

平成21年度

海域と流域圏の相互作用に関する  
調査研究報告書

平成22年3月

海洋政策研究財団  
(財団法人 シップ・アンド・オーシャン財団)

平成21年度

海域と流域圏の相互作用に関する

調査研究報告書



## はじめに

本報告書は、平成21年度「海域と流域圏の相互作用に関する調査研究」事業で実施して参りました海域と流域圏の相互作用の調査研究結果をとりまとめたものです。

沿岸環境、特に閉鎖性海域の環境は、上流の森林の状況に大きく影響を受けるといわれています。わが国では、沿岸環境の保全のために森林を保護するしくみである「魚つき林」の整備と保全が古くから実践されてきたことからわかるように、流域と沿岸環境は密接に関係しているという認識のもと、健全な沿岸環境の維持のためには、森・川・海の一体的な取り組みが必要とされてきました。

そこで本事業では、海域と流域圏の自然科学的なつながりを具体的に明らかにすることを目的としております。本調査研究の成果が、このような分野の研究を促進し、沿岸環境の持続可能な利用と健全性の確保のための政策立案に資するものとなれば幸いです。

最後になりましたが、本事業を実施するにあたりまして熱心なご審議を頂きました、松田治 広島大学名誉教授を委員長とする「海域と流域圏の相互作用の調査研究委員会」の各委員と、本事業に対するご理解とご支援を頂きました日本財団にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

平成 22 年 3 月

海洋政策研究財団

(財団法人シップ・アンド・オーシャン財団)

会長 秋山昌廣



## 海域と流域圏の相互作用に関する調査研究

### 研究メンバー

寺島 紘 士	海洋政策研究財団	常務理事
市岡 卓	海洋政策研究財団	政策研究グループ長
遠藤 愛 子	海洋政策研究財団	政策研究グループ 研究員
小牧 加奈絵	同	上
鈴木 理映子	同	上
眞岩 一 幸	同	上

段 烽 軍	海洋政策研究財団	政策研究グループ 前研究員
-------	----------	---------------

(平成 21 年 9 月 30 日退職)



# 目 次

はじめに

海域と流域圏の相互作用調査研究メンバー一覧

第1章 事業の概要	1
1-1 目的	1
1-2 研究内容	1
1-3 研究体制	3
第2章 小櫃川・多摩川の調査研究	5
2-1 小櫃川・多摩川河口域における川と海のつながりの解明に関する研究	5
2-2 小櫃川流域のフルボ酸の影響評価に関する調査研究	20
第3章 まとめ	63

付属資料

委員会発表資料	66
第一回委員会発表資料	67
第三回委員会発表資料	76





## 第1章 事業の概要

### 1-1 目的

森と川と海は互いにつながっており、ひとつのシステムを形成している。そのつながりの主要なものは、海から蒸発した水が雨となって森を潤し、川を下ってまた海へ注ぐという水循環である。その水循環に沿うようにして、海から遠く離れた内陸の森、上流域の河川周辺の森、中流、下流の水辺の林や河畔林など、水源を涵養している広い範囲の森林は、栄養塩や有機物の供給源となり河川を通じて海の生態系へ影響を与え、またアユやサケなどの海から河川へと遡上する通し回遊魚は、海域から流域・陸域へと有機物を運ぶ役割を果たしている。

自然のシステムの中では、健全な森林が存在することによって、貯水機能、河川の流量の安定、土砂流出抑制機能、系外の生物への栄養塩や有機物、倒流木の供給などの恩恵を享受している。森林が荒廃すると、川が濁ったり、洪水が起きやすくなったりすることはよく知られている。また、漁民は直感的に森林が漁業に必要と感じ、北海道別海町の野付半島の伐採計画に対する反対運動や、「森は海の恋人運動」における植林などの活動を行ってきた。森と川と海はひとつのシステムとして、総合的に管理をする必要性が認識されている。

