水蒸気、二酸化炭素などは地表面から出る赤外放射を吸収する。
（３）同時に、水蒸気、二酸化炭素などは地表面に向かって赤外放射を出し、地表面を温める。

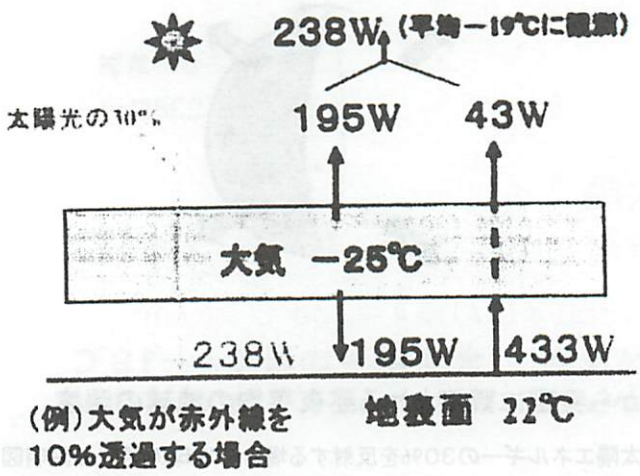


図５ 大気が赤外放射を 10%透過する場合の温室効果の説明、地表面温度＝22℃、大気の温度＝－25℃となる

現実の大気による温室効果の正確な計算は複雑になりますので、単純なモデルについて計算してみます。結果は図 5 に示してあります。このモデルでは、大気は太陽エネルギーを完全に透過し、赤外放射を９０％吸収、残りの１０％を透過するとした場合です。この場合には地表面温度は２２℃、大気の温度は－２５℃で平衡となります。

この場合、図 5 に示すように、地球に入る太陽エネルギーは面積平均値で２３８ワット。いっぽう赤外放射として宇宙へ出ていくエネルギーも２３８ワット（＝１９５＋４３）です。ちょうど収支量が等しくなっており平衡状態が保たれることになります。

温室効果は大気中の水蒸気や二酸化炭素などが赤外放射を吸収し、同時に赤外放射を射出する性質によって起きるのです。大気の成分は主に窒素と酸素から成りたち、少量気体の水蒸気は 0.5%程度、二酸化炭素はさらに少なく 0.03～0.04%ほどしか含まれていません。そのほか、オゾン、メタン、フロン、亜酸化窒素など極微量の気体によって温室効果が起きているのです。われわれ地球に住む動物植物にとって、温室効果はなくてはならないものなのです。

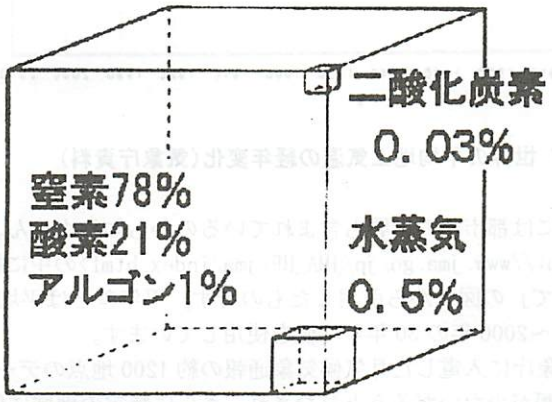


図 6 大気成分の割合、大部分は窒素と酸素から成る

温室効果がまったく無いとすると地球の平均気温は、上述した値－１９℃となるのです。現在の地球の気候は温室効果によるものです。近年、問題となっているのは、人間の活動で二酸化炭素などが急激に増えており、温室効果が強くなり過ぎて地球の気候が変わってしまうことが心配です。温室効果を生む気体は、人間に例えれば薬のようなもので、適量ならば健康を維持できるのですが、多量に服用すると体調異常となり、死んでしまう場合もありますね。

5. 気温は上昇しているか？

大気中の二酸化炭素の濃度は確実に増加しています。そのため「温室効果」が強まるのですが、地球の気象・気候は単純ではないのです。気温が上昇すると、水蒸気量も増え、ますます温室効果が強くなり温暖化が進みます。また、温暖化によって極地方を覆う氷や雪が減少すると、太陽光の吸収量が増え、地球はますます温暖化してしまいます。

一方、対流活動が盛んになり雲が多くなると太陽エネルギーは反射されて地球に取り込まれる分が減少し、地球の温度は低下することになります。

これは一例ですが、そのほか、砂漠が拡大しているという話、都市の密集化、海洋汚染、森林生態系の変化、等々の問題もあります。温暖化は地球上で一様に起きるのではなく、顕著に現われる地域や、一部では逆に低温化の地域も出てくるかもしれません。そこで最初に世界の地上気温の平均値から見ていきましょう。

図 7 は世界の平均地上気温の変化を示しています。この１００年余の間、１０～４０年の変動を含みながら、全体として約 0.8℃の上昇傾向が現われています。

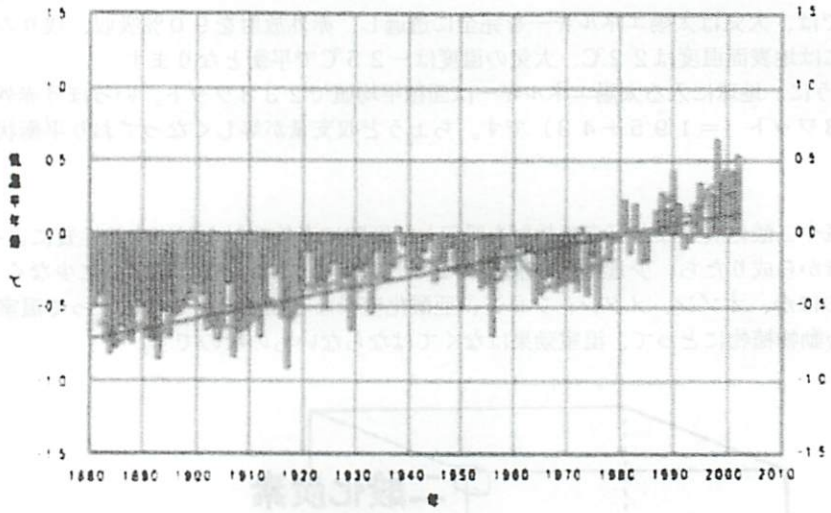


図 7 世界の平均地上気温の経年変化（気象庁資料）

気象観測所の多くは都市にあり、図 7 には都市化の影響も含まれているのかも知れません。この図は気象庁が 2003 年 2 月 4 日に発表し気象庁のホームページ<http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jma/index.html>の中に掲載されている「2002 年の世界と日本の年平均地上気温の平年差について」の図 1 から引用したものです。平年差とは平均気温から平年値を差し引いた値（平年偏差）です。平年値としては 1971～2000 年の 30 年平均値を使用しています。

世界の年平均地上気温の平年差は、気象庁に入電した月気候気象通報の約 1200 地点のデータを使用しています。そのうち日本の気象観測所については都市化の影響が少ないだろうと見なされ、さらに特定の地域に偏らないように選定された 17 地点（網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、長野、水戸、飯田、銚子、境、浜田、彦根、宮崎、多度津、名瀬、石垣島）が使用されています。

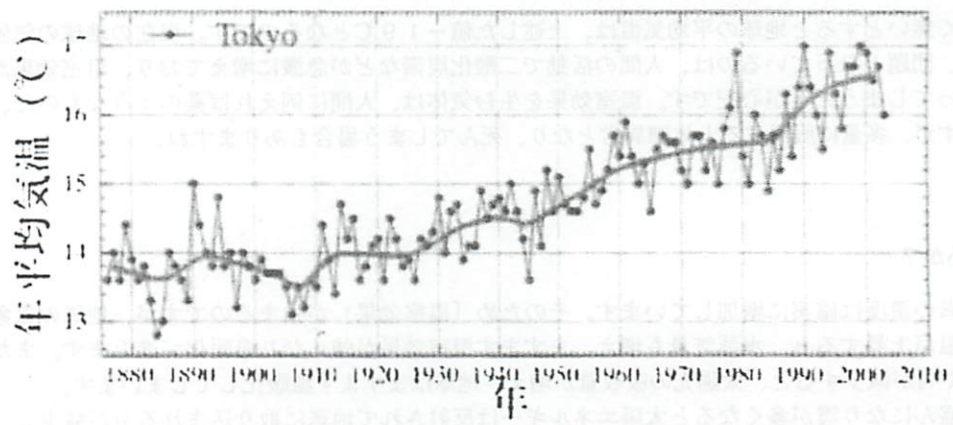


図 8 東京における年平均気温の変化傾向、実線は長期的傾向

図 8 は東京における年平均気温の変化を示したもので、この 100 年間に約 3℃も上昇しています。この上昇は主として、東京の都市化によるものと見なされます。都市化にはいろいろな作用があります。そのうち、最重要と考えられるものは、次の 2 つです。

(1) 人為的な熱の排出量の増加
(2) コンクリートやアスファルトによる舗装などに伴う蒸発量の減少

私たちがエネルギーを多量に消費し熱の排出が増加すれば、大気の温度が上昇します。東京都心での人工熱は、地表面に入る太陽エネルギーの年平均値（１平方メートル当たり約１３０ワット）に匹敵するほどの大きさになっています。また、森林、草地（田畑）、あるいは水面であれば蒸発が盛んですが、これらがなくなると高温になります。蒸発がなくなると、それまで蒸発のために使われていたエネルギー（東京近辺では、１平方メートル当たり約９０ワット）は地表面温度と気温を上げることになります。

エネルギーを排出する地域の面積が狭ければ、熱は風で拡散され、気温上昇は小さいのです。ところが東京・首都圏では人口の密集地域が拡大してきましたので、気温の上昇が顕著に現われるようになってきました。この話は高知市で行なっていますので、高知の資料も見ておきましょう。

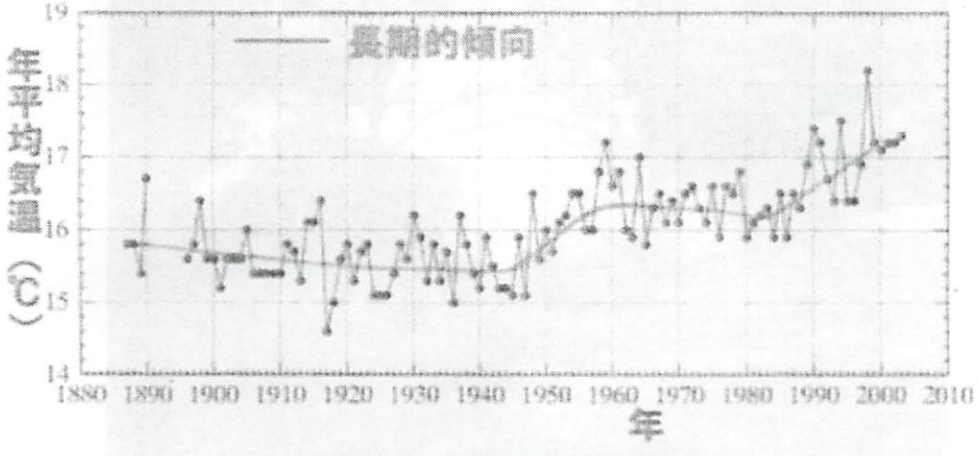


図 9 高知における年平均気温の経年変化

図 9 は高知における年平均気温を示しています。高知市は太平洋戦争のとき空襲で焼けましたが、終戦（1945 年、昭和 20 年）のあとは復興し、住宅も増えてきました。1950 年ころ年平均気温は急上昇しています。1980 年代以後から現在にかけて気温上昇は大きくなっています。これら上昇のかなりの部分は都市化の影響とみなされます。明治時代や昭和初期に比べて年平均気温は約 1.5℃高くなっており、東京における上昇量の約 50%です。

高知地方気象台は 1882（明治 15）年に現在の高知市若松町に「高知県高知測候所」として創立されました。のち、1888（明治 21）年～1939（昭和 14）年の期間は高知城の二の丸にありましたが、1940（昭和 15）年 1 月 1 日から南比島町に移転しています。以前の南比島町は、周辺には水田・畑もありました。戦後は時代とともに周辺環境は変化し、数年前までは観測所の周りは住宅が密集していました。ごく最近の２００１年～０５年には古い住宅は取り壊され再開発が始まり新しい住宅と住宅内道路の整備が進められています。写真によって説明しておきましょう。

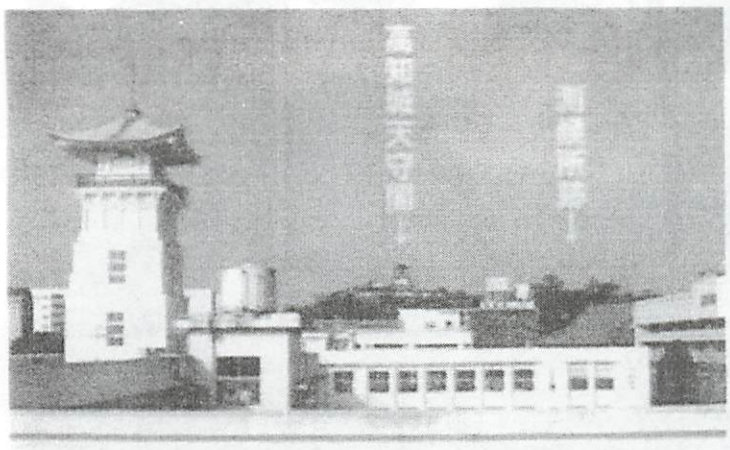


図 10 高知県立追手前高校の屋上から眺めた高知城

高知市街部は大きなビルが立ち並ぶようになり、高知城も見え難くなりました。城の追手門から東のほうにある高知県立追手前高校（元の県立高知一中、県立高知城東中学校：私の母校）の屋上から眺めた写真が図 10 です。天守閣の右手（北側）に高知測候所跡があります。

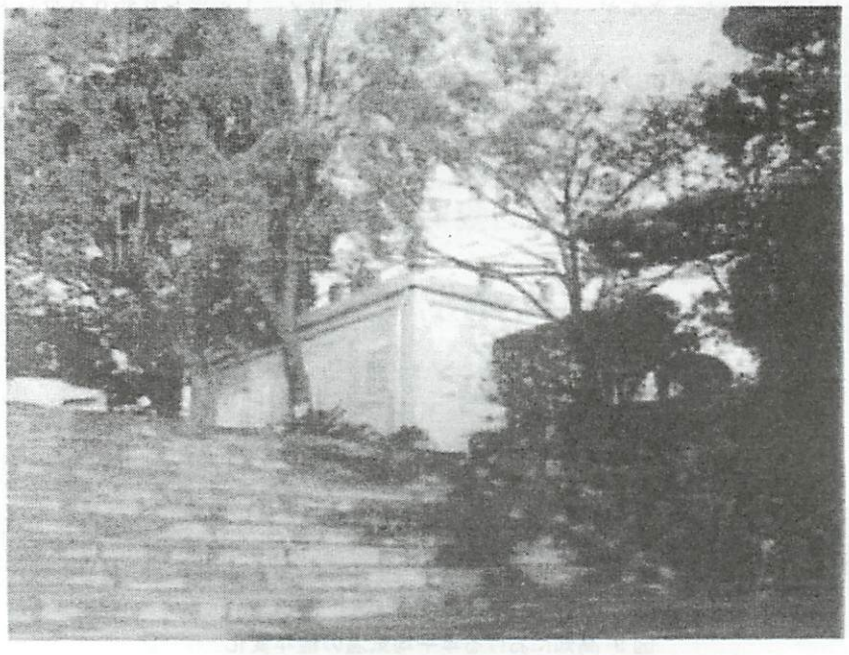


図 11 高知城二の丸への階段から眺めた測候所跡（白い建物）

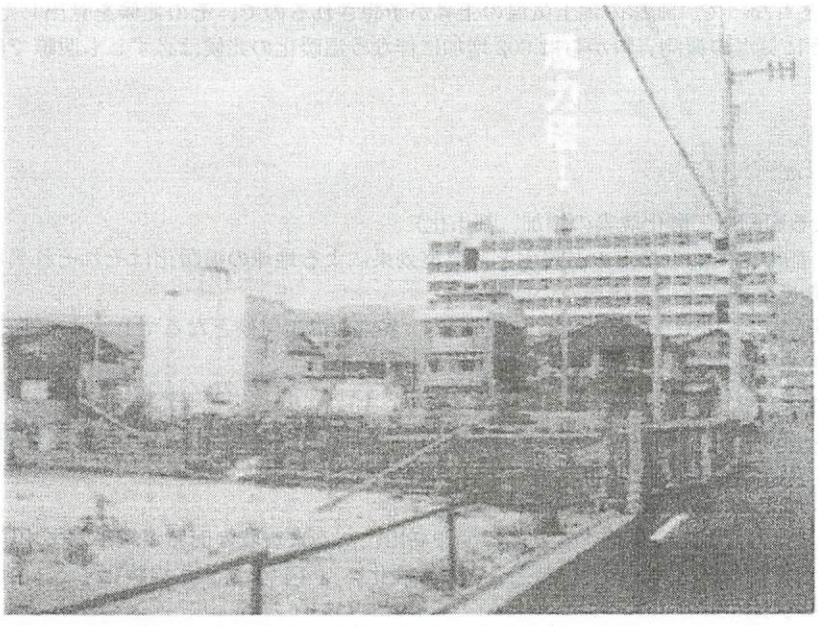
追手門をくぐり、杉の段にある「山内一豊の妻像」の脇、さらに三の丸を経て、二の丸直下の階段から右手上方に白いコンクリート建てが見えます。これが測候所として使われていた建物です。ここには史跡・測候所跡を説明する案内板が欲しいところです。

口中には測候所跡の建物の南側に並んで、はでに飲食物を宣伝した屋台の売店２つが並んでいました。国宝（現在の呼び名は重要文化財）の高知城天守閣を眺める二の丸に、はでな売店は似つかないと思いました。そこで翌朝早く、売店が設営される前にふたたび二の丸に登り写真撮影をしました。

図 12 二の丸の測候所跡（白い建物、その奥の左手は高知公園管理事務所）

図 12 は二の丸の広場から測候所跡を写したものです。松の木に囲まれた白い測候所跡の建物と、奥の左手に高知公園管理事務所がかすかに見えます。写真外の右手後方に天守閣がそびえています。

次に、現在の高知地方気象台の観測露場のある南比島町に行くと、昔周辺にあった住宅地はなくなっており、整備・再開発中の新しい住宅地ができつつありました。観測露場の南側ではブルトーザーで作業が行なわれていました。尋ねると、小公園を新しく作っているとのことです。基盤の目のような舗装道路も整備されていました。

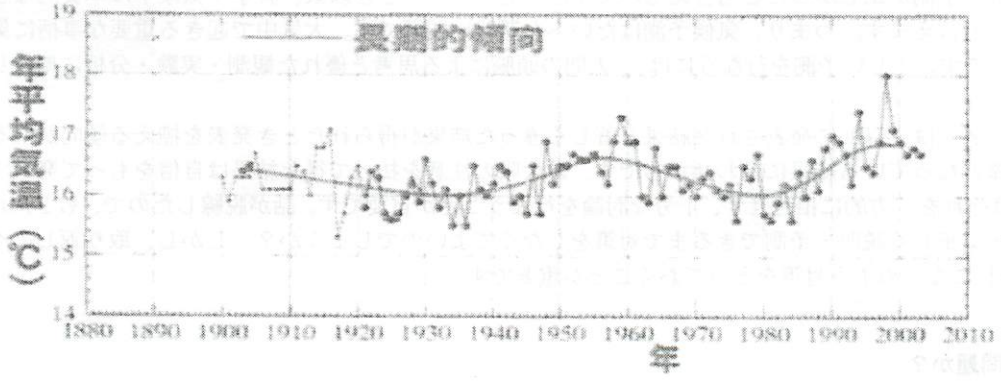


右に見える大きな電柱から向こうが露場の敷地、
その手前が小公園に整備中（2004 年 9 月 20 日撮影）。

図 13 高知地方気象台観測露場

多くの気象台・測候所の周辺では、大なり小なり、都市化が進んでいるだろうという印象を強く受けました。そこで、こんどは都市化の影響のない室戸岬測候所のデータを調べることにしました。

図 14 は室戸岬測候所における年平均気温を示しています。室戸岬では 1903 年から 2 年余の観測資料がありましたが、その後休止し、1921 年に再開されるまでデータがありません。1902、1903 年の貴重な資料も活用したいので、欠測期間およびその前後の 30 年間については高知における年平均気温に 0.7℃を加えた値を小さい四角印でプロットしてあります。これらプロットを参考にして長期的な傾向を赤線で描きました



1900～1929 年期間にプロットした破線付きの小さい四角印は（高知の気温＋0.7℃）である。

図 14 高知県室戸岬における年平均気温の経年変化（黒丸印）

室戸岬測候所では東京や高知で見られたような一方的な気温上昇の傾向は明瞭ではありません。長期的には、むしろ 40～50 年程度の周期で上昇・下降を繰り返しているように見えます。

6. 難しい問題点・未熟な科学

二酸化炭素の増加にともなって、地球の地上気温の上昇が予想されるので、その兆候を見出したいのです。しかし正直なところ、前節でみたように気温の観測資料からは CO2 増加に伴なう温暖化の兆候は必ずしも明瞭ではありません。これが「難しい問題点」なのです。

○温度変動の原因

(1) 自然の変動

(2) 人為的な原因による変動（二酸化炭素の増加、都市化）

人為的な原因のうち、都市化による都市の温暖化と、温室効果による地球の温暖化はそれぞれ異なる原因によるものです。観測データから、これらを区別することは難しい問題です。

将来、地球の温暖化が進むと都市では両方が重なりあって、異常な温暖気候となるでしょう。すると、冷房に使うエネルギーが増え、温暖化がますます進むという 悪循環が起きることになります。

○プラスのフィードバック

二酸化炭素の増加によって（1）温暖化が起き気温が高くなると、大気中に含まれる水蒸気量が増えます。（2）水蒸気は温室効果が強いので、温室効果が強化されます。（3）その結果、より温暖化が進みます。この過程が繰り返されると（4）ますます温暖化します。これを 暴走温室効果と呼んでいます。

二酸化炭素の増加によって（1）温暖化すると高緯度や高山にある氷雪域の面積が縮小します。すると（2）地球全体として、太陽光の吸収量が増加する。（3）その結果、より温暖化、（4）ますます温暖化する。これも暴走温室効果です。

○マイナスのフィードバック

二酸化炭素の増加によって（1）温暖化すると対流活動が盛んになり雲量が増加する。（2）太陽光が反射され、地球に入るエネルギーが減少する。（3）その結果、寒冷化して温度の上昇は抑えられる。

●科学は未熟

一例を示しましたが、フィードバックのうち、プラスの作用とマイナスの作用の効き方は現在のところ正確にはわかっていません。そのため将来、温暖化によって地球の温度がいくら上昇するのか、正しく予測できません。とくに注意すべきは、海洋は地球の気候変動を決めるのに重要な働きをするのですが、その応答に約 1000 年の時間がかかるのです。

私が注意したい点は、この話の最初にも紹介したように、約半世紀前にプラスという学者が「地球大気中の二酸化炭素が 2 倍に増えると地球の地面付近の平均気温は 3.8℃上昇する」と予測しました。ところが、現在のように格段に進歩したコンピューターを使って詳細な計算を行なっても、プラス氏の予測と大差のない結果が得られています。つまり、最近の多くの計算結果は３～７℃程度の範囲内にあります。

これはプラス氏の予測が正しかったとも言えるのですが、他方、そのとき以来、科学・気象学は本質的なところで、まだ進歩していないとも言えます。つまり、気候予測はたいへん難しい問題です。大気中で起きる重要な事柄に気付いていない可能性がありそうです。正しい予測を行なうには、 人間の頭脳による思考と優れた観測・実験・分析に期待しなければならないと思います。

多くの科学者の弱点は、以前に発表された結果と著しく違った結果が得られたとき発表を控える傾向があることです。そして、すでに常識となっている結果に合わせがちです。最大限の注意を払って得た結果は自信をもって発表すること。そして、他の研究者はそれを 一方的に拒否せず、十分な討論を行なうことが重要です。話が脱線したので、もとに戻りましょう。

さて、気候変化が正しく説明・予測できるまで対策をしなくてよいのでしょうか？ しかし、取り返しのつかない事態になる前に、 手遅れにならぬよう対策をとっておくことが重要です。

7. 温暖化がなぜ問題か？

地球の温暖化によって、どういうことが起きるのでしょうか？

皆さんの発言：

「氷が融けて低地が水没・・・・・。」「台風の頻発・・・・・。」「病気の発生・・・・・。」「生態系・・・・・。」

その通りですね。まとめておきましょう。

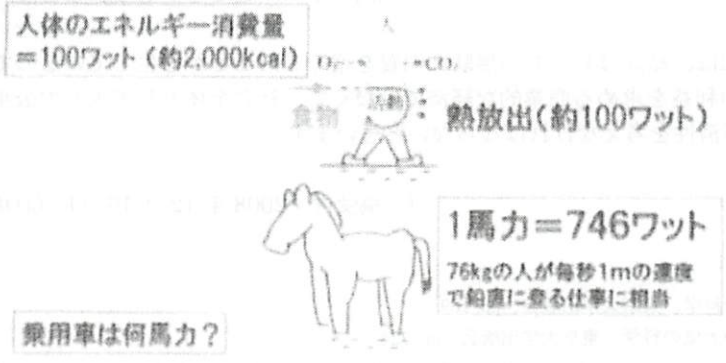
●海水面の上昇：　水温上昇によって海水が膨張します。そのため数１０ｃｍから数ｍの海水面上昇が予測されます。さらに極地などの氷の融解が起きると数１０ｍの海水面上昇が予想されます。
●水資源量の変化：　降水量が変化し、洪水地域と干ばつ地域が広がるかも知れません。その結果、穀物生産への影響が予想されます。
●異常気象の頻発：　集中豪雨や熱暑日の増加、台風の発生数の変化などが考えられます。
●植物の高温障害：　コメなどは低温による冷害が知られていますが、気温が高すぎても障害が起こり、収穫量・品質が低下すると言われています。
●病気の発生：　これまで熱帯で発生していたマラリアなどの感染が拡大、夏の熱中症の増加などか考えられます
●生態系の変化：　気候変化によって、ある種の生物は絶滅するかも知れません。地球上では食物連鎖によって生態系が保たれているのですが、これに影響が及ぶと、食糧不足そして生存の危機となるかもしれません。

地球の温暖化は、二酸化炭素の排出量の増加によって起きるのです。二酸化炭素の増加は、結局は私たちが贅沢な消費から生じたのです。石油・石炭の直接的な消費のほかに、いろいろな物・設備などを作るのにエネルギーが使われていますので、まだ使える物を捨てて、新製品を購入することも私たちはエネルギー・地球の資源を消費していることになります。

これまでの狭い意味の経済性、つまり少数の人々の利益のみを追求する経済ではなくて、社会全体として人々の公平さが保たれ、さらに自然の景観や環境の維持も含めた総合的な経済性を考えたものでなければなりません。これは政治家に任せておけるでしょうか。政治献金と称する大金を貰って、少数の人の利益のために働く政治家もいるかも知れません。

いまNHK大河ドラマで「新撰組」が上映されていますね。明治維新前、黒船が日本にきて、どうするか大変なときでした。そんなとき各藩は自分の藩のことを、幕府は体制維持のことを考えていました。土佐・高知の坂本竜馬は、そういうことではいけないと、しがらみに捕らわれることなく日本の将来を考えて行動しました。

現在の政治家の中には党利党略、私利私欲、特定の業界のことだけを考える人がいるかもしれません。竜馬の思想を現代に当てはめれば、私たちは地球の将来を考えて行動しなければなりません。現代の「地球温暖化」の問題から、私は明治維新前の「黒船の来航」の時代のことを連想しました。



出典：近藤純正著「身近な気象の科学」（東京大学出版会）、図17.2、より転載

図15 ヒトと馬のエネルギーの比較

今後の私たちの暮らし方を選ぶために参考となる数値を示しておきましょう。 昔に比べて私たちのエネルギー消費がいかに大きくなったのでしょうか。

私たちは生きるために、１日に約２０００キロカロリーの食物を摂らねばなりません。この熱量は換算すると約１００ワットです。このエネルギーは、最終的に人体から周囲の大気へ放出することによって体温がほぼ一定に保たれています。つまり、昼夜平均して人体は１００ワットのエネルギーを放出しています（図15）。この放出エネルギーは、皮膚から汗を出す際に失われるエネルギーと、周囲に伝えて空気を温める熱エネルギーとなっています。

馬は人間より馬力が大きいですね。１馬力はもともと馬の馬力から出た単位です。１馬力は７４６ワットですので、馬は人間の７～８倍の馬力があります。具体的に表せば、１馬力は７６ｋｇのヒトが鉛直方向に毎秒１ｍの速度で階段を登るときのエネルギーに相当しますので、私たちは瞬間的には１馬力は出せそうです。

昔の貴族は２頭だて、あるいは４頭だての馬車に乗っていましたので、数馬力の車を利用していたことになります。ところが、最近では庶民の私たちでも自家用車に乗るようになりました。乗用車は、数十馬力～１００馬力はあります。私たち

は、いかに大きなエネルギーを使うようになったのか、おわかりかと思います。私たちは、みんな大貴族に相当します。

私たちは、みんなの努力で文明の利器を獲得し、豊かな生活ができるようになりました。いま地球は、急激に温暖化へ向かうかどうかの分岐点にあります。環境保護を意識し、無駄を少なくした暮らし方をしようではありませんか。

皆さんにお尋ねします。現在より贅沢な生活をすると二酸化炭素の増加につながります。皆さんは現在の生活レベルに満足して暮らすことができますか？　できる方は挙手願います。皆さん、挙手されましたね。何か問題はありますか？

皆さんの発言：「私たち戦中・戦後の貧しい時代を生きてきた者は、贅沢でない現在の生活レベルで暮らすことはできます。しかし、問題は若い人たちです・・・・。若い人たちには、きょうのお話を聞かせる必要があり、教育が重要です・・・・」私はこの発言を深く心にとどめ、きょうの「地球温暖化の話」を終えることにいたします。

要約

以上の話のまとめをしておきましょう。人間の活動が盛んになり、石油・石炭などの消費により大量の二酸化炭素が大気中に排出されるようになってきました。その結果、地球の気候が温暖化し、異常気象と災害の頻発が心配されています。「地球の温暖化」はなぜ起きるのか、その仕組みについて勉強しました。

まず、現在の地球の温度はどのようにして決まっているのでしょうか？　地球は太陽エネルギーを受け、一部を反射することによって、温度は地球上の平均で－19℃に保たれることになります。

大気中には水蒸気、二酸化炭素（炭酸ガス）などがあり、これらの少量気体は赤外線（目に見えない）を吸収し同時に射出する性質があります。これら気体の働きにより、地球の表面近くは－19℃より高温の15℃前後に保たれることになります。これは、温室内が高温になることに似ていることから温室効果と呼ばれています。水蒸気や二酸化炭素などの存在によって、地球上の動植物の生存に適度な気候がつくられているのです。

ところが二酸化炭素の量が増えてくると温室効果が効き過ぎて、地表面付近の温度は現在よりも上昇してしまいます。これが 地球の温暖化問題です。観測結果によると、二酸化炭素は地球上のいたるところで増加する傾向にあり、この傾向が続くと今世紀末には大気中の二酸化炭素の量は現在の約 2 倍になる見込みです。同時に世界の気温は現在より数度も上昇すると予想されています。温度上昇は南極・北極に近い高緯度で顕著に現われると考えられています。

温暖化が急速に進むことが問題です。極地や高山の氷河が融けると海面が上昇し、標高の低い島や人口が密集する大都市の多くが水没してしまうかもしれません。降水量が極端に増える地域と減少する地域ができる可能性もあります。農業不作や水資源が不足する地域も出てくるでしょう。そうして地域間の争いが起こるかもしれません。これは人類生存の危機であります。

二酸化炭素の排出量の増加は、結局は私たちが無駄な消費を増やしたことから生じているのです。これまでの狭い意味の経済性、つまり少数の人々の利益を求める商業的な経済ではなくて、社会全体として人々の公平さが保たれ、自然の景観や環境保護も含めた総合的な経済性を考えなければならないと思います。

（原稿受付　2008年12月16日）（原稿受理　2009年12月17日）

参考文献

1）近藤純正、1987：身近な気象の科学、東京大学出版会、pp. 189

2）近藤純正、2000：地表面に近い大気の科学、東京大学出版会、pp. 324

3）Nakazawa, T., S. Morimoto, S. Aoki, and M. Tanaka, 1993: Time and space variations of the carbon isotopic ratio of tropospheric carbon dioxide over Japan. Tellus, 45B, 258-274.