しかし、このような森・川・海をつなぐ議論は概して定性的、理念的であり、それらのつながりについての理解が十分になされていないのが現状である。そこで本事業では、海域と流域圏の一体的な環境管理が必要であるという立場から、河口域の盤洲干潟において生態系が維持されており、生物への生理活性に寄与するフルボ酸が豊かな小櫃川を中心に、森・川・海の間を流れる自然科学的物質や生物を追跡し、森林が川や海の生態系にどのような影響を与えるのか、定量的な検証を行うことを目的とする。さらに、森川海を総合的に捉えた管理を検討するに当たり必要な材料となりうる科学的な根拠を提示し、今後の管理手法の確立に資するものとする。

### 1-2 研究内容

本事業は平成20年度の「海域と流域圏の一体的な管理手法の調査研究」事業のテーマ1「森川海空の相互作用の検証」の継続事業である。今年度の一年間で、小櫃川と多摩川においてフィールド調査とサンプリングを行い、安定同位体分析や3次元蛍光スペクトル分析などの生物化学手法を用いて、ローカルな物質循環の視点から、海域と流域圏のつながりを定量的に解明する。

具体的には、まず東京湾内湾に流入する河川（小櫃川・多摩川）のフィールド調査・サンプリングと実験室解析を行い、森川海の生態系に関わるつながりを定量的に検証する（「小櫃川・多摩川河口域における川と海をつなぐつながりの解明に関する研究」）。この検証では、河口域の生物を対象として調査を行い、森・川・海をつなぐつながりが河口・沿岸域の生物生産

性にどのくらい影響を与えているかを明らかにする。両河川河口域のタイドプールにおける底質有機物の由来を安定同位体比によって明らかにし、そこからやや上流にいるマサゴハゼの生息量との相関を調べる。これよりマサゴハゼが陸由来の有機物に依存していることを確かめ、森からの供給物質が生物へ影響を与えている事実を示す。さらに、河川と海とを行き来する魚類（アユやウキゴリなど）の生息場所と餌起源の関係を、安定同位体分析や必要に応じて胃内容物の分析を通して解明する。なお、底質有機物の由来をより明確にするために、起源と考えられる底泥・植物プランクトン・動物プランクトン・大型藻類・ヨシ・底表堆積物食者についても採集し、安定同位体分析を試みる予定である。

次に、流域圏の相互作用を水溶性腐植物質であるフルボ酸をトレーサーとして、里山から里海への栄養塩の物質輸送を調査する（「小櫃川流域のフルボ酸の影響評価に関する調査研究」）。この調査では、小櫃川河口域から源流までの15点の採水と湧水・土壌サンプリングを4回（季節ごと）行う。水溶性腐植物質であるフルボ酸の供給源を、3次元蛍光スペクトル分析を用いて同定する。また、森・川・海の物質輸送の広域解析として、衛星画像から地形・土地利用を調べ、地形図と降雨データから表層水の流出解析を行い、河川中のフルボ酸の供給源を異なる土地利用（森林・農地・ゴルフ場など）の土壌や地下古代海水などの候補の中から考察する。さらに、フルボ酸をトレーサーとして栄養塩の供給源も同定し、栄養塩の濃度と各調査地点のクロロフィル濃度との相関を検証する。

以上の調査解析結果をまとめ、海域と流域圏の一体的な管理手法の確立について考察する。

### 1-3 研究体制

本研究の実施に当たっては、1-2にあるように「小櫃川・多摩川河口域における川と海のつながりの解明に関する研究」、「小櫃川流域のフルボ酸の影響評価に関する調査研究」を調査研究テーマとし、有識者にて構成される「海域と流域圏の相互作用に関する調査研究」委員会（以下、委員会）を設置し、「森川海の一体的な管理に関する調査研究」委員会との合同委員会（以下、合同委員会）を開催し、調査内容の議論・承認を受け、調査を進めることとした。本年度は、3回の合同委員会を開催した。委員の構成、それぞれの研究実施者は次の通りである。

表 1-3-1 海域と流域圏の相互作用に関する調査研究委員会委員名簿

	氏名	所属
委員長	松田 治	広島大学 名誉教授
委員	磯部 雅彦	東京大学 副学長 大学院 新領域創成科学研究科 教授
委員	多紀 保彦	財団法人 自然環境研究センター 理事長
委員	松島 昇	〃 調査役 研究主幹
委員	山下 洋	京都大学 フィールド科学教育研究センター 教授

表 1-3-2 海域と流域圏の相互作用に関する調査研究 研究実施者

小櫃川・多摩川河口域における川と海のつながりの解明に関する研究
河野博 (東京海洋大学 海洋科学部 海洋環境学科 教授)
小櫃川流域のフルボ酸の影響評価に関する調査研究
矢沢勇樹 (千葉工業大学 工学部 生命環境科学科 准教授)



## 第2章 小櫃川・多摩川の調査研究

### 2-1 小櫃川・多摩川河口域における川と海のつながりの解明に関する研究<sup>1</sup>

本研究では、1) 小櫃川と多摩川における陸由来の有機物に依存している魚類の解明、2) 小櫃川および多摩川における東京湾を行き来する魚類の生息場所と餌起源との関係の解明を目的とした。本報告では、以下の3研究の結果を示す。

- (1) ヨシ帯を中心とした生物とその環境の安定同位体比
- (2) 小櫃川河口域の滞筋と干潟タイドプールの魚類相
- (3) 多摩川河口域におけるマサゴハゼの生息状況と安定同位体比

#### (1) ヨシ帯を中心とした生物とその環境の安定同位体比

2009年7月20日から25日にかけて、多摩川河口域と新浜湖、小櫃川河口域で、ヨシ帯の内側と外側の干潟域、および上げ潮と下げ潮時などを考慮して、生物や底泥等の採集を行った。総サンプル数は、表1に示すように、615サンプルであった。

これらのサンプルの安定同位体比の分析を、2009年10月26日～31日と12月14日～19日にかけて、岩手県三陸町にある北里大学水産学部で行った。

これらの結果は、図2-1-1a, 2-1-1b, 2-1-1cに炭素・窒素安定同位体比の図としてまとめた。以下では、多摩川と小櫃川の、いくつかの項目に絞って結果を示す。