（注）日本における温暖化の実態は「近藤純正ホームページ」＜http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/＞の「身近な気象」の「M42.正しく知ろう地球温暖化（2008年11月19日講演」に掲載されている。

[四万十・流域圏学会誌　第8巻　第1号　15－22　2008]

<解　説>

氾濫原と魚の話

山下　慎吾*

1. はじめに

生物多様性がますます注目されるようになってきました。1992年にリオ・デ・ジャネイロで開催された国連環境開発会議（UNCED）の成果である「生物の多様性に関する条約」に各国が署名を行ったことに始まり、日本でも1993年に施行された環境基本法に「生態系の多様性の確保、野生生物の種の保存、その他の生物多様性の確保が図られるとともに、森林、農地、水辺地等における多様な自然環境が地域の自然的社会的条件に応じて体系的に保全されること」と記されました。また河川では、1997年の河川法改正により治水や利水に加えて河川環境の整備と保全が目的として位置づけられ、2002年度には河川の自然環境の再生を目的とした自然再生事業制度が創設されています。これらの動きをみていると、生物多様性を維持するには、生物をその生息空間とともに保全することが重要だと認識されつつあることがわかります。

今回話題としてとりあげる「氾濫原」は、生物多様性や生物生産の中枢[1]ともいわれている空間です。各地では、氾濫原に関する研究報告をまとめた書籍も出版され始めており、その地形的特性から、陸域生物だけではなく、水域生物である魚類にとっても重要な生態的機能をもっていることが報告されています。

ここでは、氾濫原への興味を持ってもらうことを目的として、その概要を整理するとともに、氾濫原上の水たまりと魚類多様性との関係を中心に紹介していきます。

2. 氾濫原（Floodplain）とは

氾濫原とは、簡単にいうと洪水時に流水が河道などから溢流して氾濫する範囲のことです（図1参照）。詳細には、水域と陸域との間にある生態的移行帯[2)3)]であり、その範囲は水理学的（100年確率洪水により冠水する範囲）、地形学的（近年の沖積堆積物によって覆われる範囲）、生態学的（洪水に適応した生物が生育する範囲）基準によって線引きされます[1]。その複雑性や動態性のため、面積について世界的な評価を行うことは難しいのですが、最近の集計によると、湿地（Wetland）は地球の地表面積の約10%にあたり、そのうち2%が湖（Lake）、30%がミズゴケの生えるような湿原（bog）、26%が湿原（fen）、20%が沼泥地（swamp）で、15%が氾濫原（floodplain）と算出されています[4]。

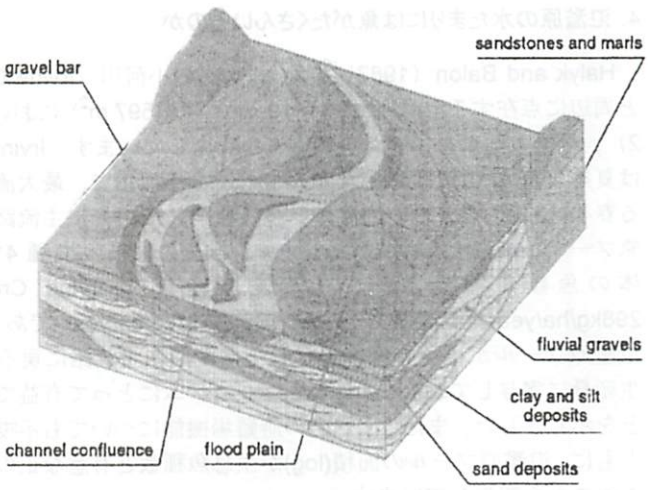


図1　沖積河川における地形学的要素[5]

氾濫原は、生物多様性や生物生産の中枢[1]ともいわれている空間です。世界の多くの地域において、他の景観単位よりも多種の動植物が確認されており、その地形的特性から、陸域生物だけではなく水域生物である魚類にとっても重要な生態的機能をもっていることが報告されています[6)7)8)9)10)]。また各地では、氾濫原に関する研究報告をまとめた書籍も出版され始めています。例えば、南アフリカのPongolo氾濫原[11)]、バングラデシュの氾濫原[12)]、ナイジェリアのHadejia-Nguru氾濫原[13)]、アイルランドのGearagh[14)]、チェコのLuznice[15)]、南米のAmazon[16)]やPantanal[17)]などのほか、氾濫原漁業[7) 18)]に関する手引書も発行されており、氾濫原に対する理解は進んできているといえます。

その一方で、河川氾濫原は最も絶滅が危惧される生態系でもあります[1)]。Tockner and Stanford (2002)は、世界の氾濫原面積について再検討を行った結果、ヨーロッパや北米では氾濫原の90%以上がすでに耕作地となっており、その機能が大きく減衰していることを報告しています。このような状況に対して、近年では、主に欧米を中心として河川を復元しようとする動きが始まりました。オランダでは二次流路の創出[19)]、スイスでは河道の拡幅[20)]、ドナウ川では氾濫原公園の管理[21)]などが行われ、イタリアの自然河川タリアメント川では河川復元に関する研究が進められています[22)]。日本でも、氾濫原は土地利用の高度化、河川改修に伴う河道の直線化や固定化、流量調節に伴う出水頻度の低下などにより減少していますが、それに対して河道の再蛇行化や高水敷の掘削などが実施されはじめています[23)]。

*空間生態研究所　Email: yama@sakanayama.org

3. 氾濫原にできる水たまりの名称

氾濫原には、水域から陸域までさまざまな特性をもつ空間が存在します（表 1）。そのうち氾濫原上に形成される水たまりは backwater、secondary channel、ワンド、タマリ、side pool、oxbow、一時的水域などとさまざまな名称でよばれています。また、これらのうちワンドやタマリは流水域に開口部を有するかどうかで区別されることがありますが[9]、出水による地形変化や観察年の流量によってこれらの識別が困難な場合も多いことから、ワンドがこれらの総称として用いられる[25]こともあります。また、淀川の事例では、主流路の水際部に設置されたケレップ水制とよばれる人工構造物に土砂が堆積して形成された止水域をワンドとよんでいます。

本稿では、氾濫原上の水域について、低水位期でも主流路に開口部を有する湾状の水域をワンド（表 1：グループ 3 上段）、低水位期において主流路に開口部のない水域をタマリ（表 1：グループ 3 中下段）と称することとします。また、タマリのなかでも、流路の作用によって自然に形成され、年 1 回（数日）以上 主流路と接続する止水域（表 1：グループ 3 中段）に特に注目し、詳細な検討結果を紹介します。過去に詳細調査を行った Halyk and Balon（1983）[6]を参照して、このタイプのタマリについては floodplain pool（氾濫原プール）という名称を用います。

表 1 横断的地形分類（Roux 1982[24] を一部改変）

	Habitat classification	Group
Aquatic	In-channel features Pools Riffle Gravel bars Islands Banksides	1
	Continuously flowing side arm	2
Lateral continuum	Backwater connected to main river at downstream end only	3
	Backwater without permanent connection to river. Strongly influenced by floods	
	Backwater without permanent connection to river. Rarely influenced by floods	
	Area of floodplain grassland / marsh subject to periodic inundation	4
	Fen / swamp	
Terrestrial	Marsh	
	Riparian / floodplain woodland	

4. 氾濫原の水たまりには魚がたくさんいるのか

Halyk and Balon（1983）[6]は、カナダの小河川（Irvine Creek）と周辺に点在する氾濫原プール 19 箇所（1−597 m^2）において（図 2）、夏季に薬剤を用いた魚類調査を実施しています。Irvine Cleek は夏季（7−9 月）に最も流量が少なくなる河川で、最大流量となる春季（3 月）と、ついで流量が多い秋季（12 月）に主流路と氾濫原プールが接続する特徴があります。調査の結果、20 種 41626 個体の魚類が捕獲され、その総生産量は Irvine Creek が 298kg/ha/year、氾濫原プールが 135−314kg/ha/year であること、氾濫原プールが稚魚の保育場として接続期に主流路に戻る魚類の生産量に寄与しており Irvine Creek システムにとって有益であることを示しました。また、出水時の避難場機能についても示唆するとともに、氾濫原プールの面積(log)が生息魚種数と有意な正の相関をもつことを報告しています。

日本では、千曲川のワンド（この場合はワンドやタマリの総称）で主に定置網を用いた捕獲調査が行われています[26]。当該地には、主流路に開口部がある常時接続タイプから 3 年に 1 回程度接続するタイプまで 10-11 箇所のワンドがあり、それらの面積は 119−3813 m^2 となっています。そのうち 1999 年 3 月（冬季減水期）の結果は表 2 のとおりです。河川規模が大きく流路をしきって捕獲したわけではないため、主流路の魚類確認数は過小評価されていますが、多くの魚類がワンドを利用していること、ワンドのタイプによっても魚類生息状況が異なることがわかります。また、主流路では主に成魚であるのに比べて、ワンドでは多数の稚魚が確認されたという特徴があります。

これらのことから、ワンドやタマリは、多くの魚類に利用されており、特に稚魚期の保育場として、河川システムの中で重要な役割を担っていそうだということがわかります。

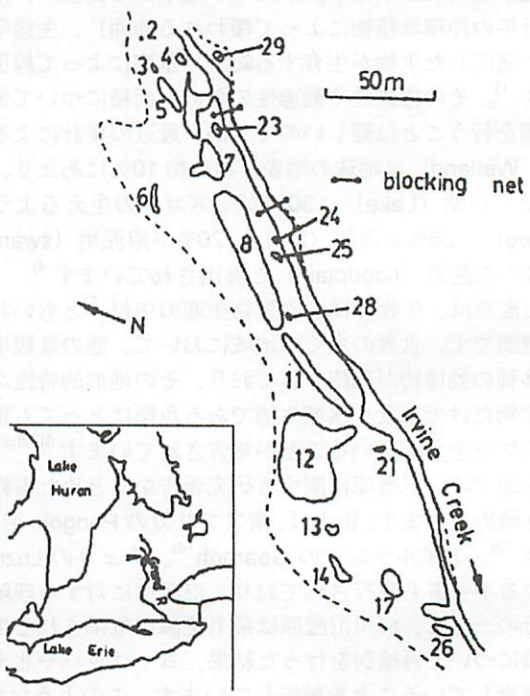


図 2 調査地(Irvine Creek / Floodplain)の位置関係[6]
破線は洪水時の水際線

表 2 千曲川における魚類捕獲個体数（1999 年 3 月）[26)]

魚種名		主流路	わんど／たまり									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Anguilla japonica	ウナギ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Cyprinus carpio	コイ	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
Carassius auratus langsdorfii	ギンブナ	0	0	5	0	8	5	20	40	29	16	0
Rhodeus ocellatus ocellatus	タイリクバラタナゴ	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Zacco platypus	オイカワ	0	0	22	0	157	14	78	234	82	5	7
Phoxinus lagowskii steindachneri	アブラハヤ	1	0	17	0	3	68	20	19	59	40	1
Tribolodon hakonensis	ウグイ	75	0	219	82	160	384	193	4	8	27	162
Pseudorasbora parva	モツゴ	0	0	1	0	7	1	51	8	5	3	0
Gnathopogon elongatus elogatus	タモロコ	0	0	0	0	0	6	10	4	4	2	1
Pseudogobio esocinus esocinus	カマツカ	0	0	23	1	1	14	0	0	4	0	27
Hemibarbus barbus	ニゴイ	0	0	12	0	51	3	9	62	0	0	0
Msigurus anguillicaudatus	ドジョウ	0	1	1	0	2	2	2	1	1	6	0
Cobitis biwae	シマドジョウ	0	0	0	0	0	1	0	2	0	3	37
Liobagrus reini	アカザ	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	2
Rhinogobius sp. OR	トウヨシノボリ	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

5. 多種類の稚魚が生息する水たまりの特徴は

稚魚多様性が高い水たまり（floodplain pool）の地形的特徴は何でしょうか。その疑問に応えるべく、次のような調査を行いました[27)]。

5.1 調査地と調査時期

調査地は千曲川中流域の氾濫原です。ここには透明度の高い伏流水で満たされたさまざまな面積、形状、水深を有する多くのタマリ（氾濫原プール）があります（図 3）。そのうちの 10 箇所において月 1 回調査を行い、台風出水で冠水した後に流量が安定した 10 月と、春出水で冠水する前にあたる 3 月のデータを解析に用いました（図 4）。

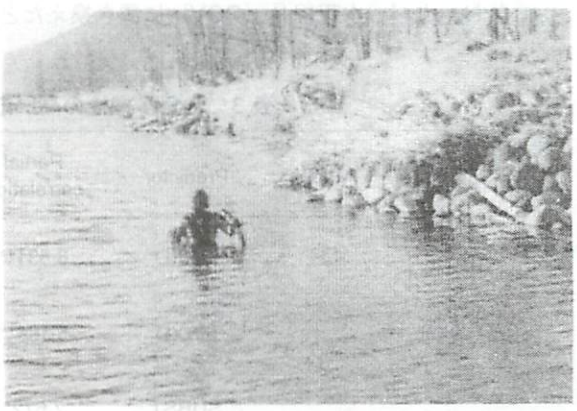


図 3 氾濫原プール（長さ約 200m, 幅約 20m）

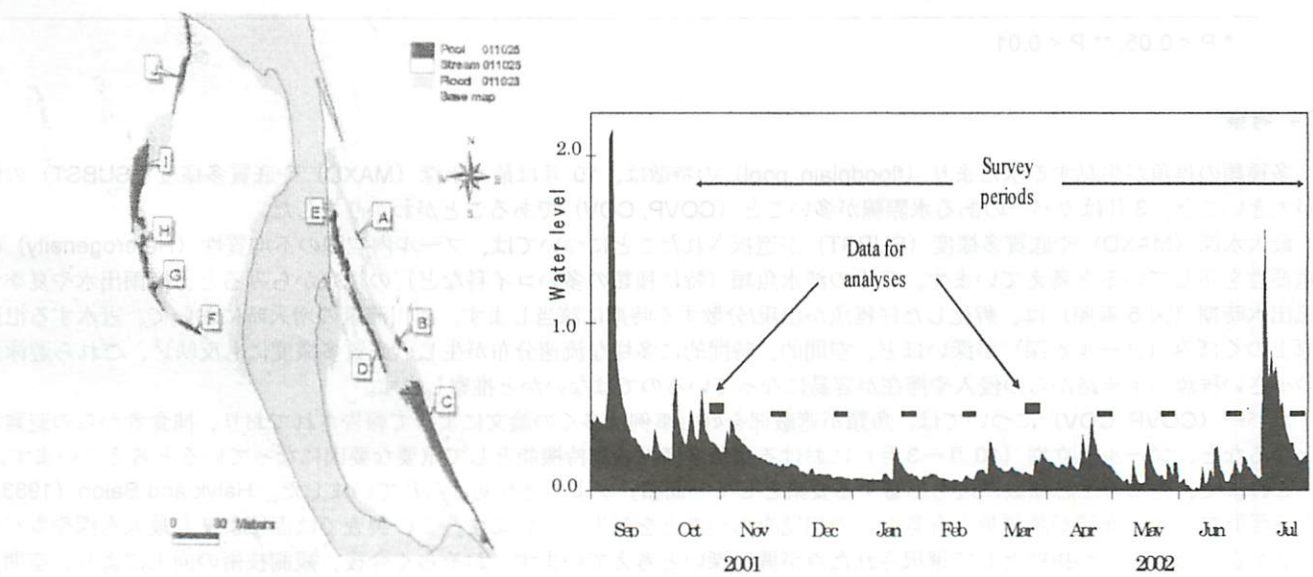


図 4 調査対象の氾濫原プール 10 箇所と調査時期[27)]

5.2 方法

調査は次の方法で行いました。

- 各調査時期に 2 回、魚類の潜水目視観察と水際線付近におけるタモ網採集を実施。目的変数を稚魚種数とした。
- DGPS（Differential global positioning system）を併用してプールの地形特性を計測し、GIS(Geographical information system)を用いて各情報を整理
- 地形特性は次の 13 項目。プールの長さ／幅／面積／水際線長／カバーのある水際線長／カバー水際線率／最大水深／平均水深／水深の変動計数／底質多様度／形状指数／主流路からの距離／最近傍プールからの距離
- カバーは陸上植物、倒木、えぐれなどによる遮蔽で、水面上 50cm までを対象
- 底質多様度は Simpson の多様度指数を用いて算出
- 形状指数(SI)は形状の複雑さを表し、円のとき最小値 1 をとる指標。面積(A)と水際線長(P)から算出 $SI = \frac{P}{2\sqrt{A\pi}}$
- ステップワイズ重回帰分析を実行。赤池情報基準（AIC : Akaike information criterion）をモデル選択の参考値とした

5.3 結果

解析の結果は次のとおりです。

- 10 月 :2 つの回帰モデルが構築された（表 3）。第 1 のモデルでは最大水深（MAXD）が選択され（R^2 = 0.655, p= 0.005）、第 2 のモデルでは最大水深（MAXD）と底質多様度（SUBST）が選択された（R^2 = 0.844, p= 0.001）。第 2 モデルの方が AIC 値は小さかった。この場合、最大水深は底質多様度よりも稚魚種数に与える影響が大きい。
- 3 月 : カバー水際線率（COVP）を予測変数とする 1 つの回帰モデル（R^2 = 0.626, p= 0.006）が構築された（表 3）。なお、カバー水際線長（COV）に置き換えたとしても有意なモデル（R^2 = 0.562, p= 0.008）となる。

表 3　稚魚多様性の高い氾濫原プールの地形特性に関する解析結果 [27)]

Month	Model	Predictor	Partial correlation	Standardized partial coefficient	R^2	F	P	AIC
October	1	MAXD	6.831**	0.810	0.655	15.216	0.005	35.90
	2	MAXD	5.166**	0.612	0.844	19.001	0.001	29.39
		SUBST	7.672*	0.478				
March	1	COVP	5.558**	0.791	0.626	13.416	0.006	–

* P < 0.05, ** P < 0.01

5.4 考察

多種類の稚魚が生息する水たまり（floodplain pool）の特徴は、10 月は最大水深（MAXD）や底質多様度（SUBST）の値が大きいこと、3 月はカバーのある水際線が多いこと（COVP, COV）であることがわかりました。

最大水深（MAXD）や底質多様度（SUBST）が選択されたことについては、プール内空間の不均質性（Heterogeneity）の重要性を示していると考えています。日本の淡水魚類（特に種類の多いコイ科など）の視点からみると、梅雨出水や夏季台風出水時期（図 5 参照）は、孵化した仔稚魚が出現/分散する時期に該当します。河川流量の増大時において、冠水する氾濫原上のくぼみ（プール水深）が深いほど、空間的、時間的に多様な流速分布が生じ（底質多様度にも反映）、これら遊泳力の小さい稚魚の主流路からの侵入や滞在が容易になっているのではないかと推察します。

カバー（COVP, COV）については、魚類が遮蔽部を好む事例は多くの論文によって報告されており、捕食者からの避難場となるなど、プール孤立期（10 月ー3 月）における稚魚多様性の維持機能として重要な要因になっていると考えています。

これまで、生物の生息種数に最も影響する要素として「面積」がよくとりあげられていました。Halyk and Balon（1983）も氾濫原プールの面積が魚種数と有意な正の相関をもつことを報告しています。この調査では面積よりも最大水深やカバーなどがより影響をもつ指標として選択された点が興味深いと考えています。おそらく今後、観測技術の向上により、空間の不均質性や対象生物の必要条件など、面積よりも直接的に表現できる要素が各方面で報告されるのではないでしょうか。

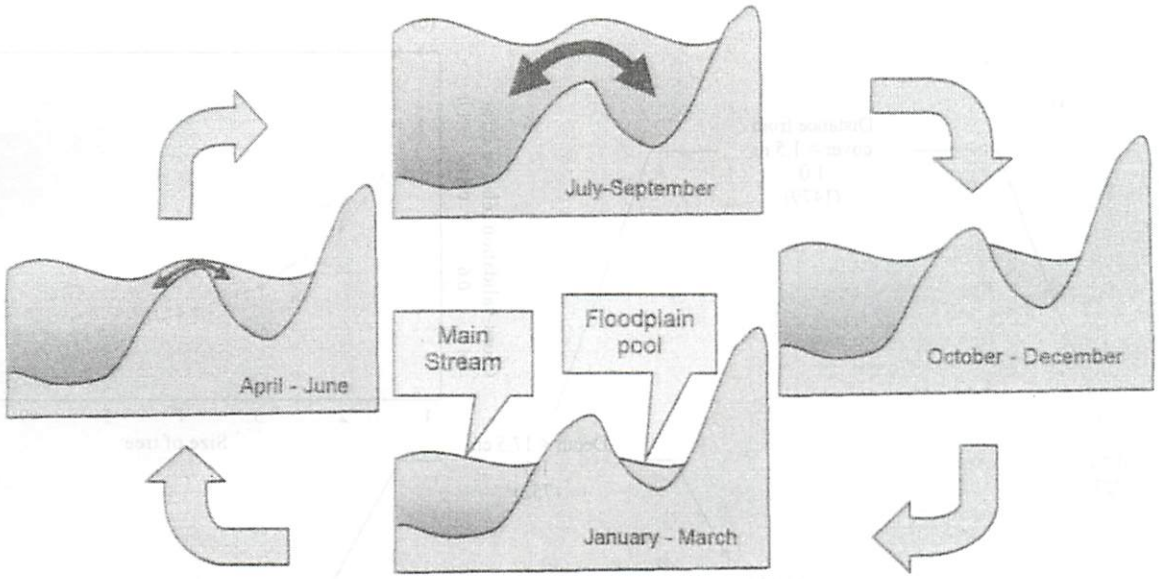


図 5　氾濫原プールと主流路の接続状態に関する季節変化

6. 稚魚は水たまりの中でどんなところを利用しているのか

稚魚は水たまり（floodplain pool）の中で、特にどんなところを利用しているのでしょうか。その疑問に応えるべく、次のような調査を行いました [28)]

6.1 調査地と調査時期

調査地は千曲川中流域の氾濫原です。最も大きな氾濫原プール（長さ約 400m, 幅約 20m）において（図 6）、2000 年 7 月と 2001 年 7 月に調査を実施しました。その間、2000 年 9 月の台風出水の際には冠水し、プール形状が変化するほどの影響を受けています。

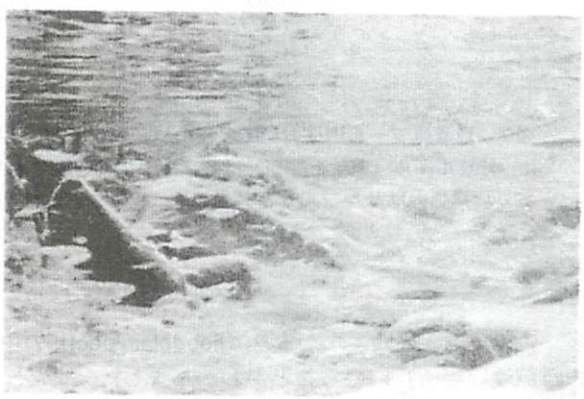


図 6　氾濫原プール内の稚魚群集

6.2 方法

調査は次の方法で行いました。

- 各調査時期の昼間（14:00-17:00）と夜間（19:00-22:00）にそれぞれ 2 回ずつ、DGPS（Differential global positioning system）を併用して、魚類の潜水目視観察を行い、その確認位置を記録した。
- DGPS を用いてプールの水平形状を計測し、上下流方向 10m、横断方向 1m 間隔で、表層流速、水深、底質を記録
- GIS を用いて、2m グリッドセルごとに水深、流速、大礫面積率、カバー面積率、傾斜、水底の方向、カバーからの距離、水際線からの距離の 8 要素を算出した。
- データ量が多いため、データマイニング手法の一種である回帰木分析を実行。本手法では、目的変数に影響の大きい（全体の誤差減少量を最大にする）分岐ルールが順に選択され、樹形モデルが形成される。モデルサイズは 10 群交差検証法（クロスバリデーション）により決定した。プログラムは RPART（Recursive PARTitioning）を用いた。

6.3 結果

解析の結果は次のとおりです。

- オイカワ、ギンブナ、アブラハヤ、ウグイ、ニゴイ、モツゴ、カマツカ、タモロコ、コイ（確認個体数順）の計 9 種のコイ科稚魚が確認された。オイカワはプールの広い範囲に分布しており、特に夜間には他の数種とともに全面的に水面付近に浮遊していた。
- 昼間：多種の稚魚がいる微空間指標として、2000 年データではカバーからの距離が 1.5m 未満という分岐ルールがまず抽出され、次いで水深や大礫割合などが選択された（図 7）。2001 年データでも最上位にはカバーからの距離 1.5m 未満という分岐ルールが抽出されたことは同様。次いでカバー割合や水深などが選択された。
- 夜間：2000 年データではどのような分岐ルールを用いても誤差が減少せずモデル構築は不可能。2001 年データでは説明率が極めて低いモデルが構築された。