---

<sup>1</sup> 本稿は東京海洋大学河野博教授の原稿による。

表 2-1-1. 安定同位体用の全サンプル

種類	地点	葦帯内外	集計	種類	地点	葦帯内外	集計
アサリ	小櫃川	外	5	ニホンスナモグリ	小櫃川	外	5
	新浜	外	5	ヌマチチブorチチブ	小櫃川	外	3
アシハラガニ	小櫃川	外	3	ハサミシャコエビ	小櫃川	内	3
		内	7		新浜	内	5
	新浜	内	5	ヒメアシハラガニ	新浜	内	3
	多摩川	内	5	ピリンゴ	小櫃川	外	5
アナジャコ	新浜	外	3		多摩川	外	5
アベハゼ	小櫃川	外	4	フトヘナタリ	小櫃川	内	5
	多摩川	内	5	ホソウミニナ	小櫃川	外	10
アラムシロ	小櫃川	外	8			内	9
	新浜	外	5		新浜	内	5
イトゴカイ	新浜	内	4	ホトギス	小櫃川	外	3
イボキサゴ	小櫃川	外	5	ボラ	小櫃川	外	4
イボニシ	小櫃川	外	5		新浜	外	5
ウメノハナガイモドキ	小櫃川	外	3		多摩川	外	5
ウモレベンケイ	新浜	内	4	マガキ	新浜	外	4
エドハゼ	小櫃川	外	3	マサゴハゼ	小櫃川	外	5
	新浜	外	5		新浜	外	3
オキシジミ	新浜	外	5		多摩川	外	5
カタクチイワシ	小櫃川	外	3	マハゼ	小櫃川	外	5
カワアイ	新浜	内	5		新浜	外	4
カワグチツボ	新浜	?	5		多摩川	外	5
カワザンショウ	新浜	内	3	マメコブシガニ	小櫃川	外	4
	多摩川	内	5		新浜	外	3
カワザンショウ大A	小櫃川	内	4	マルタ	多摩川	外	5
キタフナムシ	新浜	内	4	ミズヒキゴカイ	新浜	外	5
クシテガニ	新浜	内	5	ムシヤドリカワザンショウ	新浜	内	5
クリイロカワザンショウ	小櫃川	内	5	ヤマトorヒメヤマトゴカイ	新浜	外	5
	新浜	内	5		多摩川	外	4
クロダイ	小櫃川	外	3			内	4
クロベンケイガニ	新浜	内	5	ヤマトオサガニ	小櫃川	外	3
	多摩川	内	5			内	3
コウロエンカワヒバリガイ	新浜	内	5		新浜	外	5
	多摩川	内	5		多摩川	内	5
コケゴカイ	新浜	外	5	ヤマトシジミ	多摩川	外	5
コツブムシの仲間	新浜	内	5			内	5
コツブムシ類	新浜	内	5	ユビナガスジエビ	小櫃川	外	5
コノシロ	小櫃川	外	5	ユビナガスジエビ?	多摩川	外	5
コメツキガニ	小櫃川	外	5	ユビナガホンヤドカリ	小櫃川	外	10
	新浜	外	5		新浜	外	5
シオフキ	新浜	外	3	ヨコエビの仲間	小櫃川	外	3
シラタエビ	新浜	外	5	ヨシ枯れ	小櫃川	内	5
シロスジフジツボ	小櫃川	外	5		新浜	内	5
	新浜	外	5		多摩川	内	5
セジロムラサキエビ?	小櫃川	内	3	ヨシ泥	新浜	内	1
	新浜	外	3	ヨシ緑	小櫃川	内	5
セスジボラ	新浜	外	4		新浜	内	5
ソトオリガイ	新浜	外	9		多摩川	内	5
	多摩川	外	5	懸濁有機物	小櫃川	下げ潮	3
タカノケフサイソガニ	小櫃川	外	10			上げ潮	3
	多摩川	内	5		新浜	下げ潮	3
タテジマイソギンチャク	小櫃川	外	5			上げ潮	3
	新浜	内	5		多摩川	下げ潮	3
タテジマフジツボ	新浜	外	5			上げ潮	3
	多摩川	外	4	植物プランクトン	小櫃川	外	2
		内	5		新浜	外	2
チクゼンハゼ	小櫃川	外	5		多摩川	外	2
チゴガニ	小櫃川	外	5	底生微細藻類	小櫃川	(空白)	2
		内	5		新浜	(空白)	2
		内?	5		多摩川	(空白)	2
	新浜	外	5	泥	小櫃川	外	5
		内	5			内	5
チロリ	小櫃川	外	5		新浜	外	5
	新浜	内	5			内	5
テナガエビ	多摩川	外	5		多摩川	外	5
テナガツノヤドカリ	小櫃川	外	4			内	5
トビハゼ	新浜	内	5	総計			615

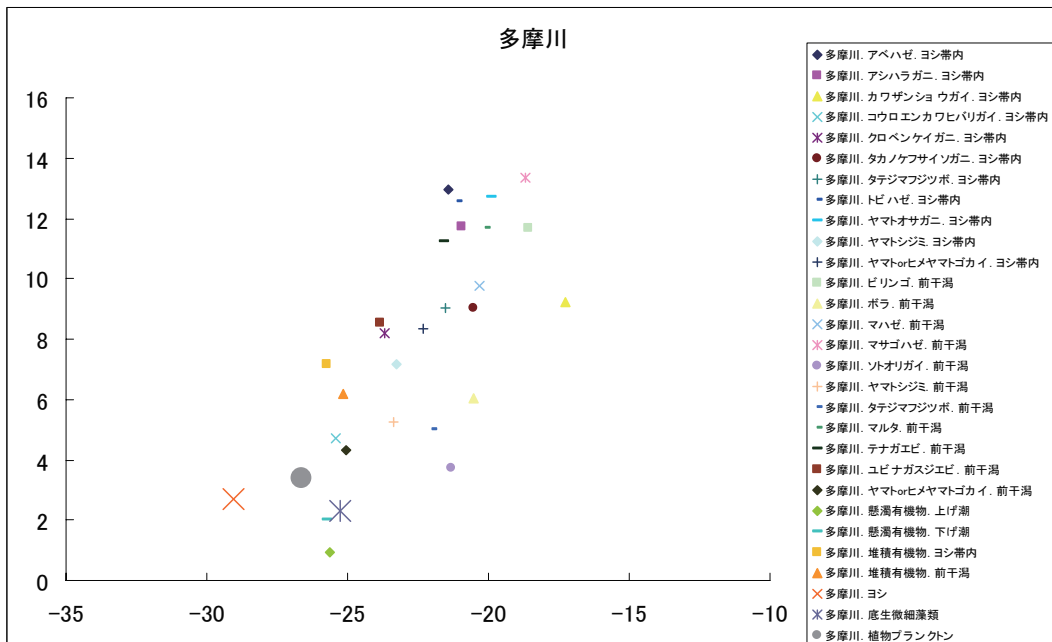


図 2-1-1a. 小櫃川の生物等の CN 散布図.

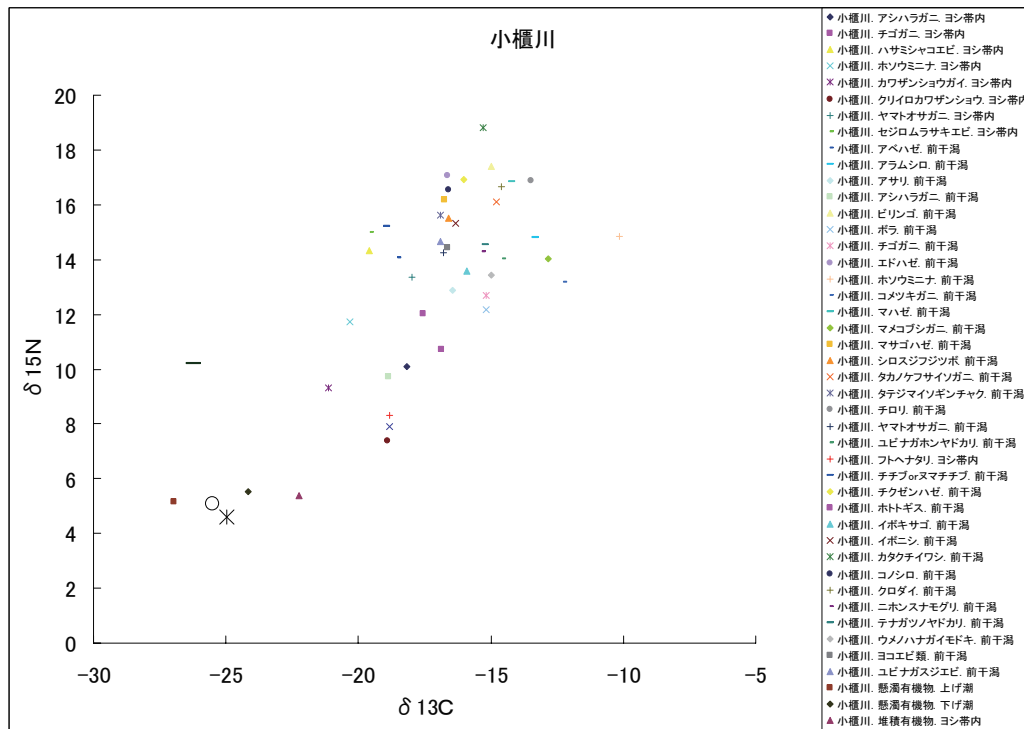


図 2-1-1b. 多摩川の生物等の CN 散布図.