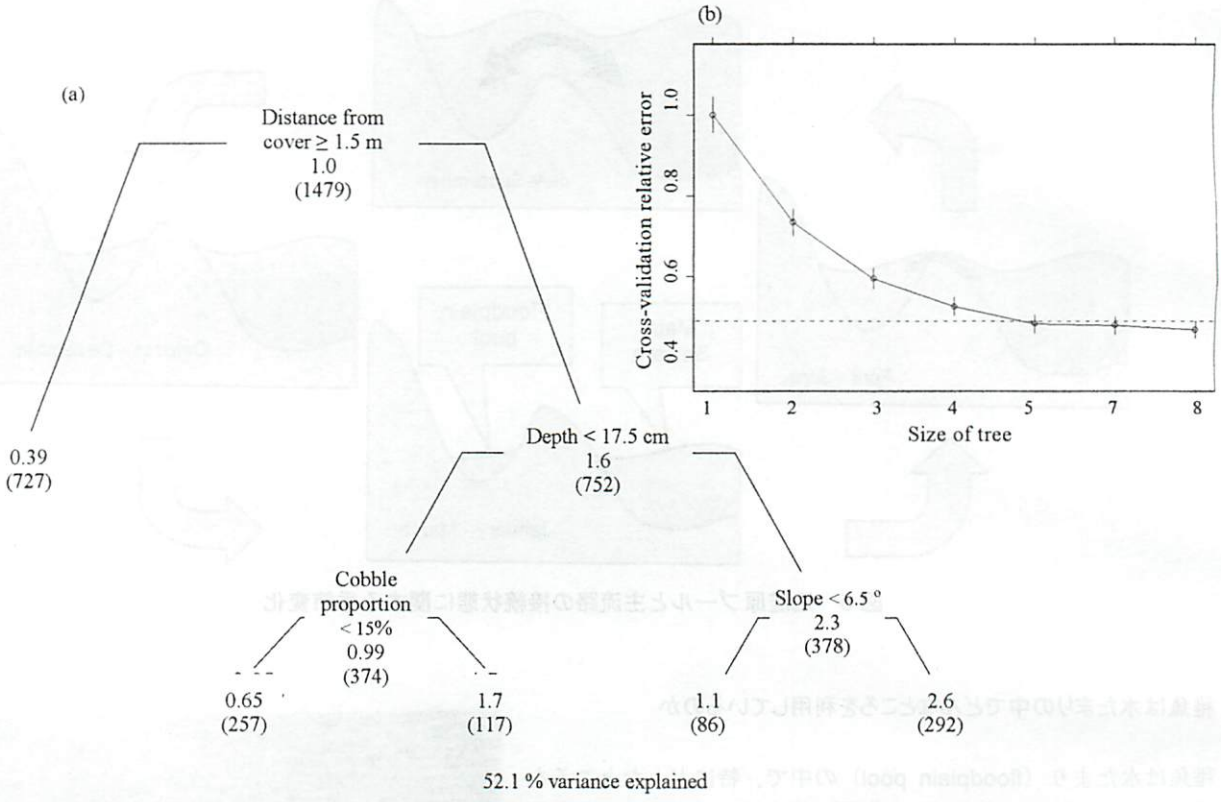


図 7　氾濫原プール内において多種のコイ科稚魚がいる微空間に関する回帰木モデル（2000 年 7 月昼間）[28]
(a) 分岐ルール（変数と閾値）は各ノードに記されており、Yes なら左に、No なら右に進む。目的変数の平均値は端末ノードにあり、括弧内はサンプルサイズを示す。(b) モデル構造の複雑化に伴う交差検証による相対的誤差減少率を示す。

6.4 考察

多くの稚魚は、昼間、水たまり（floodplain pool）の中で「カバーからの距離が近い場所」にいることがわかりました。また、夜間にはプール内で広く分散していることが観察されました。

稚魚がカバーを好むことは既往文献でもよく知られています[29)30)]。さらに、この調査では昼間にのみ「カバーからの距離」が最重要分岐ルールとして抽出された点が興味深いと考えています。Helfman（1981）[31)]は遮蔽物の陰にいる魚類の有利性について報告しています。彼は水面上に浮遊物を浮かべ、その陰の下と陰から離れた場所の両方において、目標物の相対的な視認性を計測し、陰の下にいる魚は明るい場所にいる目標物を認識しやすく、同時に自身は見つけられにくいことを見出しています（図 8）。また、Damant（1921）[32)]は、陰の外にいる個体よりも、陰の中にいる個体からのほうがプランクトンを見つけられやすいことを報告しています。

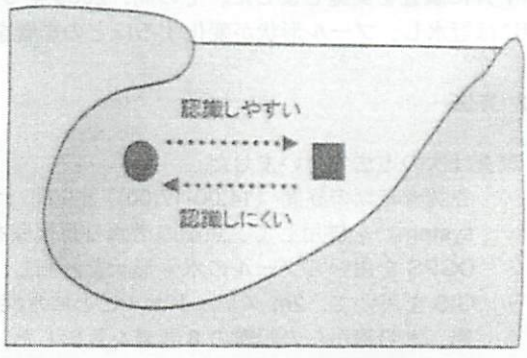


図 8　遮蔽物下にいる魚の有利性に関する概念図

このように、氾濫原プール内では、昼間、稚魚はカバーから近い場所を利用していることがわかりました。また、遮蔽物による陰から近い微空間の存在は、稚魚にとって、摂餌や捕食者からの避難場としてとても重要なのではないかと考えています。

7. 氾濫原における水産業

最後に、氾濫原における人の暮らしについて少しだけ触れたいと思います。これはバングラデシュの一地域（シャムタ村）で水面利用についての現地聞き取り調査を行った結果[33)]です。

バングラデシュでは、川のほか、河跡湖（*bangor*）、川に囲まれた自然低地（*haor*）、*haor* の中でもより低い湖沼状の窪地(*beel*)、*beel* が川とつながる場合に形成される水路（*khal*）、人が窪地を掘った池（*pukur*）等さまざまな水域があります。

聞き取り調査の結果、図 9 に示す 5 タイプの水面利用形態がありました。各住居近くの池にコイ科魚類（図 10 など数種）やティラピアなどの稚魚を春に購入して入れておき、育った魚を投網（*khepla jal*）(図 11)で捕獲して自家消費に用いるタイ

プが一般的で、そのほか、大きな池では孵化養殖を行うタイプ、商業目的で対象魚種を絞って養魚を行うタイプ、川の一部を仕切ってカゴ網で魚を捕る漁法もみられました（図 12）。また特に、養殖を行う池では、施肥として Urea（尿素）、Potassium（カリウム）、TSP（リン酸）といった化学肥料のほか、牛糞やコイル（油粕）と呼ばれる有機肥料が用いられていました。同時に行われた食事調査結果とあわせて、これらの水面利用により得られる魚類（コイ目コイ科、ナマズ目ヒレナマズ科、スズキ目カワスズメ科など 20 種以上）はシャムタ村の人々の主要なたんぱく質源となっていることがわかりました。

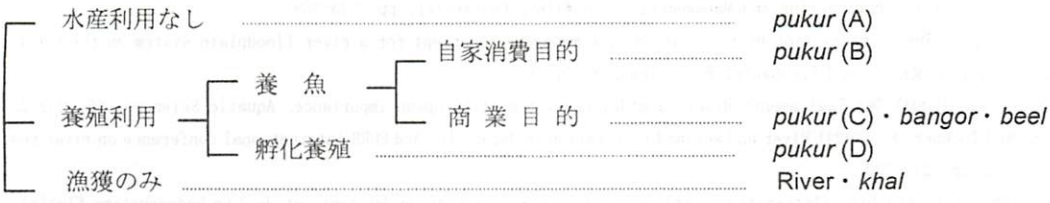


図 9　シャムタ村の水面利用形態

図 10 コイ科魚類 *Catla catla*

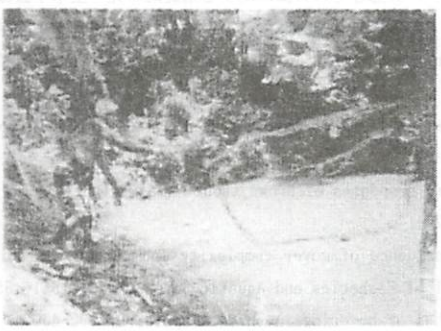


図 11 投網 *Khepla jal* による漁獲

図 12　川を仕切って捕る漁法

8. おわりに

氾濫原の水たまりと魚類多様性に関する話題を紹介させていただきました。2010 年には、生物多様性条約 第 10 回締約国会議（COP10：Conference of the Parties）が日本で開催されます。それに伴い、ESR（The Corporate Ecosystem Services Review：企業のための生態系サービス評価）といった言葉もきかれるようになりました。今後、生物多様性はより一般的な問題として扱われることでしょう。生物多様性を背景に、ぜひ氾濫原の水たまりへの興味ももっていただけると幸いです。

（原稿受付　2008 年 12 月 30 日）（原稿受理　2009 年 1 月 26 日）

参考文献

1) Tockner, K. and Stanford, J.A. (2002) Riverine flood plains: present state and future trends. Environmental Conservation, 29, 308-330.
2) Gregory, S.V. et al. (1991) An ecosystem perspective of riparian zones. BioScience, 41, 540-551.
3) Malanson, G.P. (1993) Riparian Landscapes. Cambridge University Press, UK. 308p.
4) Ramsar and IUCN (1999) Wetlands and global change [www. document]. URL http://www.ramsar.org/ key_unfccc_bkgd.htm
5) Huggenberger, P. et al. (1998) Abiotic aspects of channels and floodplains in riparian ecology. Freshwater Biology, 40, 407-425.
6) Halyk, L.C. and Balon, E.K. (1983) Structure and ecological production of the fish taxocene of a small floodplain system. Canadian Journal of Zoology, 61, 2446-2464.
7) Tsai, C.F. and Ali, M.Y. eds, (1997) Openwater Fisheries of Bangladesh. The University Press, Dhaka. 212p.
8) 斉藤憲治 他（1988）淡水魚の水田周辺における一時的水域への侵入と産卵．日本生態学会誌，38，35-47.
9) 河川環境管理財団大阪研究所（1999）わんどの機能と保全・創造 ～豊かな河川環境を目指して～．河川環境管理財団.
10) Hoggarth, D.D. (1999) Management guidelines for Asian floodplain river fisheries, part2 Summary of DFID research. FAO Fisheries Technical Paper, 384/2.
11) Heeg, J. and Bren, C.M. (1982) Man and the Pongolo floodplain. South African National Scientific Report 56, Pretoria, South Africa.
12) Rahman, A.A. et al. (1990) Environmental Aspects of Surface Water Systems of Bangladesh. The University Press, Dhaka. 258p.
13) Hollis, G.E. et al. (1993) The Hadejia-Nguru wetlands. IUCN, Switzerland. 244p.
14) Brown, A.G. et al. (1995) The biogeomorphology of a wooded anastomosing river: the Gearagh on the River Lee in Country Cork, Ireland. Occasional Paper 32, University of Leicester, UK.
15) Prach, K. et al. (1996) Floodplain Ecology and Management. The Luznice River in the Trebon Biosphere Reserve, Central Europe. Hague, Netherlands, SPB Academic Pablishing. 285p.

16) Junk, W.J., ed. (1997) The Central Amazon Floodplain. Berlin, Springer. 525p.
17) Heckman, C.W. (1998) The Pantanal of Poconé: biota and ecology in the northern section of the world's largest pristine wetland. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 622p.
18) Welcomme, R.L. (1979) Fisheries Ecology of Floodplain Rivers. Longman, London, UK. 317p.
19) Buijse, A.D. et al. (2002) Restoration strategies for river floodplains along large lowland rivers in Europe. Freshwater Biology, 47, 889-907.
20) Jaeggi, M. and Zarn, B. (1999) Stream channel restoration and erosion control for incised channels in Alpine environments. In: Incised River Channels: Process, Forms, Engineering and Management. John Wiley, Chichester, pp. 343-369.
21) Tochner, K. et al. (1998) Conservation by restoration: the management concept for a river-floodplain system on the Danube River in Austria. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 8, 71-86.
22) Tockner, K. et al. (2003) The Tagliamento River: a model ecosystem of European importance. Aquatic Sciences, 65, 239-253.
23) Nakamura, K. and Tockner, K. (2004) River and wetland restoration in Japan. In: 3rd ECRR international conference on river restoration in Europe. Zagreb, Croatia, pp. 211-220.
24) Roux, A.L. (1982) Cartographic polythematique appliquee a la gestion ecologique des caus: etude d un hydrosysteme fluvial. In: The new Rivers and Wildlife Handbook. KPC Group, London, pp.12-15.
25) 萱場祐一 他 (1997) 千曲川における「わんど」の実態とその特徴に関する基礎的研究. 土木学会環境システム論文集, 24, 611-614.
26) 傳田正利 他 (2002) ワンドと魚類群集－ワンドの魚類群集を特徴づける現象の考察－. 日本生態学会誌, 52, 287-294.
27) YAMASHITA, S. et al. (2004) Geomorphological predictors for diversity of juvenile fish in floodplain pools during a low-water period. Ecology and Civil Engineering, 7, 93-102.
28) YAMASHITA, S. et al. (2004) A microhabitat analysis of juvenile fish in a floodplain pool using a regression tree technique. Journal of Environmental Information Science, 32, 55-62.
29) DeVore, P.W. and White, R.J. (1978) Daytime responses of brown trout (Salmo trutta) to cover stimuli in stream channels. Transactions of the American Fisheries Society, 107, 763-771.
30) McMahon, T.E. and Hartman, G.F. (1989) Influence of cover complexity and current velocity on winter habitat use by juvenile coho salmon (Oncorhynchus kisutch). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, 46, 1551-1557.
31) Helfman, G.S. (1981) The advantage to fishes of hovering in shade. Copeia, 2, 392-400.
32) Damant, G.C.C. (1921) Illumination of plankton. Nature, 108, 42-43.
33) 山下慎吾・東直子 (2001) シャムタ村の水産業. *In* 谷正和 (編) バングラデシュ・ベンガル地方の地下水ヒ素汚染問題に関する応用人類学的研究, 文部省科学研究費補助金成果報告書.

[四万十・流域圏学会誌　第8巻　第1号　23-28　2008]

＜総　説＞

地球温暖化の地域総合的な影響評価への取り組み
－高知県における豪雨災害と農業生産の視点から－

西森　基貴*

1. はじめに

近年，地球温暖化による地域的な影響，例えばしばしば起こる異常気象や，食料生産とその安定的な供給に対する関心や不安が高まっている。2007年に相次いで公表されたIntergovernmental Panel on Climate Change（IPCC）の第四次報告書でも，気候の変化と予測を扱う第１作業部会からは，20世紀後半からの暑い日（日本でいう真夏日・猛暑日）や暑い夜（同様に熱帯夜）の増加は人間活動による温室効果気体の増加が関与している可能性が高く，それは将来さらに増加することはほぼ確実であるとの報告がされた。雨に関しても，現在までにも大雨と干ばつはともに増加しており，それは将来さらに増す可能性がかなり高いとしている[1)]。また温暖化の影響を扱う第２作業部会の報告では，植物・動物種の絶滅可能性が高まるほか，現在でも利用可能水量が少ない乾燥地域や熱帯乾燥地域において，河川の流量と利用可能水量がさらに低下すること，熱帯地域では作物生産性が減少し飢餓の可能性が高まること，などが報告されている[2)]。

温暖化とその影響に関する関心は，2008年のIPCCならびにアル・ゴア氏へのノーベル賞授与，および日本における洞爺湖サミットの開催を機にピークを迎えたが，現実として，温暖化の影響がその不確実性も含めて正しく認識されておらず，半ば狂信的？な関心と安易に温暖化に繋げる報道，そしてそれらに対する感情的反発も見られる。また良く聞かれるのは，地球規模の変化は理解しても身近な地域・自分への影響がわからない，というものである。実際，IPCC第２作業部会における影響評価[2)]も，国別でなく大陸スケールにまとめられており，また洞爺湖サミット前に環境省が発表した“地球温暖化「日本への影響」－最新の科学的知見－”[3)]と題する報告書は，農業を始め，水土砂災害，森林生態系および沿岸域への影響とその経済評価を行ったものの，当初の予定にあった地域総合的な影響評価の公表を見送った経緯がある。

温暖化の地域的な影響は実際には様々な形で現れるが，ここでは気象災害と農業生産，中でもコメに関する影響を議論する。筆者のふるさと高知県は，平野が少なく急峻な地形に雨が多いことに加え，台風常襲県であり，常に高い豪雨・土砂災害の危険性を抱えている。実際に近年，98高知豪雨[4)]や01西南豪雨[5)]があったほか，2004年には7月末の台風10号や8月半ばの15/16号，9月末の21号，10月中旬の23号が相次いで接近・上陸し災害を引き起こした。ただしこれが温暖化の直接の影響なのかどうか，現時点では評価を下せないことは明らかである。また平野が少なくて一次産業への依存度が高く，園芸農業の比率が高いものの，農業産出額ではコメが１位であるのが本県の特徴である（なお本県における農業環境問題としては，ハウス農業における臭化メチル問題もあるが，ここでは省く）。そのコメ生産現場においては，ここ数年すでに九州で作柄不良が続いているほか，全国各地で高温登熟障害やそれに関連した品質の低下が問題となっている[6)]。

そこで本論文では，温暖化の地域影響への一例として，高知県や四国地方に対する各分野の温暖化影響評価，および過去のコメ収量や品質の変動に関する実態とその将来予測結果を示し，温暖化の県単位の影響評価手法と，そのために必要な気候変化予測の手法を合わせて議論するための情報を提供することを目的とする。

2. 高知県の豪雨予測に関する2，3の研究事例

県関係の気候変化予測ではすでに，既存の全球気候モデル（GCM）および地域気候モデル（RCM）の出力から，将来の確率雨量値の変化が示されている[7)8)]（**Fig.1**）。しかしながら異なる２つのモデル出力を用いた結果は，四国全域での夏／冬の渇水リスクは共通しているものの，100年確率降水量の変化で示される将来の豪雨災害・洪水リスクは，一方では県東部で（**Fig.1**左），もう一方では県西南部で（**Fig.1**右），それぞれ確率雨量値が増加するという異なる結果を示している。このように，降水量に関する地域詳細な将来予測は，まだまだ多くの課題を残している[9)]。

ここで著者が過去に本学会で述べた[10), 11)]ように，全球気象再解析値やGCM出力を境界条件として対象領域周辺の

*(独)農業環境技術研究所大気環境研究領域　〒305-8604　茨城県つくば市観音台3-1-3

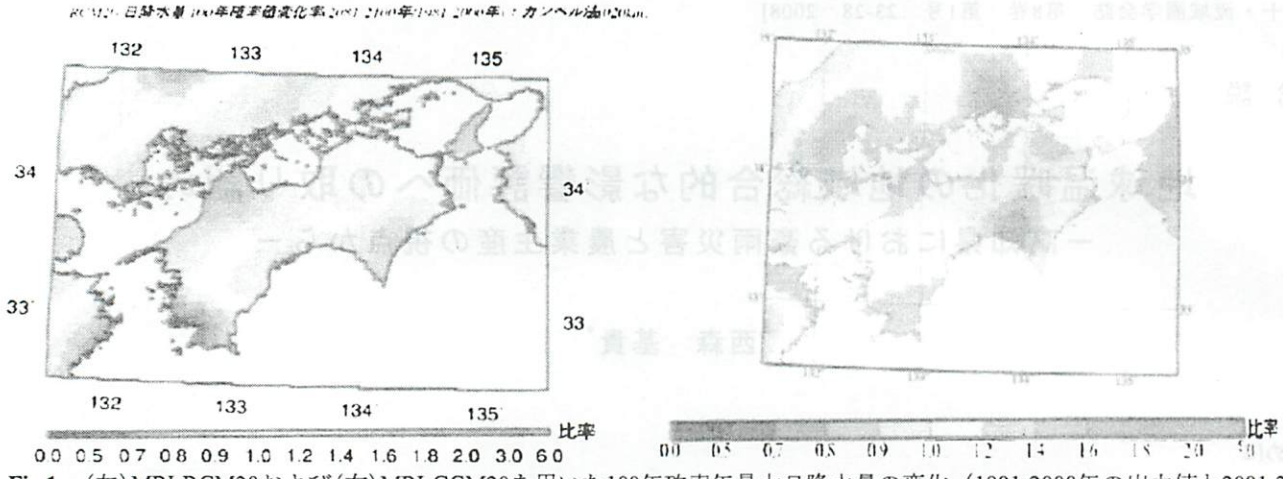


Fig.1 （左）MRI-RCM20および（右）MRI-GCM20を用いた100年確率年最大日降水量の変化（1981-2000年の出力値と2081-2100年の出力値を比較）[7), 8)]。いずれも原図はカラーで，左図[7)]では県東部が，右図[8)]では県西南部が，それぞれ当該降水量が現在よりも増加することを示している。

みの再計算を行うRCM実験では，小領域における異常気象・現在気候再現とその温暖化予測が可能となるとともに，温暖化時の農業などの影響評価に有用である[12)]。そこで本論文では，著者らが行った，RCMを用いて過去の統計からも極めて特異な気候であった2004年降水量のモデルによる再現性と，温暖化による変化の予測可能性を推察した結果[13)]をも紹介する。筑波大陸域環境研究センター（TERC）で改良されたRCMであるTERC-RAMSに，現在気候計算では米国環境予測センター（NCEP/NCAR）の再解析データを境界値としてモデルに与え，また疑似温暖化実験[14)]では，その再解析値に気象研究所の大気海洋結合モデルで計算された温暖化成分[15)]（将来気候と現在気候の平均的な差異）を上乗せしたものを境界条件としてモデル計算を行う。ここで示した2004年10月には，台風23号により本県や西日本～東海の太平洋側で災害の発生した19日～20日のほか，9日にも22号が静岡県に上陸し関東等で被害が発生する等，一般にRCMでの再現が難しい気象場であった。ところで現香美市の繁藤地区では，1972年7月に「繁藤災害」が発生したように，四国有数の降水の多い地点である。実際この台風時にも2日間で300mm以上の降水があったが，TERC-RAMSによる2004年10月の降水変化（**Fig.2**中）を見ると，まず台風23号による降水は2日合計では，おおむね観測相当値（**Fig.2**左）と一致している。また観測では，当月には台風23号によるもの以外に計４回の降水イベントがあったが，モデル再現実験ではこの計５回の降水イベントを再現しており，また台風23号以外のイベントの降水量は，観測推定値よりもむしろ多くなっている（**Fig.2**左,中）。当該モデルの降水量は，一般に豪雨降水量を過小評価する傾向があるが，内陸部ではこのように弱い降水を過大評価する場合もある。そして疑似温暖化実験では，１降水イベントの降水強度はさらに増す結果が示された（**Fig.2**右）。なお農業影響評価では，特にコメ生産には日射量変化が重要であるが，本実験では系統的な将来変化は見られなかった（**Fig.2**）。これは疑似温暖化実験の特性として，降水の量自体の変化は追跡可能でも，より日射量に関係する降水の頻度は，現在気候に縛られているために増加しえないことによると考えられる。

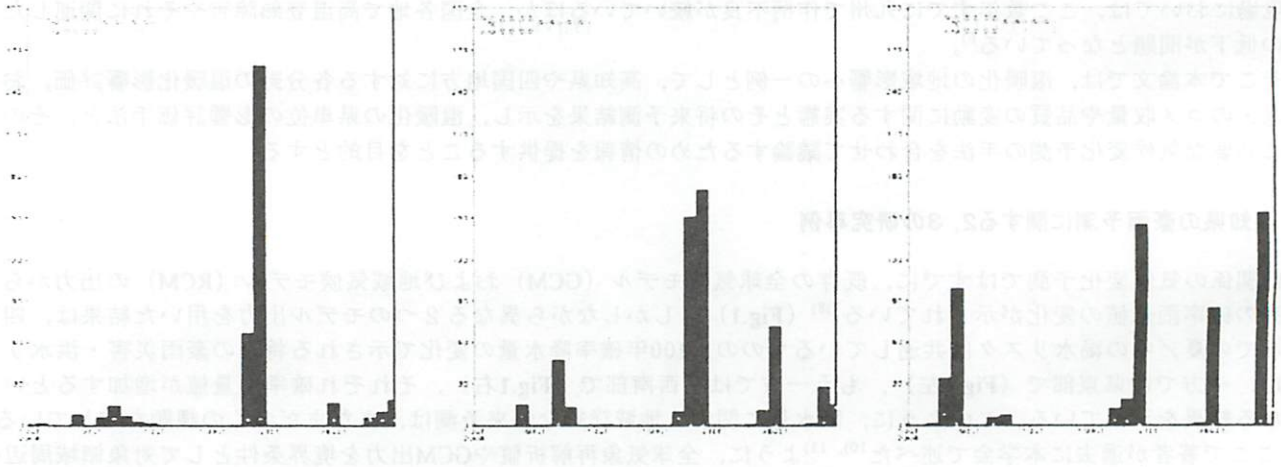


Fig.2 2004年10月の繁藤における降水量（棒グラフ：mm）および日射量（折れ線グラフ：MJ/day）の月内変動。（左）はアメダスによる観測値（補正済）で，（中）がTERC-RAMSによる現在気候実験，（右）が同じくモデルによる疑似温暖化実験であり，文献13)を一部改変したものである。

3. 高知県を含む中国・四国地域への温暖化影響

1．で述べたように，環境省がまとめた「温暖化の日本への影響報告書」[3]には，地域影響の項目が割愛されているため，ここではその中から現在わかっている部分についてのみ，本県を含む中国・四国地域への影響を抜粋する。これによると，山陽沿岸地域では斜面崩壊のリスクが増大し，また吉野川南部域に斜面災害リスクが増加する。生態系では，シコクシラベは温暖化により絶滅が危惧される。

中国地方のコメ収量への影響は比較的小さいが，その変動は２倍になり，また四国地方のコメ収量は減る傾向，変動幅も増える傾向である。そして中国・四国地方とも瀬戸内海沿岸が高潮の脆弱地帯となる[3]。

高潮災害も高知県にとっては重要な問題であり，温暖化により強い台風の発生数が増加する可能性がある[1]との報告から，その影響が懸念される。国土技術政策総合研究所の鈴木武は，温暖化時に予想される平均的な海面上昇量に台風が現在よりも強まる影響を加味して，四国地域沿岸に対する高潮による浸水の影響を調べた[16]。その結果，100年後の平均海面水温上昇を60cmと仮定した場合，瀬戸内海側と豊後水道側において，港湾や漁港になっており防護施設の耐高潮性能の低い人口集積地域において，高潮浸水の危険度が高まることが示された（**Fig.3**）。なお当該研究では，本県など太平洋側および紀伊水道側は，以前からの台風に対する波浪対策に近年の南海地震津波対策のための防護施設が考慮され，大きな高潮に対しても浸水の危険度が小さく算出されている。

Fig.3　高潮による浸水深の地域分布[16]

4. 高知県の農業(コメ生産)への影響

地球温暖化の影響が，すでに我々の身近な所に現れているかどうか，その統計的な検出は難しい。しかしながら例えば，コメの品質面から見ると，四国地方でも，香川・愛媛両県で一等米の比率が有意に減少しているほか，本県でも1990年代後半からの一等米比率は低い傾向にあることがわかっている[17]（**Fig.4**）。そのため現在，農業環境技術研究所では筑波大学生命環境科学研究科と共同で，気象条件が広域での平均的なコメ品質に及ぼす影響をモデルにより評価することを目指している[18]。コメの品質低下または収量減に低日射の影響が寄与しているとの報告は最近多く，農業環境技術研究所でも県農業技術センターと共同で，県産コシヒカリの1980年からの収量変動には気温よりも日射の変化が重要であること，ただ現在までは気温上昇による悪影響をCO_2施肥効果が打ち消す形で減収には至ってないことを示した（**Fig.5**）[19]。

ところで温暖化によるコメ生産への影響を評価するには，①高温＋高濃度のCO_2条件で実際に稲を育てる方法，②

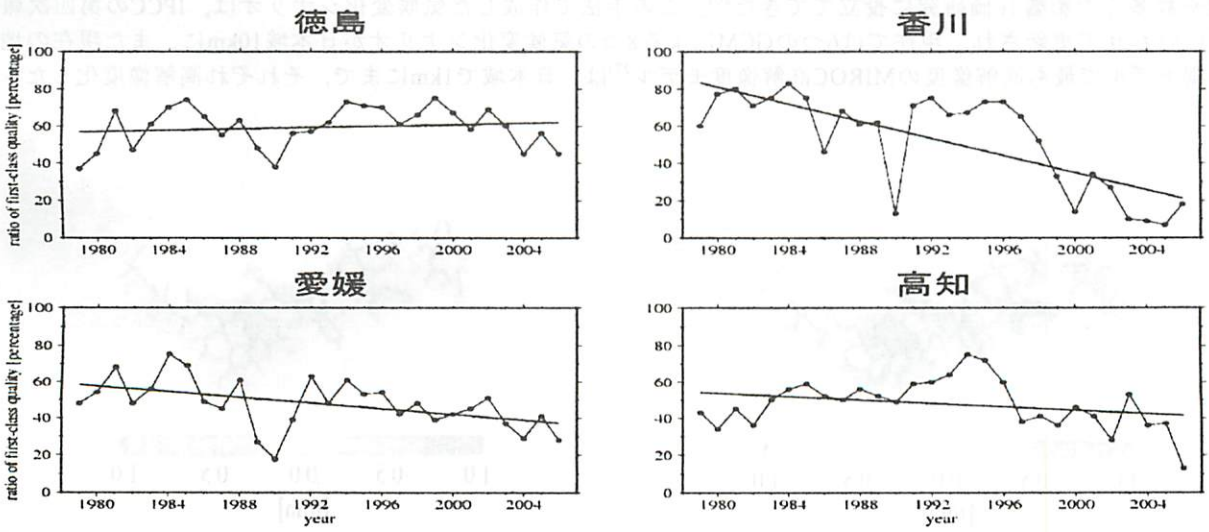


Fig.4　四国４県における一等米比率の経年変動（文献17）において農林水産省統計部データを図化したもの）。

過去の生産統計から気温などの自然条件と生産量の統計式を作り，将来の気温変化を入力して生産量を予測する統計的手法，さらに③種まき～刈り取りまでの生育をコンピュータで再現できるようにし，その中で高温＋高CO_2での生産量を予測するモデル的手法がある。農業環境技術研究所では，③モデル手法に①の実験結果と②統計手法を加味した，都道府県単位の広域作物収量モデル[20]を作成し，温暖化の影響が深刻になるであろう2070年頃の収量を予測した。その結果，北日本では気温上昇がコメ生産に好条件となり増収となるものの，西日本では高温不稔や日射量の減少により，作期移動等の適応策を行わない場合には減収となり，特に本県でその影響が大きいことを示した[21]（**Fig.6**左）。この結果は，高知新聞に「2070年代本県コメ収穫減」として，経済面に大きく掲載された[22]。一方，当該研究では適応策，例えば穂の出る出穂期を真夏の最も暑い時期に一致させないために，移植を早める策を行った場合には，西日本の多くの地域では，高温による減収が緩和されることもわかった（**Fig.6**右）。

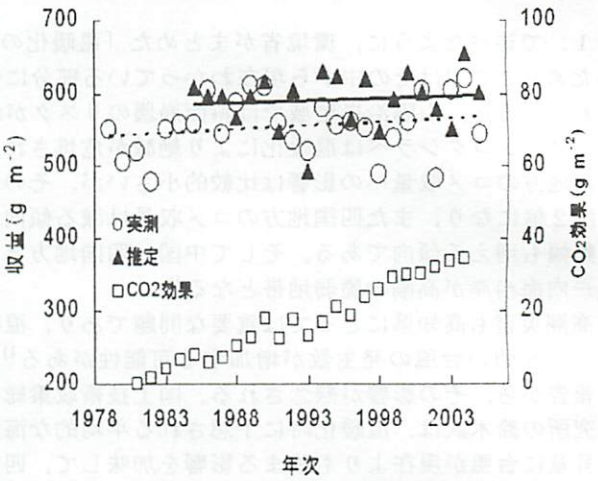


Fig.5 南国市の高知県農業技術センターにおけるコシヒカリ気象感応試験結果を用いた，玄米収量の経年変化とCO_2増加効果の推定（原図はカラー）[19]

温暖化の日本のコメ生産に対する影響は，その後の研究の進展により，使用した作物収量予測モデルを改良し，新しい温暖化シナリオを用いた結果が2008年5月の環境省報告[3]に掲載され，当該報告の記者発表を受けて再度，高知新聞に今度は一面トップで，「2050年四国コメ5%減収」と大きく報じられた[23]。他にも温暖化の，ビニールハウス栽培など本県主力の園芸農業への影響も懸念されている[24]。このように地球温暖化は，農業など一次産業に依存する高知県経済に少なからず影響を及ぼすと見られる。言い換えると，本県のように地球温暖化の影響を他産業よりも相対的に受けやすい農林業に依存する産業構造は，温暖化に対して脆弱であることを意味している。

ところで，予想される温暖化の影響に対しては，温室効果ガスの排出を削減し温暖化の程度そのものを和らげる緩和対策が進行中であるが，これは時間のかかるものであり，各影響分野で温暖化を前提にその影響を少しでも和らげるため適応策が行われる。日本のコメ生産に関する温暖化の適応策については，上に述べたような，高温を回避するための田植え・移植日の変更のほか，夜間に水田に水流を発生させて気温を低下させる「かけ流し灌漑」，施肥法の変更，そしてより高温に強い品種の開発と導入など推奨されている[25]が，これらを実際に行う場合のコストなどの課題も，まだ数多く残っている。

5. 温暖化予測のための地域詳細な気候変化シナリオ

温暖化の地域的な影響予測に当たっては，当然のことながら高解像度の気候変化シナリオが必要となる。農業環境技術研究所では古くより，粗いグリッド間隔の４つのGCMによる温暖化予測出力を，影響分野で必要とされる解像度，例えば日本域10kmメッシュに線形的に割り付ける手法で作成した将来気候シナリオを配布しており，果樹を含む農業や数多くの影響評価研究に役立ててきた[26]。この手法で作成した気候変化シナリオは，IPCCの第四次報告書に公表に合わせて更新され，現在では6つのGCMによる8つの気候変化シナリオが日本域10kmに，また現在の地球温暖化予測モデルで最も高解像度のMIROC高解像度モデル[27]は，日本域で1kmにまで，それぞれ高解像度化したシナリ

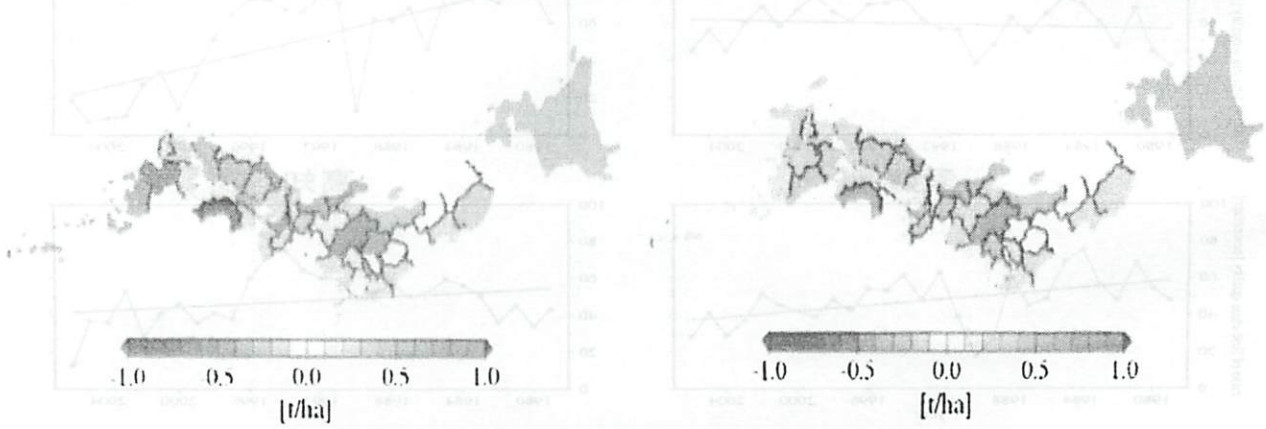


Fig.6 農環研広域作物収量モデルによる2070年頃の県別の収量予測で，(左)作期移動等の適応策は考慮していないもの，および(下)適応策（移植日の移動）を行ったもの（原図はカラー）[21]。

オを提供している[28]（**Table 1**）。さらに同様の手法で，GCMを物理的に高解像度化したRCMによる空間解像度20kmの日本域気候変化シナリオ[29]に関しても，さらなる高解像度化[30]と出力されていなかった日射量データの作成補完も行った[31]。このような空間的な高解像度化はダウンスケーリングと呼ばれ，日本ではとりわけ土砂災害や水資源供給の観点から，降水量，特に短い時間の豪雨に対する地域詳細シナリオの需要が大きいが，この降水量があらゆる気象要素の中で最も難しいのも確かである。また4．で述べたように，農業影響評価のためには精度の良い日射量の予測が重要であるが，GCMほか気候モデルには日射量をはじめとする放射のプロセスに系統的なバイアスがあるため，単純な補正が難しく，著者らは現在も勢力的に補正を含めたダウンスケーリングを行っている[32]。

Table 1. CGCMs used in this study

Name	Members	Resolution (longitude x latitude)		Country	General reference
		Atmosphere	Ocean		
CGCM3_1	3	3.8° x 3.8°	1.9° x 1.9°	Canada	Flato and Boer (2000)
CSIRO Mk3.0	1	1.9° x 1.9°	1.9° x 0.8°	Australia	Gordon et al. (2002)
CSIRO_Mk3_5	1				
GFDL_CM2_0	1	2.5° x 2.0°	1.0° x 1.0°	U.S.A.	Delworth et al. (2006)
MIROC3.2 MEDRES	1	2.8° x 2.8°	1.4° x 1.4°	Japan	K-1 model developers (2004)
MIROC3_2_HIRES	1	1.1° x 1.1°	0.3° x 0.2°		
MRI_CGCM2_3_2	1	2.8° x 2.8°	2.5° x 2.0°	Japan	Yukimoto and Noda (2002)

Table 1 農業環境技術研究所で作成された「温暖化影響評価のための日本域メッシュ気候変化データ第２版」で用いられている世界各機関のGCM[28]。

6. まとめと今後の展望

ここでは，著者ならびに著者の所属する機関における温暖化影響研究を中心に，その周辺領域も加え，主に高知県や四国地方を中心にした関連研究を紹介してきた。豪雨や高潮災害に関する研究の現状に引き続き，本県のコメ生産に与える温暖化影響の例を紹介し，西日本では現在でも品質や収量の低下が見られるほか，将来は移植期の移動など適応策なしでは，現在の水準の収量の維持が難しいことを示した。そして両者の関連から，温暖化予測の現場においても今後は，降水量の予測のみならず，台風の接近や降水回数の評価と関連した地域高解像度の日射量の推定が重要であることを示した。なお温暖化の高知県に対する地域総合的な影響評価に当たっては，県土の84%を占めるという森林に関する研究分野を欠かすことが出来ない。これに関して著者は現在，論説するだけの知見を持っていないが，極めて重要であるとの認識は思っており，今後の課題としたい。

謝辞

本論文は，四万十・流域圏学会第7回学術研究発表での発表内容に対し，大幅に加筆修正したものである。論文中のうち農業環境技術研究所が行った研究については，環境省地球環境研究総合推進費S4「温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究」（研究代表者：三村信男茨城大学教授）中の課題2(3)-1[気候変動によるコメ生産量変動の確率的評価手法の開発と評価に関する研究]（分担代表者：横沢正幸農業環境技術研究所上席研究員），および同S5「地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究」（研究代表者：住明正東京大学教授）中の課題3(5)[力学的手法と統計的手法を併用した農作物影響評価のためのダウンスケーリングの研究]（分担代表者：西森）の中で行われた。また本論文の執筆に際し，農業環境技術研究所大気環境研究領域の横沢正幸，長谷川利拡，飯泉仁之直各氏および筑波大学生命環境科学研究科の岡田将誌氏ならびに林陽生教授には，資料の作成や助言を得た。ここに記して感謝する次第である。

（原稿受付　2009年1月28日）（原稿受理　2009年1月30日）

引用文献

1) IPCC(2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis.（英文の全文は http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm よりダウンロード可能。また気象庁ホームページ http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/index.html では，第１作業部会報告の各章に関する要約の和訳が得られる。）

2) IPCC(2007): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.（英文の全文は http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg2.htm よりダウンロード可能。また環境省ホームページ http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th_rep.html では，第２作業部会報告の図表も含めた内容に関する要約が得られるとともに，第四次報告書全体に関する日本語の情報が入手できる。）

3) 温暖化影響総合予測プロジェクトチーム(2008)：地球温暖化「日本への影響」-最新の科学的知見-．p.94（国立環境研究所ホームページ http://www-cger.nies.go.jp/climate/rrpj-impact-s4report/20080815report.pdf より全文がダウンロード可能である。）

4) 宮崎利博・竹崎幸博・福留章洋(2002)：98 高知豪雨－新河川法制定後の流域協議会の取り組み－．水文・水資源学会誌，15，309-319.

5) 三牧純子(2006)：地域防災力の向上要因に関する研究．四万十・流域圏学会誌，6, 13-21.

6) 森田敏(2008)：イネの高温登熟障害の克服に向けて．日本作物学会紀事，77, 1-12.

7) 和田一範・石井琢哉・櫻井康博(2007)：地球温暖化に伴う四国地方の洪水リスク評価に関する考察．水工学論文集，51, 433-438.

8) 和田一範・楠昌司(2008)：高解像度全球モデルを用いた地球温暖化にともなう四国地方の洪水・渇水リスクの評価．水工学論文集，52, 529-534.
9) Nishimori, M. and A. Kitoh (2006): Estimation of Future Regional-Scale Heavy Rainfall Change over Japan and East Asia under the Global Climate Change by using the Statistical Downscaling Method. Proceedings of the International Symposium on Disaster Management, 10-12 Mar. 2006, Kochi, Japan, p.8 (in CD-ROM).
10) 西森基貴・木村富士男・飯泉仁之直・小寺昭彦・横沢正幸(2006)：温暖化予測が可能な地域気候モデル TERC-RAMS を用いた気候極値・異常気象再現の試み．四万十・流域圏学会第 6 回学術研究発表会講演予稿集，49-50.
11) 西森基貴・木村富士男・飯泉仁之直・横沢正幸(2007)：温暖化予測が可能な地域気候モデル TERC-RAMS による高知県で気象災害が多発した近年の気候再現．四万十・流域圏学会第 7 回学術研究発表会講演予稿集，55-56.
12) Iizumi, T., Y. Hayashi and F. Kimura (2007): Influence on rice production in Japan from cool and hot summers after global warming. Journal of Agricultural Meteorology, 63, 11-23.
13) 西森基貴・木村富士男・飯泉仁之直・横沢正幸(2007)：地球温暖化にともなう異常気象・集中豪雨などの気候学的な予測のための地域気候モデルによる現在気候再現実験．第 15 回地球環境シンポジウム講演論文集，177-182.
14) Sato, T., F. Kimura and A. Kitoh (2006): Projection of global warming onto regional precipitation over Mongolia using a regional climate model. Journal of Hydrology, 333, 144-154.
15) 気象庁(2003)：地球温暖化予測情報第 5 巻．p.71
16) 鈴木武(2007)：四国を対象とした温暖化による高潮浸水領域の変化の見積．第 35 回環境システム研究論文発表会講演集，251-256.
17) 岡田将誌(2009)：気象要因が近年の水稲品質の低下傾向に及ぼす影響．筑波大学大学院生命環境科学研究科環境科学専攻平成 20 年度修士(環境科学)学位論文．p.47(印刷中)．
18) Okada, M., T. Iizumi, Y. Hayashi and M. Yokozawa (2009): A statistical analysis on decreasing trend in rice quality under recent climate shifts. Journal of Agricultural Meteorology, (submitted).
19) 長谷川利拡・坂田雅正(2008)：近年の温暖化傾向が水稲生育・収量に及ぼす影響のモデル解析－高知県におけるコシヒカリの気象感応試験を事例として－．日本作物学会紀事，77(別 1), 38-39.
20) Iizumi, T., M. Yokozawa and M. Nishimori (2009): Parameter estimation and uncertainty analysis of a large-scale crop model for paddy rice: application of a Bayesian approach. Agricultural and Forest Meteorology, 149, 333-348.
21) 横沢正幸(2006)：気候変動は農業にどのような影響を及ぼすのか．環境省地球環境研究総合推進費平成 18 年度一般公開シンポジウム「地球温暖化から未来をのぞく～生活と身近な環境への影響～」講演発表資料．
22) 高知新聞 2006 年 12 月 8 日付第 7 面．
23) 高知新聞 2008 年 5 月 30 日付第 1 面．
24) 農林水産省(2002)：近年の気候変動の状況と気候変動が農作物の生育等に及ぼす影響に関する資料集．p 195 (http://www.kanbou.maff.go.jp/www/gichou/kikouhendousiryousyuu.pdf)
25) 環境省地球温暖化影響・適応研究委員会(2008)：気候変動への賢い適応．環境省報道発表資料平成 20 年 6 月 18 日．
26) Yokozawa, M., S. Goto, Y. Hayashi and H. Seino (2003): Mesh climate change data for evaluating climate change impacts in Japan under gradually increasing atmospheric CO2 concentration. Journal of Agricultural Meteorology, 59, 117-130.
27) K-1 model developers (2004): K-1 coupled GCM (MIROC) description. K-1 technical Report 1, p.34 (http://www.ccsr.u-tokyo.ac.jp/kyosei/hasumi/MIROC/tech-repo.pdf. なお MIROC とは「The Model for Interdisciplinary Research on Climate ：気候に関する学際的研究のためのモデル」の略で，その名を，仏教で未来に下って衆生を救うとされる弥勒菩薩（ぼさつ）にあやかっている)。
28) Okada, M., T. Iizumi, M. Nishimori and M. Yokozawa (2009): Mesh climate change data of Japan Ver.2 for climatic change impact assessments under IPCC SRES A1B and A2. Journal of Agricultural Meteorology, doi: 1-/2480/agrmet.65.1.4.
29) 気象庁(2005)：地球温暖化予測情報第 6 巻．p.58
30) 西森基貴・石郷岡康史・横沢正幸・鳥谷均(2005)：最新の全球気候モデルの出力結果を用いたアジア域の気候変化シナリオ．農業環境工学関連 7 学会 2005 年合同大会講演要旨集，p.448
31) Iizumi, T., M. Nishimori and M. Yokozawa (2007): Combined Equations for Estimating Global Solar Radiation: Projection of Radiation Field over Japan under Global Warming Condition by Statistical Downscaling. Journal of Agricultural Meteorology, 64, 9-23.
32) 西森基貴・飯泉仁之直(2008)：温暖化農業影響評価のための日射量推定－RCM と統計手法を併用したダウンスケーリング－．日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集，385.

[四万十・流域圏学会誌　第８巻　第１号　29-34　2008]

＜論　文(原著)＞

年輪幅の解析結果を利用して復元した 檮原の５月の最高気温年々変動

武市　伸幸*

A Study to Reconstruct the Annual Variability of Maximum Temperature in May in Yusuhara from Annual Tree-Ring Chronology

Nobuyuki TAKECHI*

Abstract

The author tried to reconstruct the annual variability of maximum temperature in May in Yusuhara, Kochi Prefecture from tree ring chronologies. As a result, the correlation coefficient between the actual annual variability of temperature and the reconstructed one was significant at the 1% confidence level. And the result of comparison of mean value of every 10 years, the reconstructed temperatures tend to agree with the actual ones. So, it is considered that the reconstructed values of annual temperature of every 10 years from ring width are appropriate ones. Seeing from the view point of mean value of 10 years, the reconstructed annual temperature in May was high temperature in the period of 1891-1900 and 1901-1910, and it was low temperature in the period of 1841-1850 and 1921-1940.

Key words： reconstruction of maximum temperature, tree-ring record, chronology, principal component analysis, multiple regression analysis

1. はじめに

樹木に形成される年輪は，その樹木が経験してきた環境の変化を年輪幅として記録する記録計と考えることができる。樹木の肥大成長にとって気象条件のよい年には年輪幅は広くなり，悪い年には狭くなる。したがって，年輪幅と気候要素の関係を求めることができたならば，年輪幅から過去の気候復元が可能となる。

年輪幅を用いた気候要素年々変動の復元例として，佐藤ほか[1]は，木曽ヒノキの年輪幅年々変動を用いて1009～1984年までの降雨日数の復元を行い，太田[2]は，静岡県気田のヒノキと長野県飯田の気象データを用いて，静岡県気田の７月の平均気温と年平均気温の年々変動の復元を行っている。しかし，佐藤ほか[1]では，多くの個体の年輪幅を平均化して１本の年々変動として分析を行っており、また，太田[2]では，図から判断すると１個体の年輪幅のみで分析を行っていると判断される。このように，１本の年輪幅年々変動のみで分析を行うと，分析に用いたサンプルの年々変動と類似した波形の復元結果をもたらすと考えられる。

この点に関し，武市[3]は，高知県馬路村魚梁瀬の魚梁瀬スギを用い，同一林分に生育する数個体の年輪幅年々変動に基づいて，魚梁瀬の11月の最高気温年々変動の復元を行い、また，Yamakawa *et al.*[4]は四国山地の剣山，瓶ケ森，冠岳に生育するコメツガ，ウラジロモミ，ヒノキの年輪幅を用いて，徳島，多度津，高知，松山の夏季平均気温の年々変動を復元している。しかし，現在のわが国の林業事情では，同一地点から樹齢数100年の供試木が複数得られることは，魚梁瀬など特定地点を除いては少ない。したがって，容易に利用できる樹齢数100年の年輪試料として，各地の官公署等に展示保管されている巨木の輪切の年輪利用が考えられる。

官公署等に展示保管されている年輪試料を用いて気候復元を行うことの有効性に関して，武市[5]は，高知県内の３箇所に保管されている巨木の年輪幅に基づいて，高知市の７月と８月の最低気温平均値年々変動の復元を行い，展示試料を過去の気候復元に用いることの有効性を示した。このような研究では，各地において復元実践を行うことが必要と考えられる。そこで本稿では，官公署等に展示保管されている年輪試料を用いた気候復元のさらなる実践例として，高知県津野町四万十源流センターに展示保管されている大古味山のモミと愛媛県松山市の愛媛県立博物館に展示保管されていた野村町のマツの年輪試料を用いて，高知県檮原の５月の最高気温年々変動の復元を行った。

* ヤマトスタッフサプライ

2. 用いた年輪試料の特性

用いた年輪試料の概要を表１に，年輪試料の生育位置と梼原の位置を図１に示す。各試料の年輪幅は，展示場所においてミクロファインダーを用いて 0.1mm の精度で測定を行った。その際，展示説明のため試料表面に記載されている文字や根張りの影響を避けるため，および，展示物なので削るなどの加工ができないこと，重量があるので展示場所から運んで横にして測定できないなどの理由により，各円盤の測線数は両地点とも２本となっている。

各個体の年輪幅の測定値は，個体による広狭の差と，同一個体内での樹齢による広狭の差を取り除くため，規準化を行った。規準化は武市[6]にしたがい，年輪幅の年次変動に多項式による標準成長曲線のあてはめを行い，実測値と

表１　年輪試料の概要

地点名	樹種	推定樹齢	保管場所
大古味山	モミ	286年	四万十源流センター
野村	クロマツ	400年	愛媛県立博物館

図１　年輪試料採取地点と気象データ観測地点
▲　：年輪データ採取地点
●　：気象データ観測地点

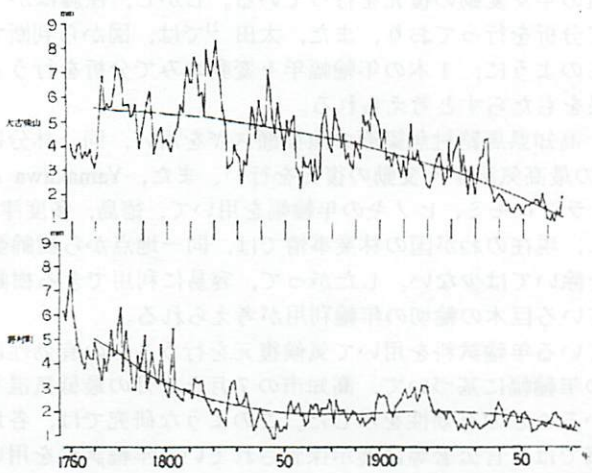


図２　各地点の年輪幅年々変動とあてはめた標準成長曲線

あてはめた成長曲線の比をとることにより行った。測定結果より得られた年輪幅年々変動と，個体差や樹齢の影響を取り除くため各個体の年輪幅年々変動にあてはめた標準成長曲線を図２に示す。また，規準化の結果得られた各個体の年輪幅指数年々変動を図３に示す。

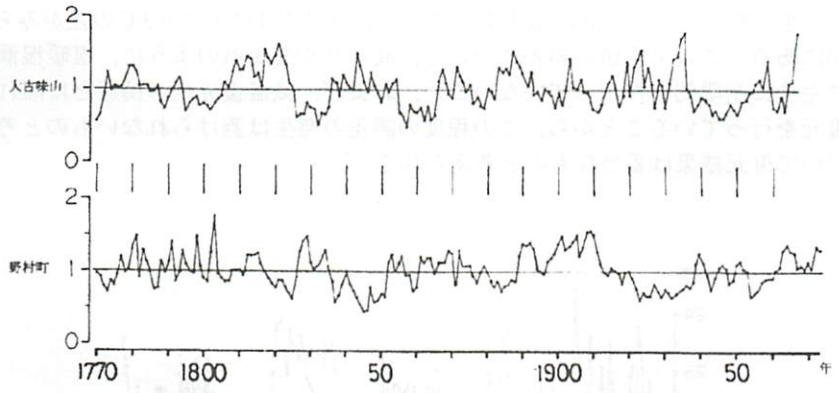


図３　各地点の年輪幅指数の年々変動

3. 樽原の気温年々変動の復元

復元を行う気候要素として，樽原で観測された最高気温と最低気温を取り上げ，1946～1964 年の 19 年間について，２地点の年輪幅指数年々変動（図３）との相関係数を求めた。なお，相関係数を求める期間を 1946 年からとしたのは，復元結果を検証するため，復元値と実測値の比較を行う期間をできるだけ長く取りたかったためである。得られた相関係数を表２に示す。なお，尾中[7]によると樹木の成長は 10 月で終わるとされている。したがって，表２では前年の 11 月から当年の 10 月までを樹木の１年とし，11 月から順に相関係数の値を示した。

表２　各地点の年輪幅指数と樽原の各月の気候要素との相関係数

気候要素	地点	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
最高気温	大古味山	-0.04	-0.03	-0.20	-0.46*	-0.14	0.06	0.49*	-0.08	0.19	-0.01	-0.01	0.14
	野村	-0.42	0.08	-0.16	-0.16	-0.11	0.43	0.47*	0.18	0.54*	0.55*	0.11	0.00
最低気温	大古味山	0.15	-0.04	-0.17	-0.37	-0.40	-0.11	-0.03	-0.09	-0.27	-0.14	-0.37	-0.33
	野村	-0.34	-0.54*	-0.37	-0.37	-0.48*	0.43	-0.35	-0.34	-0.64**	-0.51*	-0.40	-0.51*

相関を求めた期間は1946年から1964年の19年間
**：1%の危険率で有意
*：5%の危険率で有意

表２によると，大古味山のモミ，野村町のクロマツともに５月の最高気温と５％の危険率で有意な正の相関を示している。他に両地点そろって有意な正の相関を示す月や気候要素はないこと，また，４月から５月にかけては早材形成が開始される時期でもあり，生理学的にも有意な結果と考えられることより，復元する気候要素として５月の最高気温を取り上げた。

樽原の５月の最高気温の復元は次の手順で行った。まず，調査期間全体の 1770～1964 年の 195 年間について，２地点の個体の年輪幅指数に主成分分析を行った。その結果，第１主成分の固有値は 1.223，第２主成分の固有値は 0.777 であり，第１主成分は全変動の 61.2%を，第２主成分は 38.9%を説明していた。このように，第２主成分は固有値が１未満であるけれども，全変動の説明割合が比較的高いので，ここでは二つの主成分を分析に用いた。次に，1946～1964 年の 19 年間について，これらの主成分の成分得点を説明変数，５月の最高気温を目的変数として重回帰分析を行った。得られた重回帰式を(1)式に示す。

$$Y = 22.3073 + 0.417814X_1 + 0.56707X_2 \quad \cdots\cdots(1)$$

ここで，Yは５月の最高気温であり，X_1，X_2は第１，第２主成分の成分得点である。X_1，X_2両変数とも|t|の値が１以上であった。

次に(1)式を用いて５月の最高気温の復元を行った。得られた最高気温復元値の年々変動と樽原において観測された最高気温実測値の年々変動を図４上段に示す。復元値の年々変動は変動幅が大きいので，比較的長い期間で均した変動の傾向をみるため，両者に９年間移動平均を行った。その結果を図４下段に示す。なお，移動平均の期間を９年間としたのは，10 年間では中央の年の値を求めることができないためであり，11 年間では検証期間がより短くなるためである。

実測値と復元値の相関について，(1)式を求めた 1946 年より前の 1923～1945 年を検証期間とすると，検証期間における両者の相関係数は $r=0.268$ であり，５％の危険率で有意な相関は認められない。しかし，1927～1941 年（９年間移動平均を求めるため，前後の期間は短くなっている）について９年間移動平均の相関係数を求めると，相関係数は

r=0.817 で１％の危険率で実測値と復元値は有意な相関を示している。また，1925～1964 年について，10 年間ごとに実測値と復元値の平均値を比較すると，表３に示すように，両者の間には最大で 0.3℃の差がみられるものの，両者はおおむね一致する傾向にある。この平均値の誤差について，高知県や愛媛県のように，温暖湿潤な地域においては気候要素が樹木の成長に完全に制限的に作用していないこと，および，気温復元地の樅原とは離れた場所に生育していた樹木を用いて気温復元を行っていることから，この程度の誤差の発生は避けられないものと考えられる。これらのことから，本報告において復元結果は妥当なものと考えられる。

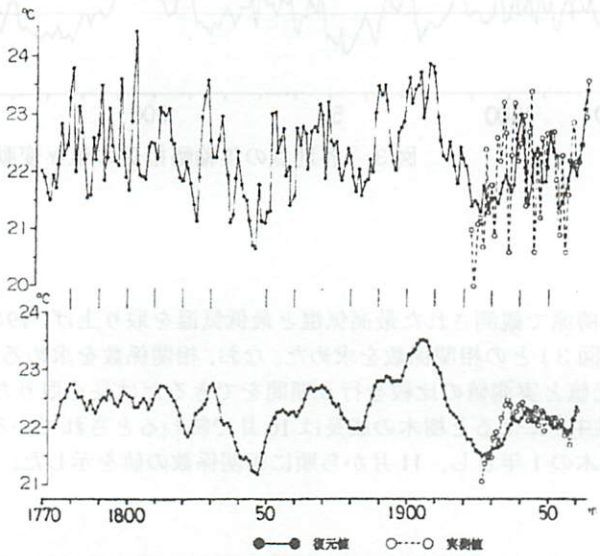


図４　年輪幅より復元した樅原の５月の最高気温年々変動と実測値の年々変動

表３　実測値と復元値の 10 年平均の比較

期間	実測値	復元値
1955～1964	22.3	22.3
1945～1954	22.0	22.2
1935～1944	22.4	22.1
1925～1934	21.8	21.6

単位：℃

図４に示した９年間移動平均について，復元した 1774～1960 年の間の復元値の平均値 22.3℃を調査期間の５月最高気温の平均値とする。ここで，前述のように，検証期間において，実測値と復元値の 10 年平均の差が最大で 0.3℃であるので，調査期間の平均値から 0.4℃以上高い期間を高温期，0.4℃以上低い期間を低温期として 10 年平均でみると，1891～1900 年および 1901～1910 年の期間が高温期に，1841～1850 年，1921～1940 年の期間が低温期に該当している。

4. おわりに

樹木に形成される年輪幅の年々変動に基づいた気候復元の例として，高知県津野町四万十源流センターに展示保管されている大古味山のモミと，愛媛県松山市の愛媛県立博物館に展示保管されていた野村町のマツの年輪幅年々変動を用いて，高知県樅原の５月の最高気温年々変動の復元を行った。

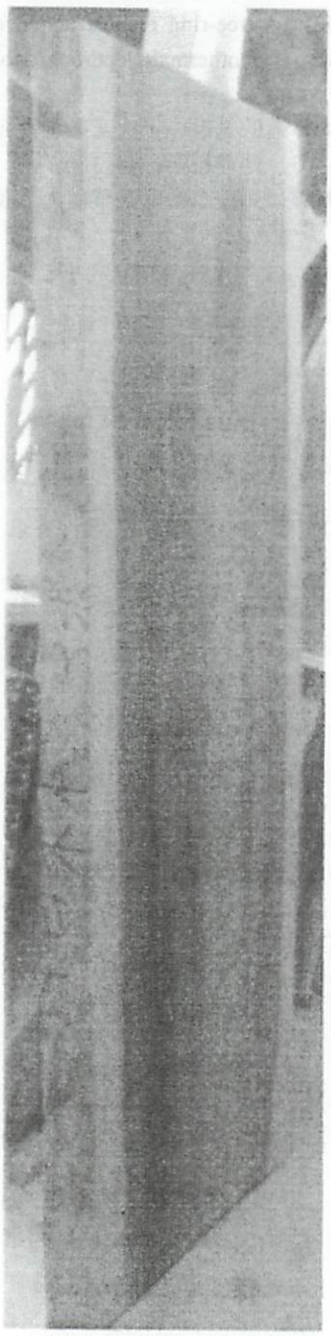
年輪幅から復元された気温復元値と実測値の相関係数は，検証期間の 1927～1941 年における９年間移動平均では r=0.817 であり，１％の危険率で有意な相関を示している。また，1925～1964 年について，10 年間ごとに実測値と復元値の平均値を比較した結果では，両者はおおむね一致する傾向にある。これらのことから，本報告において復元結果は妥当なものと考えられる。

復元された５月の最高気温年々変動は，10 年平均でみると，２つの高温期と２つの低温期がみられた。これらの中で，1841～50 年の低温期は全国的な天保の飢饉直後の期間に相当しているが，高知県の気象災害をまとめた『高知県災害異誌』(高知県，1966)にこの時期の低温の記載はなく，また，武市 [5]の高知市の夏季平均日最低気温の復元結果にも現れてないことから，この地域限定のものであった可能性も考えられる。

(原稿受付　2009年1月8日)　(原稿受理　2009年1月26日)

参考文献

1) 佐藤忠信，八嶋　厚，田中　琢(1989) 年輪を用いた長期的気候変動の抽出，「樹木年輪」短期研究会報告書，37-48.
2) 太田貞明(1993) 樹木年輪の分析からみた日本の小氷期，地学雑誌，**102**，107-118.
3) 武市伸幸(1988) スギの年輪幅の変動より復元した高知県魚梁瀬の気温変化，東北地理，**40**，181-190.
4) Yamakawa,W.,Kobayashi,O. and Sweda,T. (2002) A tree-ring reconstruction of summer temperature for southwest Japan, Proc. 2002 International Matsuyama Workshop, "Geothermal/Dendrochronological Paleoclimate Reconstruction across Eastern Margin of Eurasia", 43-49.
5) 武市伸幸(2005) 年輪幅より高知市の夏季平均日最低気温の年次変動を復元する試み，天気，**52**，913-918.
6) 武市伸幸(1989) 年輪幅の測定と規準化について，地理科学，**44**, 35-47.
7) 尾中文彦(1950) 摘葉・摘芽・輪栽・光の遮断等の処理が常緑針葉樹の成長特に肥大成長に及ぼす影響，京都大学演習林報告，**18**, 55-95.



魚梁瀬スギ

http://shop.yumetenpo.jp/goods/d/kagucom.jp/g/diy-sugi02/index.shtml

[四万十・流域圏学会誌　第８巻　第１号　35-44　2008]

＜論　文(原著)＞

熱帯モンスーン地域における地下水と第四紀最新期の海水準変動

辻　和毅*

Groundwater and Sea-level Change in the Latest Quaternary Period in Tropical Monsoon Asia

Kazuki TSUJI*

Vector Consulting Engineers Co.,Ltd,5-13-2,Sumiyoshi,Hakataku,812-0018,Fukuoka,Japan

Abstract

This paper deals with groundwater and sea-level changes in the latest Quaternary Period, which remained decisive impacts on geohydrological formation of the flood alluvial plains in tropical monsoon Asia. In particular the latest glacial-interglacial events in the late Pleistocene to Holocene are of great significance when groundwater potential and effects of its hazards are contemplated in terms of quantity, quality and their regional distribution. The latest glacial event occurred in 18,000-19,000 years ago, when sea-level lowered to about 120 meters below the present sea-level. The continental shelf was extensively exposed to be eroded and weathered, resulting in development of incised river valleys. Afterwards sea-level turned to rapid rise to the present shoreline and hence topography was drowned with sea-water and sediments debouched from rivers. Incised valleys were buried by fluvial, estuary and deltaic sediments in ascending order and then complex deltaic plains extended during the high stand sea level period. It is well understood that groundwater potential and effect of hazards are greatly influenced by subsurface structure and depositional facies during that time.

Key words: Sea-level change, Quaternary period, Incised valley, Deltaic plain, Groundwater potential and hazard

1.　はじめに

これまで、筆者は東南アジア・モンスーン地域に位置する氾濫原沖積平野の地下水問題を個別に述べてきた[1),2),3),4)]。本編ではそれらの平野の帯水層構造や地形の成り立ちを広域的な観点から考える。そうすると、地質時代の最終にあたり現代を含む第四紀、特にその最新期に世界的規模で起きた海水準変動が大河川流域の沖積平野における現代の地下水問題に大きな影響をおよぼしたことがわかる。

2.　第四紀最新期の大規模な海水準変動

海水準変動は、海水面が全地球的に上下に変動する現象（ユースタシー）に、地域特有の地殻変動と堆積速度の違いが加わって発生する。海水準変動は地球史のなかで際限なく繰り返してきたが、そのなかで、第四紀最新期に全地球的に発生した海水準変動は東南アジア・モンスーン地域に位置する平野の地質発達史にとりわけ重要な役割を果たし、地下水盆の形成に決定的な影響をあたえたといえる。新生代特有の大規模な海水準の変動は遅くとも第三紀の中ごろから、世界的な規模で繰り返し発生した[5)]。その変動が現在まで世界規模で続いていることは、多くの研究によってよく知られている。

それらの研究例の一つは海洋底に堆積した微化石に含まれる酸素同位体や堆積物の解析を主とする研究であり、もう一つはその時代以降に地殻変動によって隆起し海上に露頭したさんご礁石灰岩類に残された生物遺骸の年代や過去の海水準を示す海蝕崖や海岸段丘など特有の地形の痕跡の研究である。後者の研究では西インド諸島のバルバドス島や日本の喜界島の研究が有名である。三つめは極地に残された厚い氷床のボーリングコアに含まれる酸素同位体の研究である。

Fig. 1 は最近のデータに基づいて作成された、約 126, 000 年前から現在に至る海水準変動の代表的な記録の中間値をなぞって概略な線で示した図である[6)]。この記録は紅海の海底で実施されたボーリングによって採取されたコア堆積物中の有孔虫の酸素同位体比の変化によって得られた結果である。これは Pirazzoli（1991）が発表した同じ年代の変動曲線とよく相応している（**Fig.2**）[7)]。なお、この論文に用いる年代は、特に注記したもの以外は放射性炭素年で、暦年較正値（cal yr BP と表示）ではない。暦年較正年は放射性炭素年に比べ、9000 年前で 1000 年ほど古くなることが知られている。この世界的に認められる大規模な海水準変動は、地球規模の気候変動に因るもので、寒冷な氷期に下降し、温暖な間氷期に上昇した。海水準の下降は主として、海水や降水がアイスシートや氷河の形で、海中や陸地に固定されたためと考えられ、逆に上昇はその融解によるものとされている。その結果、海水準が上昇し海岸線が陸地に浸入することを海進、逆に海水準が低下し海岸線が海側に後退することを海退と呼んでいる。

＊（株）ベクトル　〒812-0018　福岡市博多区住吉 5-13-2

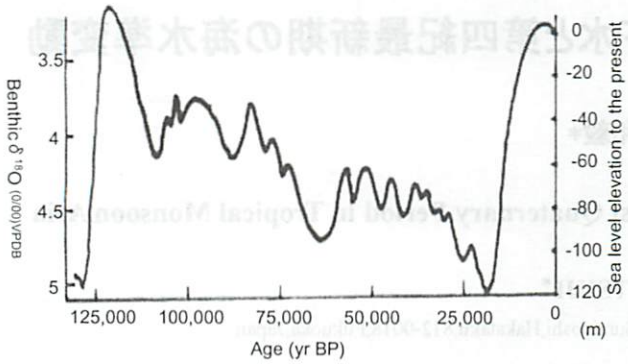


Fig.1 Sea-level change in the Red Sea (simplified from M..Siddall et al.,2003)

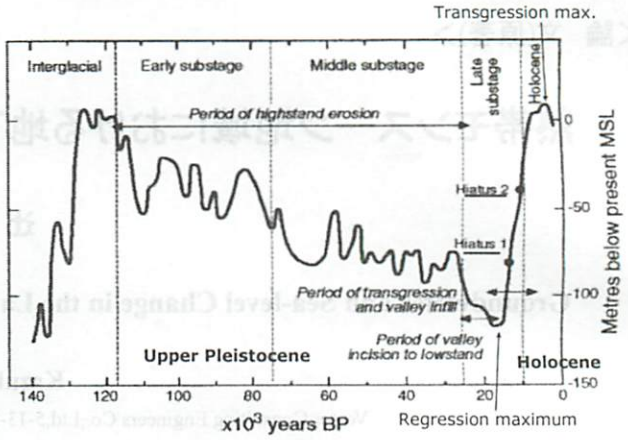


Fig.2 Sea-level change in the last 140,000 years (Pirazzoli,1991)

海岸線は海と陸の境界であるとともに浸食と堆積が作用するせめぎあいの前線でもある。したがって、海水準上昇期には全般的な傾向として海進となるが、陸地から供給される堆積物の埋立速度が海面上昇速度に勝る場合、例えば大河の河口域などは、見かけ上海退となる地域が部分的に出現する。その逆に海水準下降期には全般に海退となるが、波蝕や沿岸流によって海岸の浸食が著しく進行する場合は見かけ上海進となる地域が出てくることもある。

以下では、今から 18,000～19,000 年前に極大期となった最終の氷期を挟む、第四紀の末期から現在に至る時代に焦点を当て、東南アジア地域の氾濫原沖積平野の水理地質構造と地形の発達史について考察する。なぜならば、繰り返し起こった海水準変動の中で、現在の氾濫原沖積平野の形成にいちばん密接に関係するのは、約 125,000 年前の海進（最終間氷期）から、18,000～19,000 年前に極大期を迎え、現在の海水準に比べ約 120m も低下した最終氷期の最盛期の時代と、その氷期のピークから一転して今日の海水準に至るまで上昇した第四紀の最新期の海進の変動が大きく平野形成に関係しているからである。**Fig.1** と **Fig.2** にあるように、海水準はこの間に細かく変動しており、上記の表現は大局的にみた場合の話である。

さらに最近は地層の上下関係や年代だけでなく、堆積環境や成因にまで遡って研究するシーケンス層序学の進歩がめざましい。各地の平野では掘削されたボーリング試料を解析して、平野の地下を構成する地層がいつどこでどのような環境で堆積したかについて研究が急速に進んでいる。本編ではこれらの結果も用いて水理地質的な考察を加えた。

3. 広域的な海水準変動の概観

最終氷期の時代、東南アジアはどのような海水準であったのだろうか。文献や海図を参考にして、概観してみよう。最終氷期に海水準が現水準より約 120m 低かったことは、その標高まで陸地が拡大し、降水や河川の浸食を受け風化の場としてさらされたことを意味する。**Fig.3** はタイ湾の南からスンダ海の海図に描かれた等深線を基にして、海底に連続する谷地形を実線で結び、さらに現在の陸地の河川との関係を推測した有名な図である[8]。谷地形を含め深さ約 120m より浅い平坦な海底面は大陸棚と呼ばれる。この図によれば、浸食によって下刻された谷筋の下流はマイナス 100m 以深まで明瞭に追跡でき、上流は現在の陸地の河川水系とつながる。これは、大陸棚が過去に陸地であって、河川の浸食を受けた時代があったことを示している。これらの下刻谷はその後海水準が現在のレベルまで上昇するに従って水没した。しかし現在陸地にある流域が比較的狭かったため、上流から吐き出された新期堆積物によって埋没せず、痕跡が残った。その下限が約 100m であるのは、**Fig. 1** と **Fig.2** に応じた 18,000～19,000 年前にその近辺まで海水準が下がり、陸上に露出して浸食され連続した水系として残った証拠であり、化石谷とも呼ばれる。

スンダ海と同じように海底に下刻谷を明瞭に追跡できる場として、欧州の北海がある[8]。そこでは現在のエルベ川やライン川、および英国の東海岸の河川の延長が、北に伸びて北海の海底に下刻谷として追跡され、深さ 100m 余りの大陸棚縁辺で途切れて、以深は大陸棚斜面の海底に消える。セーヌ川の下流は、テムズ川と合流し英仏海峡を西に折れて、大西洋に向かう。この理由も上記と同じと考えられる。

関東平野では現在東京湾に注ぐ河川は、陸地にデルタを作り、湾内の海底にはその延長と思われる下刻谷が残っている。その全ての水系は湾内で合流し、旧荒川と旧利根川が合流した本流は三浦半島の東側の海底下約 120m まで追跡できる[9]。この水系は古東京川と呼ばれている。さらに、これらの下刻谷が形成された時代は、下刻谷を埋める河成の堆積物やその上位の地層中の化石の研究により、その基底は 18,000 年から 19,000 年前と考えられている[9),10)]。従って、地球的な規模で最終氷期の最盛期に海水準がマイナス 120m 前後まで低下し、その後上昇したことは明らかである。

一方、この時代における海退期の地形の形成やその後上昇する海水準変動の曲線と、海底地形として痕跡が残る状況は、地域によって差がある。まず、地質的な場の違いに起因するものである。地質的にプレート境界（日本海溝）に近い隆起帯にある関東平野と、安定したユーラシア大陸の縁辺に分布する東南アジアの沈降地域の平野では大きな差がある。

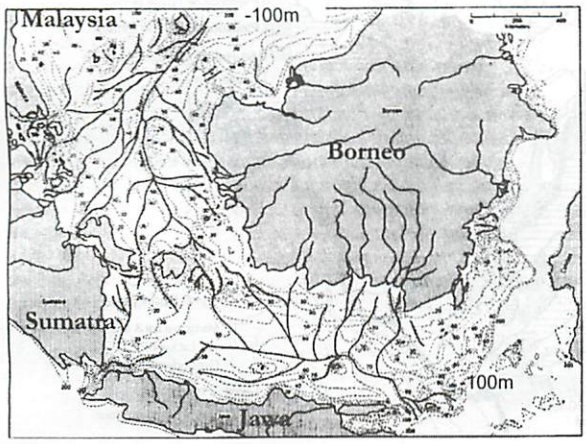


Fig.3 Submarine incised valley in the south Gulf of Thailand and Sunda Sea (added to Flint,1971)

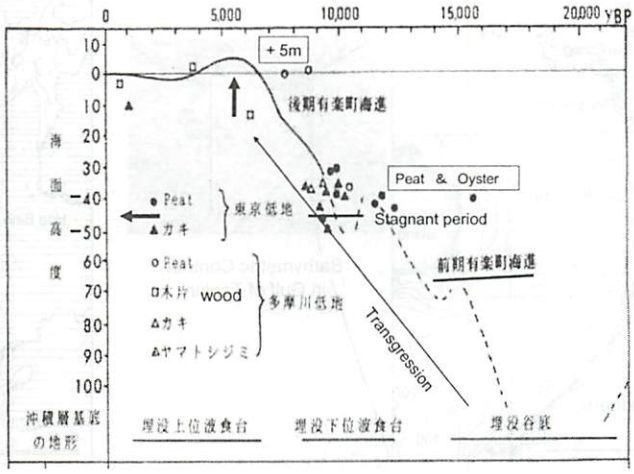


Fig.4 Sea-level change, on-site fossils & depositional environment in Tokyo Bay (modified from Kaizuka,S.1999)

まず、現在の海岸線から、最終氷期最盛期の海退に伴って形成されたとされる水深 120m 前後まで続く大陸棚は、その外縁まで張り出す面積や距離が桁違いに違う。関東地方ではせいぜい現在の海岸線から 10～20 km沖であるが、アジア地域では 150 km～900 km沖合になる。ただし、ガンジス平野は今回取り上げた東南アジアの平野のなかで唯一隆起帯に属し、関東平野と似た状況にあるので除いて考える。隆起によって河川勾配が急な関東平野では、海底に刻まれた河川は急流で谷は深くなるが、河川勾配がゆるい大陸では海退時に浸食された谷の勾配も緩く浅いため、広大な氾濫原やデルタを作る。さらに、その谷の上流域となる現在の平野に流れ込む河川は、ユーラシア大陸では大きな流域を持つ大河川であるため、海退時に河底に多量の河成堆積物を吐出する。そして海進によって水没する時にも多量の土砂を堆積するので、海底谷は埋没され化石谷として痕跡が残りにくい。

つぎに、関東平野と東南アジアの沖積平野の海水準変動曲線を比べた場合、大きな違いがある。関東氾濫原平野では、最終の海進時（縄文海進にあたる約 6000 年前）に地殻が海水の重みによって沈下したため、海進が現在の海岸線を越えて沖積平野の内陸側により深く浸入した。海退後には地殻がリバウンドして元に戻ったため、海水準曲線では縄文海進は、見かけ上緩い顕著な海進のピークとして現れる（Fig4 縦の矢印）[10]。これは関東平野が地殻のより薄い大陸縁辺（厚さは 10 km前後）に位置しているためである。

一方、ユーラシア大陸の縁辺部に位置する沖積平野では、同時期の海進は現水準を超えて内陸に浸入したが、同時期の変化曲線に凸状の海進ピークとして表れない。厚く安定した大陸地殻（厚さは 30～40 km）は、海水の重みによって撓むことはなく海水準の上昇のみが表現されるためである。その海水準曲線は、海進のピークに達した後、なだらかに現在の海水準に緩やかに下降する（例えばFig7）[11]。

つぎに 、以上概要として述べたことを具体的にみるため、Fig3 の北に位置するインドシナ半島沖からタイ湾にかけて広い範囲にわたって海底地形を概観してみよう。東南アジア沖積平野における、バックボ（紅河）平野、メコンデルタとホーチミンを含むナンボ平野、チャオプラヤ平野は、この範囲の大陸縁辺に位置している。各平野の沖合に広がる水深 120m 前後の大陸棚外縁までの海底面の状況を始めに概観し、つぎに個々の平野の細かい水理地質について述べる。

4. 各平野の特徴

4.1 バックボ(紅河)平野

ベトナムのバックボ（紅河）平野の沖は東南に開いたトンキン湾である。東に雷州半島と海南島という大きな陸の障壁があるため、全般に内湾性の穏やかな海になっている（Fig.5）。大陸棚の縁辺にあたる深さ 100m の等深線は、紅河の河口の東南の約 900 km沖合をほぼ東北～西南の方向に走っている。その東に大陸棚の縁辺斜面が続き、水深 200m 線の以東は急激に 1000m 以上の深海となる[12]。

100m 以浅の大陸棚には東南に開いた緩やかな海底谷地形が明瞭に認められる(Fig.5) 。海岸線に近い方から眺めてゆくと、紅河 (Song Hong) の河口から約 38 km沖合に深さ約 30m の等深線がほぼ海岸線に並行に走っているが、石灰岩山地が海に接するハイフォン沖では約 115 km沖まで尾根として張り出している。約 100 km沖合の 40mの等深線と、約 165 kmの沖合に位置する 50m の等深線から谷地形が明瞭となり海南島の西海域に深く湾入している。そして、約 240 km沖合の水深 75m の谷地形へと緩やかに下っている。

30m より浅い海底は海岸線と並行に階段状地形を示し、現在の河川からの堆積物と沿岸流の影響がみられる（Fig.6）[13]。これは、当湾ではユーラシア大陸有数の大河である紅河（流域面積約 16 万 km²）が吐き出した大量の堆積物が、陸上ではデルタを形成するとともに、沖合まで下刻谷を埋積したためであろう。紅河の河口の沖合では約 20 km先まで、デルタ堆積物が作る凸状のデルタフロント地形があり、谷地形は埋没した[13]。一方タイビン川の沖合で、陸近くの海底に浅い谷跡が残るのは、陸上の流域が比較的狭く、堆積物の供給が少なく埋没しなかったためであろう。

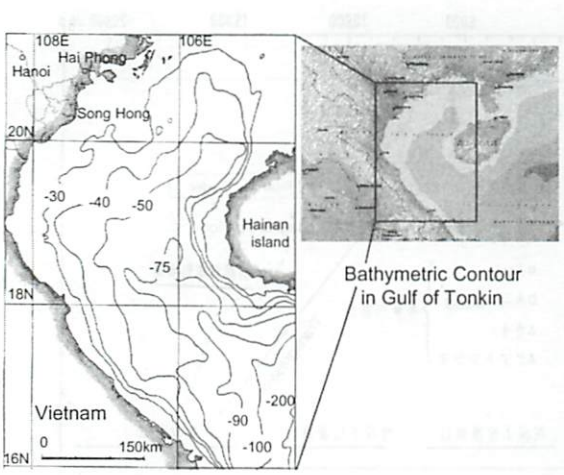


Fig.5 Bathymetric contours in Gulf of Tonkin

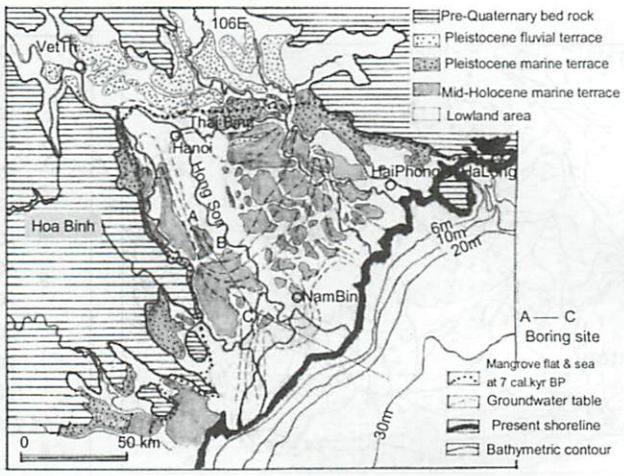


Fig.6 Topographic division in Bac Bo Plain and Bathymetric contours (compiled from Hori et al., (2004) & Tanabe et al.,(2003))

トンキン湾では雨期のモンスーンとともに南から北に時計回りの沿岸流が強くなり、紅河河口からその南にかけて海岸浸食が進んでいる[14]。そのため、水深 20m 前後の海底まで階段状の地形が現在の海岸線と並行に走っている。しかしバックボ平野の北端にあるハイフォンから、石灰岩の奇景で有名なハーロン湾など基盤岩が海岸に迫った地域は、対照的に起伏に富んだ海底地形を示している。ここは、石灰岩山地が海水に没した地域で、上述した 115 km沖合まで押し出した水深が 45m で幅 50 kmの尾根はその一部であろう[13]。海上に残された波蝕ノッチの標高とそこに付着した化石の年代測定値から、更新世以降の海水準変動を論じ第四紀最新期の最大の海進を研究した論文もある[15]。

バックボ平野では最近ボーリング調査が行なわれ、第四紀における平野の地質構造と堆積の発達史が詳しく解析された[16),17),18)]。その結果を水理地質的な観点でまとめたものが **Fig.6** である。まず、現在の紅河と西側を南流するダイ川の間と、東支流のタイビン（Thai Bing）川にほぼ沿った形で埋没谷地形がある[16]。前者はハノイの西まで内陸に入り込む深い谷であるが、後者は広く浅い谷である。両谷は更新世の堆積物で構成される平坦な尾根で分岐する。谷は低海水準期の海退時に下刻された旧河谷で、谷底には河成の砂や礫層が堆積したと推測される。その下底はボーリング C 地点で地表面下 70m 以上である[16]。この旧河谷地形はその河成堆積物（一般に透水性の良い砂や砂礫層から構成される良好な帯水層となる）の被圧地下水位から推定したものである。現在の海岸線下では、100m 弱の深さと推測される。

この谷は最終氷期後の海水準上昇に伴い、ラグ堆積物の上位に河口（エスチュアリー）堆積物、そしてデルタを作る細粒の堆積物によって埋没した。下位の粗粒河成堆積物は良好な帯水層をなし、従来の層序では更新世のハノイ層（第Ⅱ帯水層）に相当する(**Table 1**)[19]。

以上の海水準変動に伴う海進については多くの研究がある（**Fig.7**）[16]。海進の最盛期の海域はハノイ（現在標高 10～12m）の北まで浸入し、下刻谷は下位から上位に向けて河成、河口性からデルタ性の堆積物によって埋没した。南シナ海の海水準変化を示した **Fig.7** には上述した、関東地方（**Fig.4**）に比べて約 6,000 年前の海水準上昇極盛期の凸状のピークがほとんど無く、平滑に現水準に達している。その後の高海面期には、紅河から大量に供給された河成堆積物が海側に押し出し（プログラデーション）て、低平なデルタを形成した。その後さらにプログラデーションが進んだ結果、デルタフロントは現在の海岸線より 10 km以上の沖合まで伸びている。

一連の堆積物の押し出しの大部分は、紅河に沿ってなされ、東支流のタイビン川に流下することは少なかった。このため、紅河は天井川となったものの、その左岸とタイビン川に囲まれたデルタは、堆積物に覆われることなく標高 3m 前後の低い海成段丘が多く残って分布した（**Fig.6**）。当地域の 2 ヶ所で行なわれたボーリング結果では、現地表面（約 3m）から深さ 20m ほどで、更新世（40kaBP と 21kaBP）の段丘層に達し、完新世のデルタ堆積物は非常に薄い[18]。この結果は **Fig.6** の旧河谷の推定と調和する。

Table 1 は以上の地質発達史とベトナム側の資料に基づいて作成した水理地質層序表であるが、現在開発中の井戸群の分布や深さと調和している部分とそうでない部分がある。ハノイの北に分布する更新世の段丘面は、標高が 12～15m 前後で、一つ時代が古い約 12.5 万年前の高海面期（最終間氷期）に相当する時代にできた海成段丘で、かなり風化が進み基質は赤褐色化している。ハノイ首都圏の主要な地下水源の一つである、紅河の北のソクソン地区の井戸群はこの地域に分布している[20]。ハノイ市街地がある紅河の右岸沿いから南にかけて分布する井戸群は、深さが 70m前後であり、上記の埋没谷の下半部にある河成あるいは河口性の粗粒堆積物を帯水層とする地下水を帯水層（ハノイ層、第Ⅱ帯水層）とする地下水を取水している。

従来完新世の浅い第Ⅰ帯水層とされた地層は、深さ約 30m までのタイビン層とハイフン層の砂層である。しかし、一番海側のCに位置するボーリング（ND-1）では、砂層が顕著に連続するエスチュアリー堆積物は下位の更新世末のビンフック層の上部（深さは 25m～35m）に相当し、その上位は難透水性の泥層からなり、第Ⅰ帯水層に相当する地層は存在しない。従ってハノイ近郊で作られた層序と異なっている。

西北側（ハノイ寄り）の DT（B地点）および、CC（A地点）では 20m 以浅に砂層を頻繁に挟む層が連続し、従来第Ⅰ帯水層とされたタイビン層とハイフン層に対比される。両者は Aggregational（埋積性）delta 堆積物としてまとめられ、エスチュアリー層の上位にあって、最終

氷期の海水準低下期に氾濫原の谷を埋めて堆積した砂質な地層と考えられる。

Table 1 Geohydrological succession in Bac Bo plain

Geological age		Formation	Aquifer	Designation	Litho-facies	Thickness (m)
Quaternary	Holo-cene	Thai Binh	lenticular Aquifer	Q2*tb*	silty clay, clay,sand (deltaic sediments)	5~30
		Hai Hung	First Aquifer	Q2*hh*	sand, silty sand (deltaic sediments)	10~30
		Vinh Phuc	Aquitard & Interbedded Aquifer	Uppermost & lower: impermeable Middle: permeable (Q*m*)	clay interbedded with and,gravel (channel infill sediments~ blackish lagoon sediments)	10~30
	Pleisto-cene	Ha Noi Le Chi	Second Aquifer	Q1 2-3*hn*	cobble, pebble with sand (fluvial sediments)	10~20 (north) 30~50 (south)
Tertiary	Pliocene	Bin Bao	Third Aquifer	Neogene aquifer (N2*vb*)	sandstone with pebbles siltstone and shale	35~85
Mesozoic	Triassic	Dong Giao	basement aquiclude	T2a *dg*	massive and thick bedded limestone	unknown

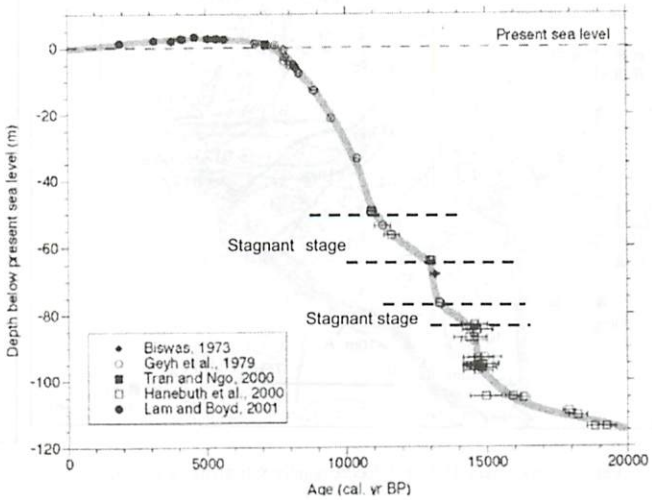


Fig.7 Sea-level change of extreme western South China Sea in the last 20,000 years (modified from Tanabe et al., 2003)

以上述べたように、ボーリングの地層区分はハノイ近郊では従来の層序と適合するが、平野の下流域では適用できないことが分かる。これは、平野下流の表層地質が紅河の押し出しによる細粒デルタ堆積物に広く覆われて層相が異なるためである。これは平野の表層に透水性の低い防護幕をかぶせて海に面した形になっており、塩水浸入に対し抑止効果が期待できる。バックボ平野の塩水浸入が、紅河とタイビン川に沿った形で、内陸に深く浸入しているのは、他の地域に比べ埋没谷に沿って取水が集中し、水位降下が大きいためであろう[3)]。

4.2 ナンボ平野(メコンデルタ・ホーチミン平野)

ナンボ平野の沖合では海底地形の等深線はほぼインドシナ半島南部の海岸線を延長した南北方向に走っているため、大陸棚斜面はデルタから真東の方向に勾配が最も急となる[21)]。深さ100mの等深線は、メコン川の河口から約33 kmの沖合を、75mの等深線はそれとほぼ並行して30 kmの沖合を、50mの等深線は24 kmの沖合を通り、30mの等深線は16 kmの沖合に位置する。100mと200mの等深線は、さらに南に伸びたあと東の南沙列島の方向に湾曲し、緩い谷地形をなしている。これは **Fig.3** の最北部に相当する地形であろう。75m以浅の等深線は、デルタ西端の海岸線に沿うように西方に湾曲して、タイ湾へつながっている。

このように、メコンデルタの沖合の大陸棚は、全般に平滑な海底面を示し顕著な谷地形はみられない (**Fig.8**) [21)]。おそらく、最終氷期の海退時に大陸棚に下刻谷は形成されたが、9つの河口に分かれて吐き出されたメコン川水系の大量の堆積物によって埋積されたと推定される。なぜならトンキン湾に比べ現況で4倍ほど急な勾配の大陸棚であることと、現在のデルタの地下に埋没谷が潜在することがボーリングで確かめられているからである。しかしながら細かく見ると、谷地形の痕跡がある。ベトナム南部の大都市ホーチミンを流れるドンナイ川の河口の沖合には現在の流路方向の東南側延長の北側に、並行して深さ5m、10m、15m、20mの等深線が描く西北西~東南東方向の末広がりの明瞭な海底谷がある[22)]。これより東の以深の沖合では、谷地形は不明瞭になり36m~54mまで平坦な海底面が広がり、深さ100mの沖合まで平坦な大陸棚の海底面が続いている。

このように、現在の河口から比較的近い部分に、谷地形の痕跡が残った要因は二つ考えられる。一つは、ドンナイ川は、サンゴン川と合流したあと最下流の河口にかけて、長さ45km、幅25kmのかなり広い複合デルタを形成し、支流網が入り組んでいる。これは過去河川が陸域から広い幅の河口に流路を変えながら懸濁堆積物を沈積させてしまい、デルタを形成したことを示している。二つ目は、ベトナム南岸では東から西に向かう沿岸流が卓越するためドンナイ川から吐き出された土砂が、西に流されることも影響していると思われる。沿岸には、デルタの海岸線と並行に深さ10m~20mの平坦な階段状の地形があり、東から西に時計回りの沿岸流が卓越していることを示している。

海水準低下期に上記の谷に沿って、河成の砂や礫層が押し出し分布している可能性は高い。この地層は透水性が高いから、滝沢 (2007) が推定したホーチミン市の地下で淡水地下水が流動する回廊 (塩素濃度400ppm以下) [23)]の下流として連続するのかもしれない。

メコンデルタでは、過去に5本の深い調査ボーリングがあり、最も深い孔は2000mを超えて基盤岩に達した[24)]。また最近デルタの東部を中心として10ヶ所でボーリングコアが採取され、主として第四紀完新世の地質と層相の変化が細かく解析された[24),25),26),27),28)]。それらの結果と合わせて、最終氷期前後の海水準変動とデルタの変遷をについて考察する。

デルタは最終氷期に海退して陸化し、更新世の地層を浸食して下刻谷が形成された。過去のデータでは現在のデルタ中央と東部にほぼ南北方向に刻まれた3条の埋没谷がボーリング結果から推測された[29)]。西側の谷は、ベトナム側の資料では標高マイナス60mで閉じた凹地形と表現されている。しかし、最近の結果を総合すると、まずデルタ最下流の海岸線に沿った5本のボーリング(VC1~GC1)は、ほぼ20mの深さで更新世の地層に到達し、完新世の地層は非常に薄いことが分かる(**Fig.8、Fig.9**)。内陸のボーリングDT1、VL1によればその境界は内陸側に向かって深くなるため、撓上した更新統の壁が海岸線に沿って潜在する形になっている。これは従来にはなかった新事実である。

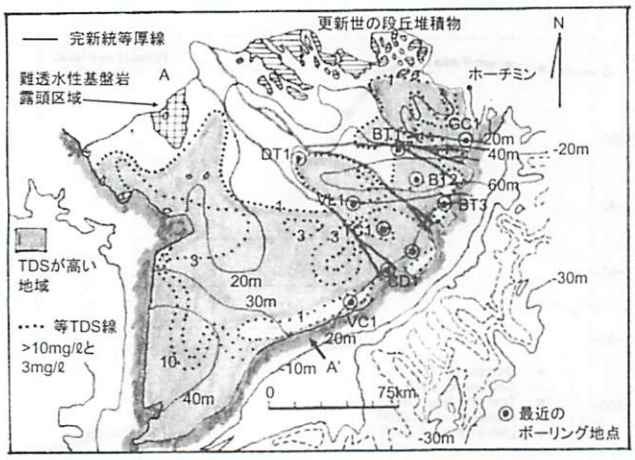


Fig.8 Isopach map, TDS of Holocene aquifer & bathymetric contours

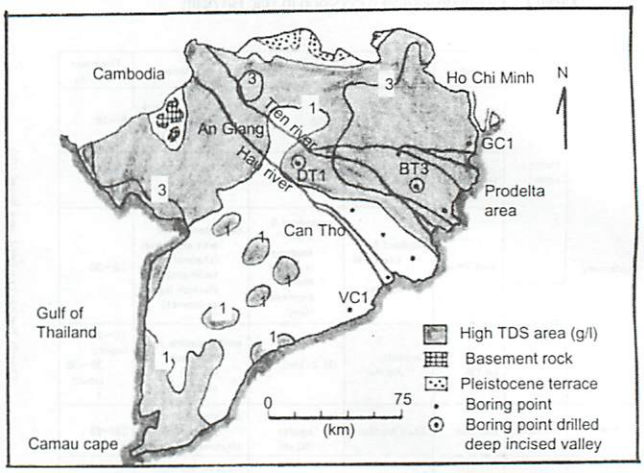


Fig.9 Middle～Late Pleistocene Aquifer & TDS zone

深さ 70m を超える埋没谷が潜在すると思われる地点は、現在の段階で、内陸のドンタップ県の Sa Bac の西(DT1)と、ベントレ県の Giong Trom(BT3)で見つかっている(**Fig.8、Fig.9**)。後者の深さ 61m で採集された木片の年代は 13,200cal yr BP である。この 2 地点を結ぶ西から東に向かう谷が存在するのか、別の谷であるのか今のところ分からないが、以下の考察により、東西方向に連続した埋没谷であろう。

一つの推測はデルタ南の沖合の海底地形に 2 条ほどの谷の痕跡が追跡されるため、それぞれ 2 本のボーリングと結んだ南方向に開いた 2 つの埋没谷が、上記の壁を横断浸食して大陸棚とつながっていたということである（**Fig.8**）。もう一つの推測は、2 本のボーリング方向に埋没谷が潜在するということである（**Fig.8、Fig.9**）[29]。それは上記の壁方向から塩水浸入がなく（**Fig.9**）、地下水位も谷状に西から東に低くなるためである。従って連続した東西方向の 1 つの埋没谷が存在する可能性が高い。Ta et al.(2005)は後者の見解のようである[27]。

海岸沿いには更新統の撓上により被圧水頭が高くなって、塩水浸入を抑制する構造ができた。しかし埋没谷方向には、内陸での水位降下に伴って、浸入が内陸まで及び TDS（全溶存物質）が高くなったと考える方が自然な解釈と思われる。BT3 の東沖合の海底にデルタの前置層となるプロデルタが存在することもこの考え方と調和する。

その後 最新の海進（日本の縄文海進）による海域は、カンボジアとの国境線（標高 5m 付近）まで北上したため、西北部の基盤岩の山地と、東北部に散在する更新世の段丘を除き、現在の平野をほとんど水没させた[24),25)]。その海進最盛期の年代は 5,300cal yr BP である。その後高海水準期のプログラデーションが生じて、デルタが前進してゆき低平な現平野が完成した。

この海進に伴って上に述べた谷は埋没したが、その層相は各ボーリングで細かく解析された。BT3（深さ 71m）と DT1(同 53m) は、それぞれ深度 58m と 42m で更新世の地層（10,000cal yr BP）に達したが、埋没谷の基底（シーケンス基底面)には到達していない。埋没谷は紅河のボーリング結果と同じように、最下位に河成の粗粒堆積物があり、その上位に海進時に堆積したエスチュアリー堆積物とデルタ堆積物によって埋没した。更新世末の地層である最下位の河成砂礫層と砂層は淡水を含む良好な帯水層となっている。BT3 の深度 40～50m には植物片や有機物を多く含む内湾性の細粒堆積物がある。

デルタの南沖の海底では、海面下マイナス 30m～40m 付近に平坦な段状の地形が認められる。これは最新の海進時に海水準上昇が一時停滞し、デルタから河口域の堆積環境が出現していたことを示している（**Fig.8**）。その証拠は停滞水域とかん水域に生息するアシ原などを起源とするピートなど植物起源の有機質堆積物やカキなど底棲貝類化石の存在である（**Fig.4**）[26]。

最近、メコンデルタの中央を流れるティエン川とハウ川に沿った浅い井戸（深さ 60～70m まで）から、高いヒ素濃度（基準は 10μg/l）の地下水が数多く検出された[30]。ガンジス平野でも 100m 以浅の井戸から高いヒ素の濃度（基準は 50μg/l）の地下水が採取されている。第四紀末の海進とその停滞期はこれらの地域に、塩水域であるラグーンや氾濫源を出現させ、有機質堆積物を含む地層が堆積する層準を形成した。それはヒ素が濃縮する堆積環境と密接な関係があると推測される[31]。メコンデルタの帯水層の分布と、時代の異なる帯水層における TDS 濃度の複雑な分布と海水浸入の機構、そしてヒ素を含む浅い帯水層の分布は、以上に述べたように第四紀末の海水準変動を解明することによって、かなり深く理解できるようになった。

4.3 チャオプラヤ平野とタイ湾

タイのマレー半島とカンボジアに囲まれたタイ湾は南北約 600 km、東西約 500 kmの広がりを持ち、ほぼ西北―東南方向の軸を持つ長方形をした広大な海域である。タイ湾の海底には、大陸から続く南北方向の並行断層が数多く見られ、構造運動によって陥没した盆地に海が浸入した形である[32]。

しかし、タイ湾北部の海底は極めて浅く平坦である[33]。チャオプラヤ川の河口から南に 70km 沖合まで深さ 20m 以浅、170 kmまで 20m～30m、200 km（北緯 11 度 40 分）まで 30m～40m と極めて平坦である。この深度以深から南に開いた緩い谷地形の痕跡が見られる。約 750 km

沖合になると、ほぼタイ湾の南縁にあたる。メコンデルタの西端のカマウ岬とマレー半島東側のコタバルを結ぶ、約380 km幅の海域（北緯7度30分）で、水深は約60mである。

Fig.3 に示すように、タイ湾のさらに南、900 km離れた（北緯5度）辺りでも水深70mであるから、この間も南傾斜のなだらかな大陸棚の海底面が続いている。これは構造運動を受け陥没した盆地である大陸棚の海底を新期（第三紀から第四紀）の堆積物が被覆したことによって形成された海底地形であろう。その縁辺部のかなり東方が**Fig.3** にあるボルネオとメコンデルタの間の水深100mを越す大陸棚縁辺である。

一方、タイ湾の最北では、最終氷期の下刻谷と思われる痕跡が二ヶ所で認められる（**Fig.10**）[33]。西のタチン川河口の南40kmの沖合から深さ20m以深で幅約7 kmほどの谷筋が見える。東のバンパコン川では河口から西南方約24 kmの沖合に、やはり深さ20m以深で幅約100 kmの谷が入り込んでいる。両谷筋を分けているのは11～18m以浅の緩やかな盛り上がりである。ここはチャオプラヤ川から吐き出された新期の堆積物によって埋積された可能性が強い。したがってタイ湾の奥は当初は幅が広い一つの下刻谷であったと思われる。

最新の海進による海域はチャオプラヤ川の河口から約90 kmのアユタヤ付近（標高6m）まで遡った。チャイナットの北まで広がる現在の平野のほぼ南半分が海没したことになる。この海進によって内湾に堆積したのが内湾性堆積物のバンコック粘土である。日本の有楽町層や、有明粘土に相当する。非常に軟弱な海成粘土で、かん水を含んでいる。層厚は最大約26mである（**Fig.10**）[34]。

この粘土は地下水採取の対象ではないが、粘土層の最下位に、ラグ堆積物の砂礫層をレンズ状に挟む個所があり、最上位の帯水層Ⅰとして小規模に利用されている。この粘土層は下位の帯水層の過剰な取水による地下水位低下によって、圧密を受け地盤沈下した地層である。実際過去に地盤沈下の被害が大きかった地域と、バンコック粘土の厚い地域は重複する。また、帯水層の地下水位低下により、かん水が下位層に漏水する可能性も指摘されている。

1990年代盛んに下位の帯水層Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ（深度300mまで）から揚水したため、地下水の塩素濃度が高くなった。その際、明らかに海水浸入と考えられる沿岸部は別として、内陸部で塩素濃度が高くなった個所（例えばⅡ層(100～150m) のナコンパトム県の北端で最大8000mg/l、アユタヤ県の南端で4000mg/l が発生した）が現れた(**Fig.11**)[35]。その分布は水位降下が大きい地域とほぼ一致する。さらに前者とほぼ同じ地域の帯水層Ⅳではその濃度は4000mg/l と薄くなるので、帯水層Ⅳは塩水浸入とは関係がない。これらの地域の濃度分布はバンコック粘土が16～26mと周辺より厚い地域と似た分布をするため、バンコック粘土のかん水が鉛直浸透した可能性が高い。

バンコック粘土の分布域は、人口が集中し過去に地下水や洪水問題が顕在化した下部チャオプラヤ7県にほぼ相当する。バンコック首都圏東北部郊外では総合治水対策中で、迂回堤防（キングダイクやインナーダイク）とその外周の遊水池、内側での土地開発規制、大型地中排水トンネルなど精力的に対策が進められている[36]。

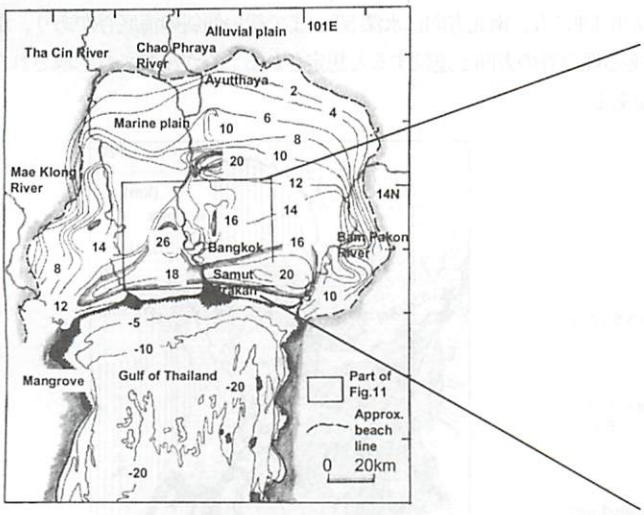


Fig.10 Bathymetric contours in north Gulf of Thailand & mangrove Isopach map of Bangkok clay in south Chao Phraya Basin

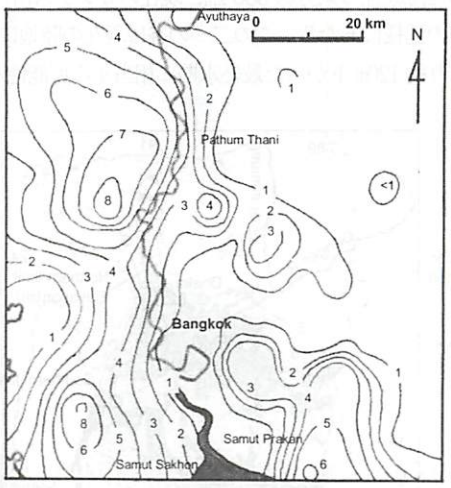


Fig.11 Chlorite content in Aquifer (2),1993 (*1000 mg/l)

バンコックの東北部郊外から灌漑用水と一緒に流入してくる洪水を一時貯留する遊水池は、バンコック粘土の厚さが15m以浅の地域の東北部にあたる。1990年代には下位の帯水層（Ⅱ）の地下水利用によって水位はで地面下24mに降下したが、地下水の塩素濃度は1000mg/l以下（**Fig.11**）であった。現在の水位は回復途上にある。そこは7県にとって地下水盆の上流域にあたる。しかも灌漑水は洪水に比べ細粒土沈殿させている。ダイクの外に配置された遊水池を利用して地下水の人工涵養地域とする条件として悪くないと思われる。さらに現在周辺に土取場跡地として雨水貯留量1270万 m^3 のの国有地が確保してある[37]。遊水池として有効に利用する方策を考えることを強く提言したい。その分布については今のところよく分からない。

ここで問題となるのは湛水するため稲作に被害を受ける農民との利害の対立である。これは洪水が発生した場合、遊水池の大半が現在稲作を営んでいる水田を対象としているため、水没した稲が数日で立ち腐れをおこし、農民が収入の道を絶たれることを意味している。

洪水は原因が自然現象であるため、政府側からの補償は考えられないとのことであり、一方で遊水池の排水能力が稲作に被害がおよばな

い範囲で迅速に行なわれる保証もないのが現状であろうかと思われる。しかし災害だからと農民を放っておける問題ではないだろう。

タイ湾のもう一つの特徴は時計回りの沿岸流があり、海岸線の浸食と堆積が繰り返されていることである。特に北タイ湾の西海岸沿い約250km間と、チャオプラヤ川の河口の西海岸と東海岸で顕著である[38]。前者では水深10mの等深線が海岸線に並行に走っており、その幅約5kmの間に沿岸流特有の階段状の海底地形ができている（**Fig.10**）。岬の間の干潟にマングローブ林が発達している。チャオプラヤ川では河口の西海岸が、浸食され、東海岸に堆積しているが、浸食の速度の方が大きい。海岸線の変動はタイの観光産業にとって影響が大きいとの事である[32]。

4.4 ガンジス平野

ガンジス平野の沖合に広がるベンガル湾の海底は今まで述べた平野と様相が異なる。まず、バングラデシュの東部をインドネシアのスマトラ島沖から伸びたプレート境界の大構造線が南北に走り、それを境に地質が大きく東と西に分断され、両者で大きな落差がある。構造線の東では中生代末～第三紀の基盤岩がチッタゴン山地に露頭するが、西では第三紀中新世の地層は地下3000m～3500m近くに潜在し、新期の堆積物に厚く覆われている[39]。また、大陸棚は50～100kmほどの幅で狭く、急激に深くなる[40]。

バングラデシュでは、ガンジス平野のほぼ中央にあたる、ジャムナ川とガンジス川の合流点付近で行なわれたJICAのボーリング調査の際、深度110mで木片を採取し、28,320年前の放射性炭素年代を得た(**Fig.12**のJICA Boring)[41]。その上位（深度90～100m）に河川の砂礫層がある。この結果によって初めて、ジャムナ川の地下に更新世末期（最終氷期、18,000～19,000年前）に相当する河成の基底礫層が堆積し埋没谷が存在することが判明した。

したがって、それ以浅の堆積物がほぼ最新の海進に伴う堆積物に相当する。それは、下位から中粒砂層（厚さ30m）、細粒～中粒砂層（厚さ20m）、その上位がシルト～細粒砂層（厚さ30m）である。さらに、約100km南にあるクルナでは深度40mまで地質がボーリング調査され、ジャムナ川の地下に分布する地層と対比され南に傾斜してつながると推定された[42]。最近クルナの東南Bagerhatで実施されたボーリング（BH-1, 深度90m）で60m以深に河成の砂層が厚く存在し、深度55mの木片から9219calyrBPの年代が得られた（**Fig.12**）[43]。

一方、ジャムナ川からクルナを結び、その南の延長にあたるベンガル湾の海底約55kmの沖合まで続く、水深100mに達する明瞭な海底谷が認められる（**Fig.12**）。このことから、最終氷期にこの海底谷と現在のジャムナ川を結ぶ方向に旧河川谷が連続していた可能性が強いと考えられ、これを古ジャムナ川と新称した[3]。この海底谷は、海岸線からさらに約150kmの沖合までゆるく西に大きく凸状の弓なりに追跡され、その深度は急激に深くなり最大1200mを超える。このため、最終氷期の海退時の浸食による下刻谷のみとは考えられず、沈降を伴った海底構造地形と重複していると推測される。

以上述べた海底谷の東方約300km、現在のガンジス川の河口沖にも、南北方向に水深50mまで緩い傾斜の海底谷があり、現在のガンジス川の河口の延長にあたる。この二つの谷は現在の陸地にある埋没谷の方向と連続すると想定される。谷が浸食され形成されたのは、海水準が現在より約120m下がった最終氷期に相当する可能性がある。

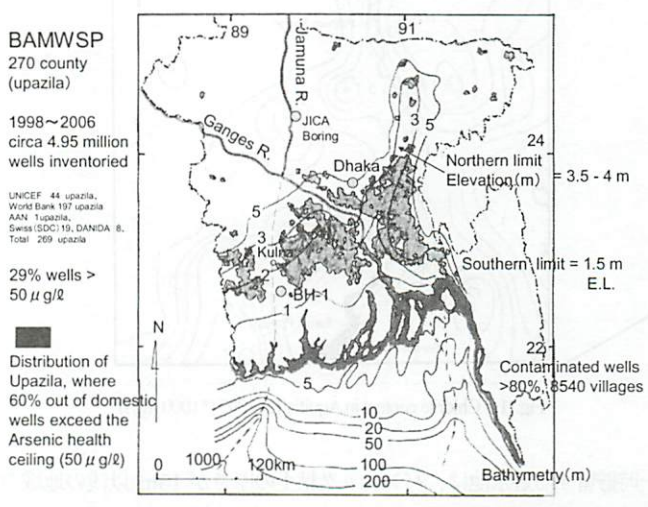


Fig.12 Old incised river, submarine valley & Arsenic contaminated zone (bathymetry in meters) (modified from BAMWSP)

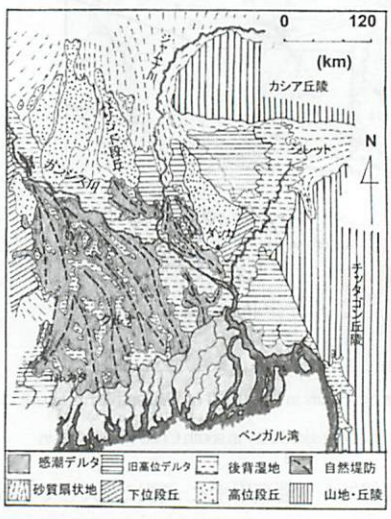


Fig.13 Topographic pattern in Ganges Delta Plain (simplified & added from Oya,1993)

筆者はガンジス平野の西半分は、ガンジス川の右岸に弧状に伸びる何条もの自然堤防を作りながら吐き出された氾濫原堆積物により、完新世の比較的早い時期に埋没されたと考えた（**Fig.13**）[3),43)]。そのため、古ジャムナ川を流下する堆積物の供給は早く絶たれ埋没谷となった。その後、ジャムナ川は流路を失ってガンジス川と合流し流路を東遷させながら東流を続けたため、東の海底谷は現在まで河川が供給する堆積物によって埋没され不明瞭になったと考えられる。この2つの埋没谷は、ヒ素に汚染された地下水の割合が20%以下と極端に低い井戸の分布域と深いかかわりをもっている[3]。

ガンジスデルタ形成の上で重要なことは、膨大な土砂がガンジス川とブラマプトラ川という2つの大河を通して流れ出てきたことと、そ

の堆積の場が時代と共に大きく変遷したことである。Goodbred Jr., (2000) らはボーリング調査と共に過去の結果と最近の年代測定値を総括して、当平野の第四紀における構造発達史をまとめた[43),45),46)]。そのなかに上記の推測を裏付ける部分がある。「ガンジス平野の西部では7000cal yr BP までに、海水準の上昇を上回って堆積物がガンジス川から供給されたため、海岸では堆積物が押し出し多数のバイパスを作ってデルタを急速に広げた。そのためブラマプトラ川の堆積物は内陸の構造性盆地に隔離されてしまった。その結果海進は東部デルタに沿って進行した。次いで5000cal yr BP までに、2つの河川は流路を変え合流して東部デルタに沿って流れるようになった。これが今日のガンジス川で、3000cal yr BP には現在のデルタの形はほぼ出来上がった。」とあり、すでに述べたジャムナ川の閉塞とガンジス川の東遷に地質的な裏づけをしたことになる。ベンガル湾沖の西の海底谷が明瞭に残り、東の海底谷の傾斜が緩く地形が不明瞭になっている違いは、谷の下刻後、海水準が上昇する地質時代にもたらされた堆積物の量の違いであろう。

バングラデシュにおける最新の海進（日本の縄文海進に相当）は、沿岸植物の花粉の研究から現地形標高の3.5m前後といわれている（**Fig.14**）[43),47)]。Goodbred Jr.,の結果は地表に近い軟弱層の圧密沈下を考慮したため、全体に標高は低くなっている。他のデルタに比べ堆積の速度が非常に速いため不確定な部分も多い。また、最新の海進時に2度の停滞期があった。とくに現海面下30～40m付近では2000年間ほど海水準上昇が停滞した。ガンジス平野でもマイナス30m～40m間の長い停滞期が明瞭に見て取れる（**Fig.14**）。この間にかん水が漂う河口域やデルタが形成されたと考えられる。そこでは、後背湿地や氾濫原が形成され、マングローブやアシなどの湿原植物が繁茂したため大量の有機物が堆積した。これが現在バングラデシュの地下30～40mにみられるピート層の起源であり、ヒ素が濃集する。**Fig.12** に示すように、この最新期の海進による海域の北の範囲は、ヒ素濃度が50 μg/l の健康基準値を越える井戸の割合が60%以上の地域の北限（標高3.5～4.0m）とほぼ一致する。さらに、ヒ素に汚染された地下水は100mより浅い井戸から取水される。これは上流から亜ヒ酸イオンとして流下してきたヒ素が、最新期の海進の時に、流れの停滞した河川環境（エスチュアリーからラグーン）のなかで繁茂した植物体内に濃縮し枯死した遺骸が泥となり堆積した結果と考えられる。バングラデシュの潮位は現在3.3m～3.8mと比較的大きいが、過去も同じレベルであったと仮定するとその潮位差と波浪による浮泥堆積作用で、その範囲は海成層の分布限界よりさらに上流側に広がっていたと考えられる。

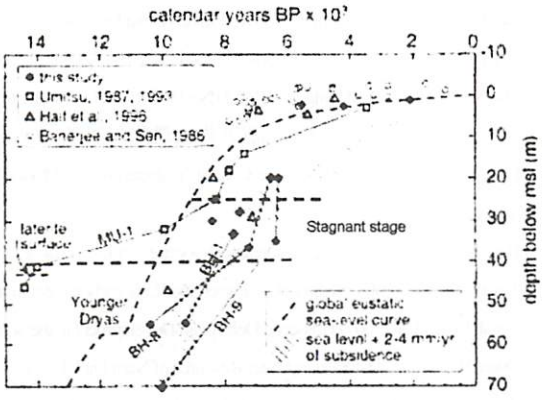


Fig.14 Sea-level change in Ganges Delta Plain (added to Goodbred Jr., 2000)

5. あとがき

1）本編ではアジア・モンスーン地域の大陸縁辺に分布する、バックボ（紅河）平野、ナンボ（メコンデルタ）平野、チャオプラヤ平野、ガンジス平野における、第四紀末の海水準変動と、平野の成り立ちをとりまとめた。その結果、これらの平野の地形や水理地質構造は、第四紀末の更新世から完新世にかけての地質から構成され、地下水を含む帯水層の分布や水質は海水準の変動と密接に関係していることが分かった。

2）第四紀最新期に海水準が上下する変動は全地球的な規模でユースタティックに起こった現象であるが、1）に述べた平野は地質的な場の違いによってそれぞれ堆積の状況が異なる点のあることが分かった。

3）各平野の地下水の開発に伴って発生した地下水障害（塩水浸入、地盤沈下、地下水汚染）の状況は、人為的な原因はもちろんであるが、その影響の度合いは水理地質構造や堆積環境の違いを反映する点が多いため、地域ごとに両者の関連性について解明に努めた。

4）最近地球温暖化により海水準の上昇が世界的な環境問題となっている。標高の低い低平地であるデルタは、土地の生産性が高く、人口密度と増加率が高い地域であるため、これらの平野の地質学的研究はめざましく進歩している。とくにシーケンス層序学を基本としてデルタの発達年代史は地質や地形だけでなく、沿岸流、潮汐、波浪の影響を総合的に考慮した比較研究の段階に進んでいる。

5）これらの成果を組み込んで、地下水問題は従来の地質層序や水理地質を見直す時期に来ていると思われる。本編では出来る限り最新の情報を理解したうえで水理地質構造発達史の解明に取り組んだ。

謝辞

本研究には独立行政法人「科学技術振興機構」(JST)による戦略的創造推進事業（CREST）平成15年度採択課題「人口急増地域の持続的な流域水政策シナリオ」ーモンスーン・アジア地域等における地球規模水循環変動への対応戦略（研究代表者砂田憲吾教授）の一部の研究費を使用している。さらに九州大学理学研究科の下山正一博士には本稿の校閲を頂いた。関係各位に厚くお礼を申しあげる。

（原稿受付　2008年10月19日）（原稿受理　2009年1月27日）

参考・引用文献

1) 辻　和毅 (2006a) アジアモンスーン地域・沖積平野の地下水利用と保全政策の比較(その1)，四万十・流域圏学会誌，5, 43-50.

2) 辻　和毅 (2006b) アジアモンスーン地域・沖積平野の地下水利用と保全政策(その2)，四万十・流域圏学会誌，6, 23-30.

3) 辻　和毅（2006c）アジアモンスーン地域・沖積平野の地下水利用と保全政策(その3)，四万十・流域圏学会誌，**6**, 31-38.

4) 辻　和毅（2007）アジアモンスーン地域・沖積平野の地下水利用と保全政策(その4)，四万十・流域圏学会誌，**6**, 25-34.

5) 星野通平（1983）海洋地質学，地学団体研究会 p. 373

6) Siddall, M..et al.(2003)　Sea-level Fluctuation during the Last Glacial cycle. Nature, **423**, 853-858.

7) Pirazzoli, P.A.（1991）　World Atlas of Holocene Sea-level, Changes.Elsevier, Amsterdam, p.300

8) Flint, R .F. (1971)　Glacial and Quaternary Geology，John Wiley & Sons，New York, p.892

9) Kazizuka, S. et al. (1977) Recent Formations and their Basal Topography in and around Tokyo Bay, Central Japan, Quaternary Research, **8**, 32-50.

10) 貝塚爽平（1979）東京の自然史，紀伊国屋，東京. p. 239

11) Tanabe, S. et al.. (2003) Song Hong (Red River) Delta Evolution related to Millennium-scale Holocene Sea-level changes. Quaternary Science Review, **22**, 2345-2361.

12) 海上保安庁水路部（1991）海図No. 1501（海南島及近海, 1:1, 500, 000）.

13) The Navy of the United Kingdom (1953) No.1965. (Gua Luc Giang to Iles Kao Tao including the Delta of Song Ca . 1:200,000).

14) 春山成子（2004）ベトナム北部の自然と農業. 紅河デルタの自然災害とその対策，古今書院. 東京，p. 131

15) Lam, D.D. et al.. (2000) Holocene Coastal Stratigraphy and Model for the Sedimentary Development of the Hai Phong area in the Red River Delta ,North Vietnam. Jour.. Geol..series B, 15-16, 18-28.

16) Hori, K. et al..(2004) Delta Initiation and Holocene Sea-level change: Example from the Song Hong (Red River) Delta, Vietnam. Sedimentary Geology, **164**, 234-249.

17) Tanabe, S. et al.. (2003) Sedimentary Facies and Radiocarbon dates of the Nam Dinh-1 core from　the Song Hong (Red river) Delta, Vietnam. Jour. Asian Sciences, **21**, 503-513.

18) Funabiki, A. et al. (2007) Holocene Delta plain Development in the Song Hong (Red River) Delta,Vietnam. J our .Asian Sciences, **30**, 518-529.

19) Doan, V.C. et al.. (2005)Groundwater Resource of Nam Dinh Province. Jour. of Geology, Vietnam,, **25**, Series B, .31-42.

20) Pham ,V. T.　(2007)　Presentation of Hanoi Water Works, Hanoi

21) 海上保安庁水路部（1975）海図:No. 1502（南シナ海. 1:1, 200, 000）.

22) The Navy of the United Kingdom (1961) Chart:No.1016 (Song Saigon.1:75,000).

23) 滝沢　智　他 (2007) Towards Sustainable Management of Groundwater Resources in Ho Chi Minh City (HCMC), South Vietnam. 砂田クレスト発表会 Presentation.

24) Nguyen,V.L et al.（2000）Late Holocene Depositional Environments and Coastal Evolution of the Mekong River Delta, Southern Vietnam. Jour. Asian Sciences, **18**, 427-439.

25) Ta, T. K. O. et al.　(2002) Sediment Facies and Late Holocene Progradation of the Mekong River Delta in Bentre Province, Southern Vietnam: an Example of Evolution　from Tide-dominated to a Tide- and Wave-dominated Delta. Sedimentary Geology, **152**, 313-325.

26) Tanabe, S. et al .(2003) Delta Evolution Model Inferred from the Holocene Mekong Delta, Southern Vietnam. SEPM, Special Publication, **76**, 175-188.

27) Ta, K.O. et al..(2005) Holocene Delta Evolution and Depositional Models of the Mekong River Delta, Southern Vietnam.SEPM, Special Publication, **83**, 453-466.

28) グエン・ヴァン・ラップ　他（2005）完新世におけるメコンデルタの発達. 地質学雑誌, 111, 11 号，XXI.

29) Hung, D.T.(2004)　Presentation for Hydrogeological Conditions of the Lower Mekong Delta. Division of Hydrogeology & Engineering for the South (DHES), Seminar

30) Nguyen, V. L. et al.（2006）Arsenic Contamination on Groundwater in the Mekong River Delta, Vietnam. Proceeding of the 1st International Symposium on Health Hazards of Arsenic Contamination of Groundwater and its Countermeasures. 87-91.

31) 吉村尚久・赤井純治（2003）土壌および堆積物中のヒ素の挙動と地下水汚染－総説－. 地球科学，**57**，137-154.

32) Sinsakul, S. (1992)　Evidence of Quaternary Sea level changes in the Coastal areas of Thailand. Jour. of Southeast Asian Earth Sciences, **7**, 23-37.

33) The Navy of the United Kingdom　(1987)　Chart No.3965 (Purachuap Khiri Kan to Ko Chuang.1:240,000).

34) Nutalaya, P. et al.. (1981) Bangkok : the Sinking Metropolis, Episodes, **4**, 3-8.

35) Sucharit, K. (2005) Seminar Presentation on Water Resources Management in the Alluvial Flood Plain in Asia-Groundwater and Water Demand Forecasting Problems in Aisa

36) 吉川勝秀・宮本守（2006）人口急増地域の治水政策に関する総合的・体系的な治水対策シナリオの設計・提示. 水文・水資源学会誌，**19**，4，266-279

37) 松下　潤（2008）バンコクの急激な都市化のもとでの流域管理政策手法、クレスト発表会資料，p. 2

38) Wongwissessomjai et al..(1990) Coastal Erosion .Proceedings of 1st Seminor on Environment,Bangkok (edited by Surada, S.et al..) 203-221.

39) Reimann, K.U.(1993) Geology of Bangladesh., Gebruder Bomtraeger, Berlin, p.160

40) The Navy of the United Kingdom　(1985) Chart No.859 (Raimangal River to Elephant Point.1:300,000).

41) Chida, M.. (1975）Study Report on Subsoil Investigation Works for Jamuna River Bridge Construction Project in JICA 2ndStage Report, S1-S8.

42) 海津正倫（1997）世界の地形（貝塚爽平編著），第3章－2 ガンジスデルタの地形 東京大学出版会，東京，pp. 108－120

43) Goodbred Jr., S.L.et al..(2000)　The Significance of Large Sediment Supply, Active Tectonism, and Estuary on Margin Sequence Development: Late Quaternary Stratigraphy and Evolution of the Ganges-Brahmaputra Delta. Sedimentary Geology, **133**, 227-248.

44) 大矢雅彦（1993）河川地理学. 第16章プラマプトラージャムナ川 古今書院，東京，pp. 170-194.

45) Goodbred Jr., S.L.(2003) Control on Facies Distribution and Stratigraphic Preservation in the Ganges-Brahmaputra delta. Sedimentary Geology, **155**, 301-316.

46) Allison,M.A. (2003)　Stratigraphic Evolution of the Late Holocene Ganges-Brahmaputra lower Delta plain. Sedimentary Geology, **155**, 317-342.

47) Shahidul I.,M.. (2001)　Sea-level Changes in Bangladesh : The Last Ten Thousand Years. Asiatic Society of Bangladesh, p.185

[四万十・流域圏学会誌 第8巻 第1号 45-52 2008]

<おしらせ>

四万十・流域圏学会 第9回総会・学術研究発表会のお知らせ

四万十・流域圏学会第9回学術大会実行委員会
実行委員長 山崎慎一

平成２１年６月６日（土）に高知工業高等専門学校で開催される四万十・流域圏学会第９回総会・学術研究発表会と７日（日）の見学会にむけて、発表者および参加者の募集を行っています。今回は「河川マイスター」の４名の先生をお迎えして日本の河川と四万十川について語っていただきます。また、小中学生向け見学会では浦戸湾を船で見学してあまり目にすることのない海からみた港や河口の様子も見ていただきます。奮って御参加下さい。なお、６日（土）午後のポスターセッション、ユースセッション、企画セッションは一般公開（参加費無料）です。

プログラム

6月6日(土)第9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
9:05～10:25　一般セッション・講演
10:25～10:30　休憩
10:30～11:30　企画セッション:四万十かいどう
11:30～12:30　総会
12:30～14:00　昼食・ポスターセッション(コモンズルーム)
14:00～15:00　ユースセッション(小・中学生、高校生の調査研究発表)
15:00～17:00　企画セッション:日本の川と流域を語る
テーマ:河川マイスターin 四万十(四万十川現地視察の結果を交えた河川セミナー)
講　師:島谷　幸宏(九州大学教授)
沖　大幹(東京大学生産技術研究所教授)
泉　典洋(北海道大学大学院教授)
高橋　裕(東京大学名誉教授)
17:00～17:05　閉会挨拶
18:30～20:00　懇親会

6月7日（日）9:00～12:00　浦戸湾港湾施設と木材団地の見学会
見学内容：高知市種崎から監督測量船「とさかぜ」に乗り、船上から各種港湾施設を見学します。また木材団地（仁井田）で、原木市場、製材、CAD、プレカットの作業工程を見学します。
参加資格：小中学校の生徒（小学生は必ず保護者同伴）。参加費は無料（保護者含め先着20名まで）。
集合場所：国土交通省四国地方整備局高知港湾空港整備事務所（高知市種崎874番地）に9:00集合
申込先　：石川妙子　TEL/FAX　088-850-1023、E-mail：n.river@mac.com

6月7日（日）　9:30～12:00　河川マイスターとの鏡川見学会
見学内容：河川マイスターの４人の先生と一緒に鏡川を見学します。どなたでも参加できます。
その他　：集合場所、見学場所、参加費などは申込者に別途ご連絡します。
申込先　：村上雅博　TEL　0887-57-2418、E-mail：murakami.masahiro@kochi-tech.ac.jp

1.　学術研究発表会の参加費他

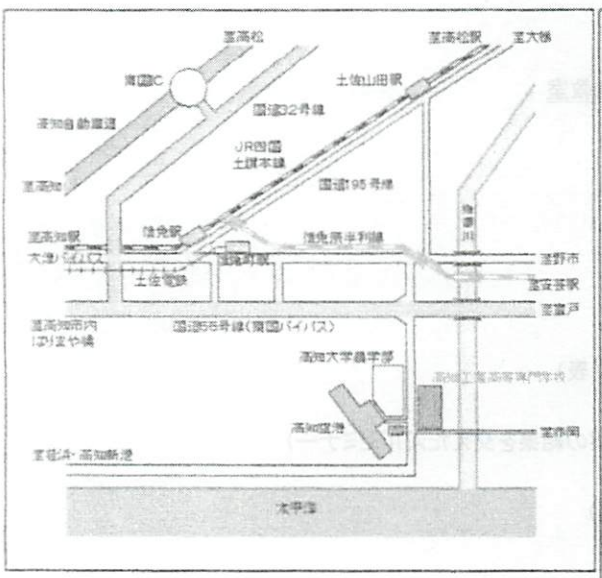
○受付で大会参加登録をしてください。参加費は当日会場にて支払い、領収書をお受け取りください。
ユースセッション、ポスターセッション、企画セッション（午後の部）は一般公開（参加費無料）です。
一般・会員3000円、　学生（大学院生を含む）1500円
○懇親会費は、一般・会員5000円、学生（大学院生を含む）2500円。（当日変更となる場合があります）
○所属機関長宛の出張依頼書が必要な方は、返信封筒にご本人の宛先と80円切手をのり付けして、四万十・流域圏学会事務局にご請求ください。

2. 総会・学術研究発表会場(高知高専)への交通手段

○航空機利用　東京から1時間20分、大阪から35分、高知空港から高知高専まで徒歩10分
○JR利用　JR後免（ごめん）駅からタクシーで約10分
JR高知駅前から空港連絡バスで高知大学農学部前下車（40分)、高知高専まで徒歩3分
○車利用　高知自動車道南国ICから高知高専まで20分

3. 総会・学術研究発表会に関するお問い合わせ

四万十・流域圏学会第9回総会・学術研究発表会　実行委員長　山崎慎一
〒783-8508　高知県南国市物部乙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



※昼食は高専内の学生食堂
をご利用ください。

4. 学術研究発表会原稿の募集と提出について

第9回学術研究発表会（6月6日、高知高専）への講演申し込みを御希望の方は、下記の原稿執筆要領に従いまして、要旨集の原稿をご提出いただきますよう、お願い申し上げます。

① 期限：平成21年5月8日（金）必着
＜電子メールの添付ファイル（Microsoft WORD）での投稿を歓迎します＞

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

③ 原稿枚数：A4版、2ページ（口頭発表・ポスター発表とも）

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

④ 書式：＜ワードで作成された投稿原稿サンプル（テンプレート）をご希望の方は上記②の宛先までメールでご連絡ください＞

●原稿の総ページ数：A4版2枚（本文中の活字サイズ：10 pt、章題：ゴチック体、本文：明朝体）
●頁マージン設定：上・下・左・右隅のすべてを 25mm の余白
●段落/行間⇒固定値 14pt
●題名（12pt 活字・ゴチック体、ボールド、センタリング）→ 一行あけて氏名(所属)
●氏名(所属)（10pt 活字・ゴチック体、登壇者（講演者）に○印、センタリング）→ 一行あけて本文
●発表は原則として未発表のもので、一人一題（発表者）に限り、投稿された原稿は返却しません

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

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

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

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

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

四万十・流域圏学会 （平成21年6月6日:高知高専）
第9回学術大会研究発表申込書

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

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

以下の枠内は記入しないでください。

ジャンル	No.	会　場	発表時間	備　考

→

講演要旨原稿の書き方

題名（12ポイント**B**（ゴチック体、ボールド）　センタリング）

○ 四万十太郎（■■大学）、仁淀花子（■研究所）、物部学（㈱■■■■）

（10ポイント、明朝体）

（10mmあける：一行改行）

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

【注記】

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

・登壇者（講演者）に、○印をつけてください。

・図表は小さすぎると判読しにくくなります。ご注意下さい。

・写真は、裏面に講演番号・氏名を記入し、所定の位置に糊付けして下さい。

. この見本の外枠は消去してください.

・原稿の裏面の中央に鉛筆で薄く発表者氏名を記入して下さい。

・本フォーマットから外れた原稿は、掲載できない場合があります。

●発表は原則として未発表のもので、一人一題（発表者）に限ります。

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

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

●投稿された原稿は返却しません。

マージン設定＜＜上下左右すべてを25mmの余白として下さい＞＞

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

A４版（２枚）＜＜全て白黒オフセット印刷です＞＞

平成21年4月24日（金）必着

講演要旨サンプル

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

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

1. はじめに

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

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

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

2. ニアメ市の衛生環境とパイロットプラント

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

図-1 ニアメ市位置図

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

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

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

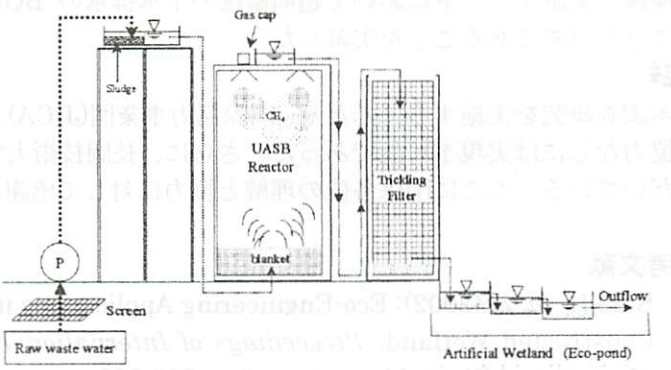


Fig.2 ニアメ方式パイロット下水処理システムの模式図

しかし，下記のデメリットが存在する．

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

以上を踏まえ，ニアメ方式パイロット下水処理システムの概要を以下に述べる．

3. ニアメ方式パイロット下水処理システムの概要

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

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

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

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

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

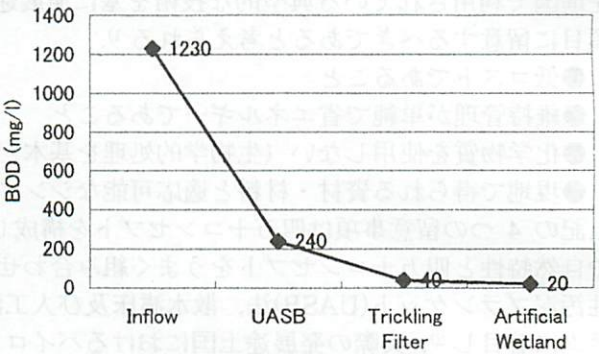


Fig.3 ニアメ方式下水処理プロセスにおける BOD の変化

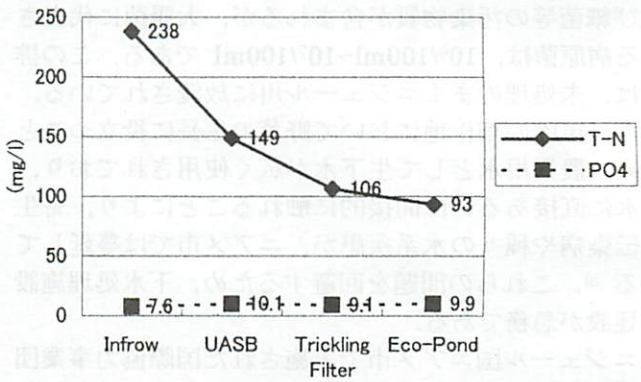


Fig.4 ニアメ方式パイロット下水処理システムにおける T-N 及び PO_4 の変化

4. まとめ

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

謝辞

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

参考文献

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

「四万十・流域圏学会誌」投稿要領

投稿規定

1. 投稿資格

本誌への投稿者は，本会会員（団体正会員に所属する者を含む）に限ります。ただし，共同執筆者には，会員以外の者を含むことができます。原則として，本会会員は自由に投稿することができます。また，編集出版委員が認めた場合には，会員以外からの特別寄稿を受け付けることがあります。投稿規定ならびに執筆要領をよくお読みの上投稿して下さい。なお，会費未納の場合は，掲載しないことがあります。

2. 原稿の種類

投稿原稿は，四万十川および流域圏関連分野の論文，研究ノート，総説，解説，調査報告，論説・評論，その他の7種とし，未発表のものに限ります。その内容は，次の通りとします。ただし，編集出版委員が特に必要と認めた場合には，この限りではありません。

(1) 論文：独創的な内容で，四万十川および流域圏に関する価値ある結論あるいは有意議な新事実や新技術を含むものです。それ自身完成度が高く独立したもので，まとまった結論が得られる段階まで研究が進展しているものを対象とします。特色のある観測・実験・調査結果やその一次的解析結果および統計・数値実験結果などを主とするものも含まれます。

(2) 研究ノート：断片的あるいは萌芽的な研究ではありますが，独創的な内容で，四万十川および流域圏に関する価値ある結論あるいは有意義な新事実や新技術を含むものです。論文ほど研究として完成度を要求しませんが，それと同等の価値のある内容を含むものを対象とします。新しい研究方法などの紹介，予報的速報，既知の知見を確認する短報なども含まれます。

(3) 総説：四万十川および流域圏に関する専門分野の既存の研究成果・現況・今日の問題点・将来の展望を解説したものです。学会に関する特定の主題について最近の研究成果を広い視点から整理，位置づけし，その研究の流れの理解に資するものです。

(4) 解説：新しい研究，技法，工法プロジェクトなど，会員にとって有用，有益となる情報を分かりやすく提供するものです。

(5) 調査報告：四万十川および流域圏に関するフィールド調査の報告で，四万十川および流域圏の現状把握やその改善に有用な価値ある情報・データを示したものです。論文やノートのように独創性を重視するのではなく，調査結果自体の有用性を重んじた内容のものを対象とします。

(6) 論説・評論：学会関連の全般的総括的問題を対象としたもので，広く会員の参考となるものです。

(7) その他の原稿：原稿の長さは，原則として，すべてを含む仕上がりページ数が以下のようであることが望ましいです。

和文の本文1ページは，原則として横書きで，52字×49行×1段組です。

論文	10ページ以内
研究ノート	5ページ以内
総説	10ページ以内
解説	10ページ以内
調査報告	10ページ以内
論説・評論	2ページ以内
その他の原稿	1ページ以内

ただし，やむを得ず規定ページを超過する場合は，執筆者の実費負担とします。また，編集出版委員の指定するものについては，この限りではありません。

3. 原稿の書き方

（1）原稿には，「完全版下原稿」と「テキストファイル付き原稿」の２種類があり，前者での提出を原則とします。やむを得ない場合には，後者での提出も認めます。なお，後者における場合、版下作成作業のため発行までに時間がかかることがあります。「完全版下原稿」の場合は，原稿を出力見本に従って作成し，そのまま写真製版ができるような高品質のプリンタで出力したものを提出して下さい。「テキストファイル付き原稿］の場合は，原稿を所定の方法に従って作成し，ＭＳ-ＤＯＳテキストファイル形式で保存したフロッピーを添付して提出して下さい。提出原稿は，事故および校正に備えて必ず控えをとっておいて下さい。

(2) 原稿の書き方に関する諸注意は「執筆要領」を参照して下さい。

4. 原稿の提出期限

原稿提出期限は，随時ですが，討議・コメント原稿の受付は，その対象論文掲載後６ケ月以内とします。

5. 原稿の受け付け

（1）原稿提出時には，原稿のコピー４部と併せて，原稿送付票，表紙，原稿概要を添付し，編集出版委員会事務局宛に送付して下さい。「原稿概要」は，題目，執筆者名，所属を記入したＡ４用紙に，200 字以内で原稿の内容をまとめたものです。ただし，論文，研究ノート，総説，解説，調査報告，論説・評論以外は，提出の必要はありません。

(2) 編集出版委員会事務局に到着した日をもって，その原稿の受付日とします。

6. 原稿の査読

（1）編集出版委員会は，受け付けた原稿の査読を編集出版委員・査読委員を含む複数の専門家に依頼します。原稿の内容に関して問題があると判断された場合，編集出版委員会はその旨を執筆者に伝え修正を求めます。

（2）修正を求められた原稿は，３ヵ月以内に修正原稿を再提出します。この期間に修正原稿の提出がなく，かつ学会事務局まで何の連絡もない場合には，撤回したものとみなします。

（3）編集出版委員会は，査読結果に基づき掲載の可否を決定します。

7. 原稿の受理

編集出版委員会が掲載可と判断した日をもって，その原稿の受理日とします。なお，原稿は原則として受理順に掲載しますが，編集の都合上，前後することがあります。

8. 正原稿の提出

編集出版委員会より受理通知を受け取った後，執筆者はその指示に従って正原稿を編集出版委員会事務局に提出して下さい。

9. 校正

印刷時の執筆者校正は，「完全版下原稿」の場合は，原則として行いません。ただし，編集出版委員会が必要と判断した際には，執筆者校正を依頼する場合があります。「テキストファイル付き原稿」の場合は，印刷時の執筆者校正は１回とします。執筆者校正を行った場合，ゲラ刷りの受け取り後，指定期日までに必ず返送して下さい。返送が遅れた場合は，編集出版委員会の校正のみで校了にすることかあります。

なお，この時点では印刷上の誤り以外の字句修正，あるいは原稿になかった字句の挿入は認めません。校正原稿は，一週間以内に正原稿とともに返送して下さい。定期刊行物を維持するために一週間以内に行わなければ，執筆者校正はないものとします。抜刷りは行いません。

10. 著作権

四万十・流城圏学会誌に掲載された著作物・記事の著作権および版権は，四万十・流域圏学会に帰属します。ただし，当該執筆者の著作権および版権の行使を妨げるものではありません。疑義が生じた場合は、編集出版委員会で決定します。

11. 編集出版委員会事務局

〒780-8515　高知市米国寺町レ 15
高知女子大学文化学部橋尾研究室
TEL･FAX : 088-873-2823　E-mail : hashio⑥cc.kochi-wu.ac.Jp

主な変更点
和文の本文１ページは，原則として横書きで，25 字×56 行×２段組です。
→
和文の本文１ページは，原則として横書きで，52 字×49 行×1 段組です。

執 筆 要 領

1. 投稿原稿の性質

四万十・流域圏学会誌は，国内的・国際的な四万十川および流域圏に関する多くの専門分野の研究の横断的・学際的な発表・情報伝達機関として，各分野間の交流，相互の理解を促進する機能を持つことを目指すものです。したがって，投稿原稿は，このような目的に沿ったものであり，会員が関心を持つようなテーマを扱っていて，会員相互間に建設的な討議を引き起こすようなものを望みます。

投稿原稿が少なくとも具備すべき条件は，原則的には，（1）誤りのないこと，（2）重複のないこと（未発表のもの）の２点です。

2. 一般的注意事項

①原稿の本文の用語は，日本語とします。

②原稿は，内容が独立して完結しているものとし，表題に「第○報」的な通し番号は含めません。

③本文の区分けは，以下の記号を用い，大見出し，中見出し，小見出しなどを明瞭にして下さい。

C 例〕 2.研究方法

2.1　分析方法

2.1.1　微生物学的方法

(1)　一般細菌数

(a)　培地

④区読点には “,” および “。” を用い，“、” や “.” などは用いません。

⑤本文中で使用する単位は，ＳＩ単位系に従って表記することを原則とします。ただし容量単位は，リットル（*l*）あるいは立方メータ（m^3）を用いることを原則とし，特別に必要な場合を除き，立方デシメータ（dm^3）は使用しません。

⑥生物名は，和名の場合はカナを用い，学名はイタリック体にします。

⑦図表は，タイトルや説明文を含めて英文とし，通し番号をつけて下さい。

通し番号のつけ方　図：Fig. 1，Fig. 2，……

表：Table 1，Table 2，……

⑧写真は図として取り扱います。したがって，扱いはすべて図に準じ，番号も図と同一の通し番号を使用します。なお，カラー写真のように印刷に多額の費用を要するものについては，その実績を著者負担とします。

⑨謝辞（必要な場合），記号表（特に記号が多い場合に作成することが望ましい）は，本文末尾に付けて下さい。

⑩引用文献は，本文中では下記の例に従って明記し，原稿末尾に「参考・引用文献記載要領」に従い，一覧にして下さい。

岡村（1995）は，……，……と述べている（渡辺 1984）。

⑪直接文章を引用する場合は，「引用記載要領」に従って下さい。

⑫注は，「注記載要領」に従って下さい。

⑬その他，不明な点は出力見本を参照し，それに準じて原稿を作成して下さい。

3.「完全版下原稿」に関する注意事項

①Ａ４判の白紙に所定の書式に従って印刷して下さい。

②文字サイズ，フォント，マージン，スペースなどは，見本の指示に従って下さい。

③文字は１段組とし，１行 52 文字，１ページ 49 行を標準とします。

4.「テキストファイル付き原稿」に関する注意事項

「テキストファイル付き原稿」の場合には，上記の一般的注意事項に加えて，以下の点にも留意して下さい。

①本文は，ワープロを使用してＡ４判の白紙にプリンタで印字して下さい。上ツキ，下ツキ等が不可能なシステムの場合，赤ボールペンでその旨を明記して下さい。数式，記号等は特にその大きさ，位置などが明瞭になるよう十分注意を払って下さい。

②原稿の長さは原則として，表題，著者名，英文要旨および図表を含めて本規定の３に記載されたページ以内とします。但し，刷り上がり１ページは，１ページ目が約 1800 字，以降は約 2548 字です。Ａ４版白紙に１ページにつき 52 字×49 行（＝2548 字）で上下マージン 23mm，左右マージン 170mm の枠内に収まるように印字出力して下さい。

③図（写真を含む）および表は，１枚ごとに通し番号をつけ，説明文および題名は各紙にまとめて英文でタイ

プします。図表など本文のあとに一括して添付し，その挿入箇所は本文の原稿欄外にそれぞれ図表番号で明記して下さい。

④図面は，Ａ４判のトレース用紙または白紙を使用し，１枚に１図ずつトレース，レタリングするか，あるいはコンピュータを用いての作図の場合，高品質のプリンタで出力したものとします。各図の右下すみに図番号，著者名，縮尺を記入します。図はワクだけでなく，縦軸の説明，数字も含めて幅170mm（本誌１ページ分の左右幅）を超えることはできません。縮尺を念頭において記号と文字の大きさを考慮して下さい。

なお，図示不明瞭な場合，図の全面的な書き直しを指示することかあります。

⑤表は，Ａ４判の用紙を使用し，１枚に１表ずつ作成して下さい。原則として原表をそのまま使用するので，幅170mm以内に印刷できるよう、文字の大きさ，間隔を考えて作成して下さい。

⑥参考・引用文献の記載方法は，「参考・引用文献記載要領」に従った上で「完全版下原稿」の見本の書き方に準じます。

主な変更点

１．③文字は２段組とし，１行25文字，１ページ56行を標準とします。

→

③文字は１段組とし，１行52文字，１ページ49行を標準とします。

２．図，表は幅170mm以内。

参考・引用文献記載要領

【論　文】

①著者名（西暦掲載年）：表題，雑誌名，巻，ページのように書き，（西暦掲載年）と表題の間にコロンを入れる。表題，雑誌名，巻，ページの間はコンマ（和文誌では全角，英文誌では半角を用いる）で区切り，最後はピリオド（体裁はコンマの場合と同じ）で終わって下さい。同一著者名，同一掲載年の場合には年 a，年 b，のように区別します。

②字体は，和文誌の場合には明朝体 10.5 ポイントを，欧文誌の場合にはタイムズ 10.5 ポイントをそれぞれ用います。学名および欧文雑誌名にはイタリック体を用います。

③雑誌名については，和文誌の場合には省略せずに記し，欧文誌の場合には省略名を用いてもかまいません。省略方法はそれぞれの雑誌の慣用に従って下さい。

④ページについては原則として通巻ページを記して下さい。号（No.）ごとのページのみの雑誌の場合には巻の次に号を記し，号ごとのページを記して下さい。巻数がなく号数のみの雑誌の場合には号を書いて下さい。

［記載例］

1) 村上雅博，馬淵泰，K．E．シータラム，浅枝隆（1995）：都市環境と地理情報システム，GIS 理論と応用，**32** 巻，pp. 19-25.

2) Murakami, M., El-Hanbali, U., and Wolf, A. (1995) : Technopolitical Alternatives and Ecopolitical Decision Making in the Development of Dead Sea and Jordan Rift valley Beyond the Peace, Water International, **Vol. 20-**, No. 4, pp. 188-196.

【単行本】

⑤著者（編者）名（発行年）：書名，発行所，発行場所（都市名：特に必要な場合のみ記す），ページのように書いて下さい。（西暦発行年）と表題の間にコロン，書名，発行所，発行場所（都市名：特に必要な場合のみ記す），ページ間はコンマ（和文誌では全角，欧文誌では半角を用いる）で区切り，最後はピリオドで終ります。字体については「論文」の場合に準じます。

⑥書籍の一部の章などを参考文献とする場合には，章などの著者名（発行年）：章などの表題，書名（和文書籍“「」”書き，　欧文書籍 in “　”書き），（編者名），ページ，発行所，発行場所（都市名：特に必要な場合のみ記す）のように書いて下さい。最後はピリオドで終ります。

⑦ページの表記は，1 冊全ての場合には“○○pp.”，部分の場合には“p. ○”あるいは“pp. ○－○”の表現を用います。欧文単行本のページは発行所の後（最後）に記載する。

［掲載例］

3) Murakami, M. (1995) : Managing water for peace in the Middle East:-alternative strategies, United Nations University Press, Tokyo-New York-Paris, 309pp.

4) 福嶌義宏，村上雅博（1995）：水に係わる国際紛争と水環境問題の光と影-カスピ海，アラル海，死海と 21 世紀の中央アジア／ユーラシア，信出社，233pp.

5) Murakami, M. ((1997): Alternative strategies in the inter-state regional development of the Jordan valley, in “Central Eurasian Water Crisis-Caspian, Aral, and Dead Sea”, United Nations university Press, pp. 154-180.

【ウェブページ等】

⑧著者名：ウェブページの題名，ウェブサイトの名称，（できるだけ）最終更新年月日，　URL（参照：年月日）.

［掲載例］

6) フリー百科事典『ウィキペディア(Wikipedia)』：地球温暖化，Wikipedia, 2009/02/05, http://ja.wikipedia.org/wiki/地球温暖化(参照：2009/02/10).

⑨その他，不明な点は「完全版下原稿」の見本を参照して下さい。

主な変更点

1．（年）と表題の間に“：”を入れる。
2．巻（Vol.），号（No.）を入れる。
3．単ページの前に p.○，複数ページの前に pp.○-○を入れる。
4．単行本の場合の発行場所の記載を特に必要な場合のみとする。

5．単行本の場合もページを最後に記す。
6．単行本の１冊全ての場合のページは“○○(pp.)”と記す。
7．ウェブページ等を追加

引用記載要領

引用は「　」によって示すこととしますが，論文では150字，研究ノート，調査報告，総説，論説・評論では90字以上にわたる場合には，１マス分下げて引用文を記して下さい。引用の最後に（　）をつけ，著者の姓，出版年（西暦に限る）を次の例にならって記入します。

例　真田は「・・・・・」と述べている（真田1985）。

注の形式で引用文献を記すこともできますが，そのようにはせず，この例のように引用文の最後に，（　）で囲んで記して，本文中に割り込ませて下さい。

注記載要領

注はアラビア数字を用い，原稿用紙では本文のマスを用いず，行間に）を記入して下さい。ワープロ書きでは，上付き文字を用います。また，必ず句読点の前に置いて下さい。

例　中本の意図を見るためには[1)]，・・・・・

注の書式は，次のように統一して下さい。

例　1) □□□□□□□□□□□□□・・・・・
□□□□□。
2) 小泉（1998）では，□□□□・・・・・
□□□□□。

主な変更点

1．引用の最後に（　）をつけ，著者の姓，出版年（西暦に限る），コロン，ページ数を次の例にならって記入します。

例　真田は「・・・・・」と述べている（真田1985：30）。

→

引用の最後に（　）をつけ，著者の姓，出版年（西暦に限る）を次の例にならって記入します。

例　真田は「・・・・・」と述べている（真田1985）。

四万十・流域圏学会誌：原稿の種類と審査分類

種別 （目次の順番）	頁数の上限	査読体制	原稿の集め方	内容	備考
巻頭言	2	無し	依頼	編集出版委員会から依頼する。内容は執筆者の自由とする。	編集委員長所管
原著論文	10	2名	自由	原著論文には、特色ある観測・実験・調査の結果やその一次的解析結果及び統計・数値実験結果などの他、政策科学を主とする論文も含まれる。	人文・社会科学分野の原著論文は政策論を含み左記の内容にこだわらない。
研究ノート	4	2名	自由	①新しい研究方法などの紹介、②予報的速報、③既知の知見を確認する短報など	
総説	10	2名	自由/依頼	流域圏に関する特定の主題について最近の研究成果を広い視点から整理、位置づけし、その研究の流れの理解に資するもの	編集委員会が企画・依頼する場合については内規あつかいとして、投稿要領には記載しない。
記念寄稿	2	なし	依頼	編集出版委員会の判断に基づいて、寄稿を依頼する文書。	
総会特別講演寄稿	10	なし	依頼	同上	
特別寄稿	20	なし	依頼	同上	
解説	10	2名	自由/依頼	新しい研究・技術・工法・プロジェクトなど、会員にとって有用・有益となる情報を分かり易く提供するもの。各分野におけるトピックのレビューなどを含む。	編集委員会が企画・依頼する場合については内規あつかいとして、投稿要領には記載しない。
技術・調査報告	6	1名	自由	流域圏における技術や調査の報告で、実用性・有用性を重んじているもの。	
論説・評論	2	1名	自由	学会関連の全般的総括的問題で広く会員の参考となるものなど	
討議・コメント	2	1名	自由	原著論文に対する討議・コメント。	
記録・報告	適宜	無し	自由	総会、研究発表会、表彰などの経過報告、およびシンポジウムなどへの参加報告。	
新刊紹介	1		自由	新刊図書の紹介と書籍の概要を述べる文書。	
書評	1	無し	自由	図書の第三者による推薦文書。	
その他	適宜	無し	依頼	編集出版委員会の依頼により特定の内容について、特定の著者に執筆を依頼する文書。	
会告	適宜	無し	自由	四万十・流域圏学会から会員への告知事項。	
お知らせ	1	無し	自由	四万十・流域圏学会以外から会員への告知事項。	
各委員会報告	適宜	無し	依頼	委員会、研究グループなどの活動紹介など。	
賛助会員名簿	1	無し	依頼		
編集後記	0.6	無し	依頼	会員へ編集の状況を知っていただくため、また、後任の編集担当者の参考とするために、編集上で試みた工夫や感じた問題点を述べる。	

注）　無し：　委員長あずかり

第一査読者は該当の専門領域の方で論文内容および研究レベルや完成度の評価、第二査読者は周辺領域の方で学会誌の学際的な意義や方向性を考慮してレベルや完成度等についてチェック。

(As of 2008/12/15)

四万十・流域圏学会会則

附則：平成１９年５月２６日から施行

第１章　総則

（名称）

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

（目的）

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

（事務局）

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

（事業）

第４条　本会は、第２条の目的を達成するために次の事業を行う。

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

第２章　会員に関する事項

（会員）

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

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

（会員の権利）

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

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

（会費）

第７条　会員は、第５条に定める年会費を前納しなければならない。

２　既納の会費は、いかなる理由があっても返還しない。

（会員の入会）

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

（会員の退会）

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

2　理事会は、長期にわたって連絡のとれない会員を退会させることができる。

第３章　組織に関する事項

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

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

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

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

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

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

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

（理事会）

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

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

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

第４章　会計に関する事項

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

第５章　会則の変更及び解散

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

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

第６章　その他の事項

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

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

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

四万十・流域圏学会役員体制

四万十・流域圏学会役員リスト

（平成20年度）

会長

今井嘉彦	高知大学名誉教授	環境化学	県内

副会長

宅間一之	高知県立歴史民俗資料館館長	民俗学	県内
福留脩文	西日本科学技術研究所所長	河川工学	県内

監事

北條正司	高知大学理学部教授	環境化学	県内
大原　泰輔	大原計画事務所・所長　＜新任候補＞	地域計画学	県内

理事

池田　誠	東洋大学国際地域学部教授	社会システム	県外
石川　妙子	水生生物研究家	生物学	県内
江渕　倫將	安芸市立清水ヶ丘中学校・校長	教育学	県内
大年　邦雄	高知大学農学部教授	防災工学	県内
坂本正夫	こうちミュージアムネットワーク会長	民俗学	県内
島谷　幸宏	九州大学工学部地球環境工学科教授	土木工学	県外
瀬戸口 忠臣	JFEエンジニアリング（株）顧問	土木工学	県外
西内　燦夫	NPO四万十川流域住民ネットワーク・代表	流域圏学	県内
橋尾　直和	高知女子大学文化学部教授	言語学・方言学	県内
福田　善乙	高知短期大学教授	経済学	県内
福永　秦久	西日本科学技術研究所取締役	環境化学	県内
福元　康文	高知大学農学部教授	蔬菜園芸学	県内
松田　誠祐	高知大学名誉教授	水文学・河川工学	県内
松本　聰	東京大学・秋田県立大学名誉教授	応用生命科学	県外
宮崎　利博	高知県理事（東京事務所担当）	河川・防災工学	県外
村上　雅博	高知工科大学フロンティア工学教室教授	水資源・環境工学	県内
山﨑　慎一	高知工業高等専門学校建設システム工学科助准教授	衛生工学	県内

委員会

委員会

○総務委員会	委員長	村上 雅博
	委員:	各委員長＋代表幹事
○財務委員会	委員長	福永 秦久
○表彰委員会	委員長	松田 誠祐
○編集・出版委員会	委員長	橋尾 直和
○企画委員会	委員長	石川 妙子
○四万十活性化委員会	委員長	瀬戸口 忠臣

代表幹事

●各委員長＜代表幹事を兼務＞

●代表幹事・理事代表（西内燦夫、福元康文、山崎慎一）

●高知県文化環境部 環境共生課（四万十川・清流担当）
◎総務委員会・特任；理事会担当補佐（高知県文化環境部環境共生課）

四 万 十・流 域 圏 学 会

会 員 募 集 の 御 案 内

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

毎年、高知の味自慢の一つである初鰹を御賞味いただけるベストシーズンの、5月末に総会・研究発表会と四万十川の現地見学会を予定し、平成19年5月に第7回総会を終え、四万十・流域圏学会誌も第7巻1号まで刊行することができました。全国の流域圏と流域ネットワークをつくる方向で、四万十川から、土佐、全国、そして世界をみつめて、流域圏をキーワードに新しい学会の活動にふるって御参加下さい。

○学会の基本理念

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

お問い合せ先

学会事務局本部:高知工科大学フロンティア工学教室　村上研究室
〒782-8502 高知県 香美市 土佐山田町 宮の口185
TEL:0887-57-2418, FAX:0887-57-24201, E-mail: murkami.masahiro@kochi-tech.ac.jp
理事会担当事務局:高知県文化環境部環境共生課 (河野)
TEL:088-823-9795, FAX:088-823-9283, E-mail: hiroko_kouno@ken4.pref.kochi.jp

P.S.

四万十・流域圏学会会則 抜粋

****

第2章 会員に関する事項

(会員)

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

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

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

****

会費の使われ方:

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

****

宛先：
〒782-8502　高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185
高知工科大学・フロンティア工学教室　四万十・流域圏学会　事務局（村上）
Tel:0887-57-2418, Fax:0887-57-2420　E-mail: murakami.masahiro@kochi-tech.ac.jp

入会申込書 ⇔（連絡先等変更届け）

氏名と変更部分のみをお書き下さい

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　）上記の住所と同じときは⇒以下に同上と記載下さい。
〒＿＿＿＿＿＿

Tel:＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿Fax:＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿
E-mail:＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

会員種別*	正会員　・　学生会員　・　賛助会員　・　準会員		
勤務先又は職業			
専門分野		生年月日	年　月　日

*会員種別については、該当するものを○で囲んで下さい。

備考覧

受付承認：　平成　　年　　月　　日

見　本

［四万十・流域圏学会誌　第？？巻　第？号　???-???　2009］

明朝体　9pt.

上辺マージン 23mm
右マージン 17mm

1行空き

＜論　文（原著）＞

MSP ゴチック　11pt.

MSP ゴチック　16pt.

1行空き

小規模河川の流量観測におけるドップラー式超音波流速センサーの簡易適用法

1行空き

吉田正則＊，村上敏文＊

MSP ゴチック　11pt.

1行空き

タイムズボールド　11pt.

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

Masanori YOSHIDA and Toshifumi MURAKAMI

タイムズボールド　11pt.

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

1行空き

Abstract

タイムズボールド　11pt.

タイムズ　9pt.

3文字分空き

A hydrometry of a small-scale river using a velocity sensor based on the Doppler effect of ultrasonic sound waves was discussed. Cross-sectionally averaged stream velocity was estimated from velocity measured by the sensor. Then, discharge data including storm runoff were obtained safely and accurately, by the way of multiplying the cross-sectionally averaged stream velocity by cross-sectional area of now estimated from water level.

In addition, the hydrometry using the sensor was revealed to have advantages as follows:

1) settlement of the sensor in a river is authorized easily,

2) cost spent on equipment and the settlement is low,

3) frequent and automatic measurement is available.

From above results, the hydrometry using the sensor is concluded to be worth utilizing for a long-term monitoring system to evaluate discharge and pollution load from small-scale river located on agricultural watershed in hilly and mountainous region.

3文字分空き

タイムズボールド　11pt.

Key words : Doppler effect, agricultural watershed, stream velocity, storm runoff

タイムズ　10.5pt.

2行空き

＜＜本文は明朝体 **10.5pt.**，1段組み，1ページ **52** 文字，**49** 行，図表は **179mm** 以内＞＞
＜＜見出しは，**MSP** ゴチック大見出し **11pt.**，**MSP** ゴチック中・小見出し **10.5pt.**＞＞

1. はじめに

1行空き

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

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

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

明朝体 9pt.

下辺マージン 23mm
左マージン 17mm

MSP ゴチック 11pt.

2. 観測地点の概要と調査方法

MSP ゴチック 10.5pt.

2.1 観測地点の概要

今回観測を行ったのは，高知県四万十川波域内の農業集水域（集水面積 814ha，1993～1996 年の平均年間降水量 2874mm）を流れるY川の末端部である。その河道幅は 11m，河床最深部から川岸までの高さは左岸，右岸とも 3m である。観測地点の選定は，流路が上・下流側とも 100m 程度にわたって直線的であること，大きな岩礫による狭窄や屈曲が存在しないこと，河床勾配の急激な変化が認められないことなどを条件に行った。流れの特徴としては，右岸側に幅約 2m の砂礫堆があるため流心が河道中央よりやや左岸側に位置すること（平水時）や，観測地点の下流約 100m 地点で合流する H 川の水位上昇の影響をうけて，Y川の水はけがやや滞る傾向がみられること（洪水時）などがある。なお本報では，豪雨による流量の増加が見込まれる 2000 年 5 月から同年 10 月にかけての 6 ケ月間を中心にデータの整理を行った。

2.2 河道横断面形状の測量

MSP ゴチック 10.5pt.

（中　略）

1 行空き

MSP ゴチック 11pt.

3. 結果と考察

3.1 河床横断面形状の変動とセンサー法の欠測頻度

MSP ゴチック 10.5pt.

（中　略）

3.3 センサー法による水位，流水断面積，流速，および流量の測定結果

Fig. 6 (a)，(b)，(c) に，水位,流水横断面積，センサー設置位置流速のそれぞれに関する手計測法全 10 回の測定値と，その手計測とほぼ同時に観測されたセンサー法測定値（流水横断面積は推定値）との比較結果を示す。いずれの図も，センサー法の測定結果が手計測法のそれによく対応しており，センサー法による水位，流水横断面積，流速の測定結果が妥当なものであることを示している．特に **Fig. 6** (c) において V_s が V_p^s に一致したことは，Vs 値が深さ方向平均流速として信頼できるものであることを裏付けている。しかし V_s 値が，センサー設置位置の両側 1m 地点の V_p^i 値とは明らかに異なる値を示していることから（**Fig. 4**），センサーの感知幅は，Fig.4 中に模式的に示したように，センサーを挟んで両側 1m 以内の範囲に限られるものと推察された。

このように，Vs がセンサー設置位置上の局所的な深さ方向平均流速を与えるに過ぎなかったことから，Q_s を V_s の関数として表わすためには，V_s と V_s^m の関係を明らかにしておく必要があると考えられた。そこでまず，手計測とほぼ同時に観測された V_s と，その手計測結果をもとに (2) 式で求めた V_p^m の関係をプロットしたのが **Fig.7**，○印である。その結果，両者のあいだには，ある一意の関係が存在することが推察された。そこで両者の関係を，Vs を独立変数とする二次の多項式で近似することにし，さらに，その式から計算される値を V_s^m と仮定すると，つぎのような経験式を導くことができる（R^2=0.938）。

$$V_m = 0.344V_s + 0.121V2 \qquad (4)$$

MSP ゴチック 11pt.

5. おわりに

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

謝辞

本研究を実施するにあたり，ご指導をいただいた中央農業総合研究センターの藤原仲介

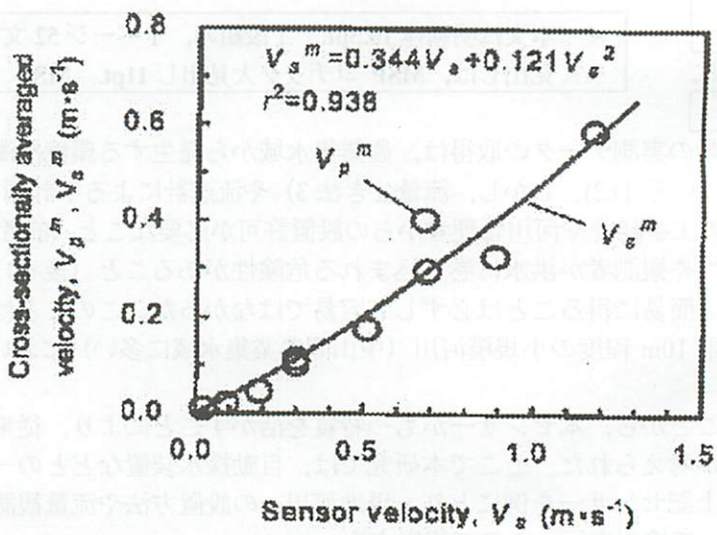


Fig. 7 Relation between sensor velocity and cross-sectionally averaged velocity derived from manual measurement (○), regression curve of cross-sectionally averaged velocity as a function of the sensor velocity (—).

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

（原稿受付　200?年??月??日）（原稿受理　200?年??月??日）

引用文献 ← MSP ゴチック 11pt.

1）黒田久雄（1997）：非潅漑期農業地区からの NO_3-N 日流出負荷量の検討―流出負荷予測タンクモデルに関する研究（II）―，農土論集，189 号，pp. 51-58.
2）中曽根英雄，黒田久雄，茂木真司（1997）：水田潅漑がなされている小集水域の L-Q 式の問題点と期別区分による改善，農土論集，190 号，pp. 71-76.
3）石原藤次郎，森　恵次（1965）：新版測量学応用編，丸善，pp. 251-310.
4）Kuraji K. and Kowit P. (2000): Hydro-meteorological research and its application to watershed management for solving local conflict over water in Mae Tia watershed, Northern Thailand, Proceedings of the Fresh Perspectives on Hydrology and Water Resources in Southeast Asia and the Pacific, Christchurch, New Zealand, pp. 189-196.

編 集 後 記

第8巻第1号が，遅ればせながら完成しました。早くからご投稿いただいておりました執筆者の皆様，会員の皆様，編集作業が思った以上に長引きまして刊行が遅くなってしまい，ご迷惑をおかけしました。本当に申し訳ございませんでした。

今号の内容は，近藤純正氏の招待論文・解説と西森基貴氏の総説が「地球温暖化」にまつわる論文，山下慎吾氏の解説と辻和毅氏の原著論文が「氾濫原」にまつわる魚と保全シナリオに関する論文，武市伸幸氏と辻和毅氏の原著論文が気温と海水の「変動」にまつわる論文でした。

巻頭言では、大原泰輔氏の四万十川の現状について、幡多弁をまじえた論を展開していただきました。「本学会の開催地が四万十川流域圏で開催されないのは何故か」というメッセージには，考えさせられました。次回の開催地は，梼原で開催してみてはどうかと提案しようと思いました。

今号の第8巻第1号から，原稿書式フォーマットの横書き一段組への変更を行いました。

書式については，不統一な箇所もございましたが，幾分かは改善したつもりでございます。

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

（橋尾直和）

四万十・流域圏学会　賛助会員

平成 20 年 5 月 31 日現在（４団体）

●(財)リバーフロント整備センター
●林野庁四国森林管理局四万十川森林環境保全ふれあいセンター
●株式会社四国電力中村支店
●中村商工会議所

四万十・流域圏学会会則 抜粋　第２章　会員に関する事項　（会員）
第５条　本会の会員は四万十・流域圏学に関心を持ち、本会の趣旨に賛同するものとし、正会員、学生会員、団体会員及び準会員をもって構成する。その他の会員については、理事会で決定する。

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

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

ほたる・カワニナ観察会：　奈路小学校(2007. 5. 27)
第７回四万十・流域圏学会 ユースセッション・フィールドツアー

(財)リバーフロント整備センター
〒102-0082 東京都千代田区一番町 8　一番町 FS ビル 3F

林野庁四国森林管理局四万十川森林環境保全ふれあいセンター
〒786-0601 高知県四万十市西土佐村江川崎 2405

株式会社四国電力中村支店
〒787-8691 高知県四万十市中村大橋通 6 丁目 9-21　安光孝夫

中村商工会議所
〒787-0029 四万十市中村小姓町 46　中村商工会議所

We Love "SHIMANTO"

2008.12

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

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