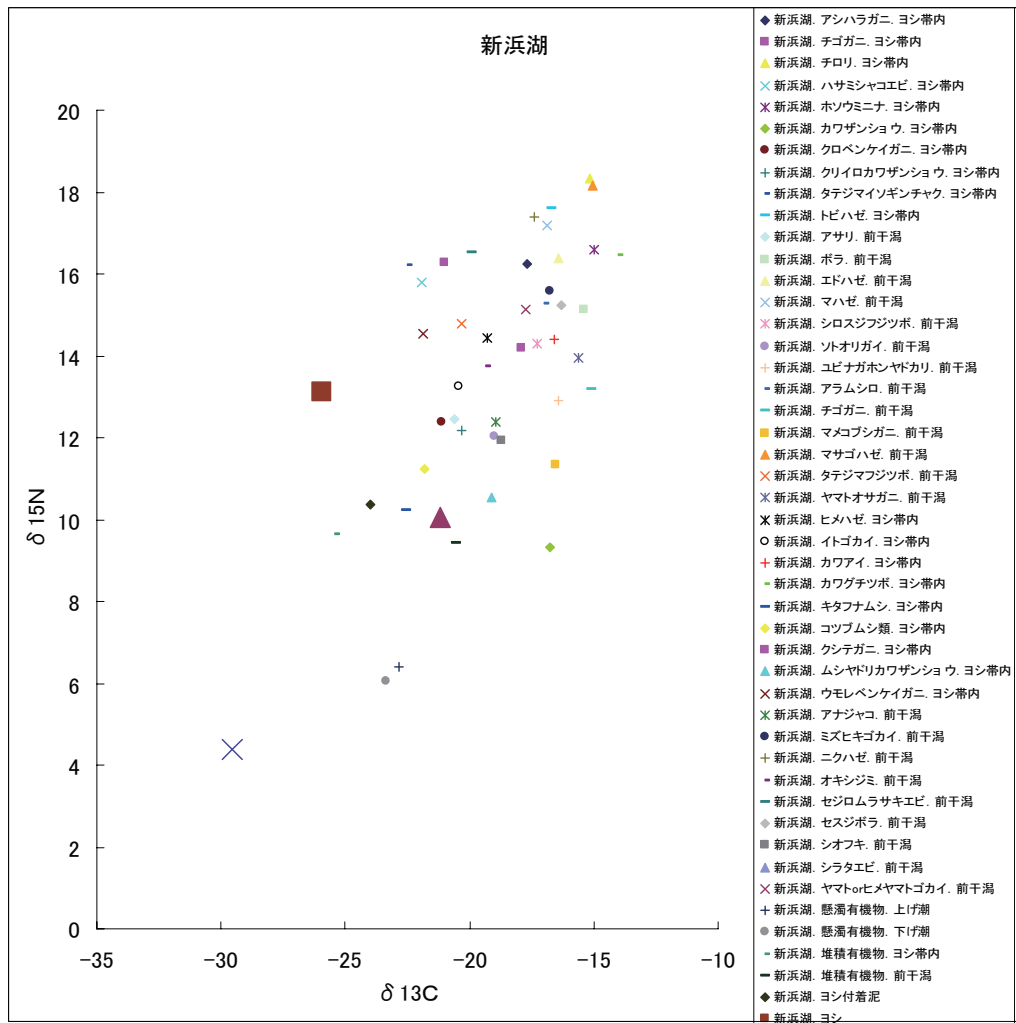
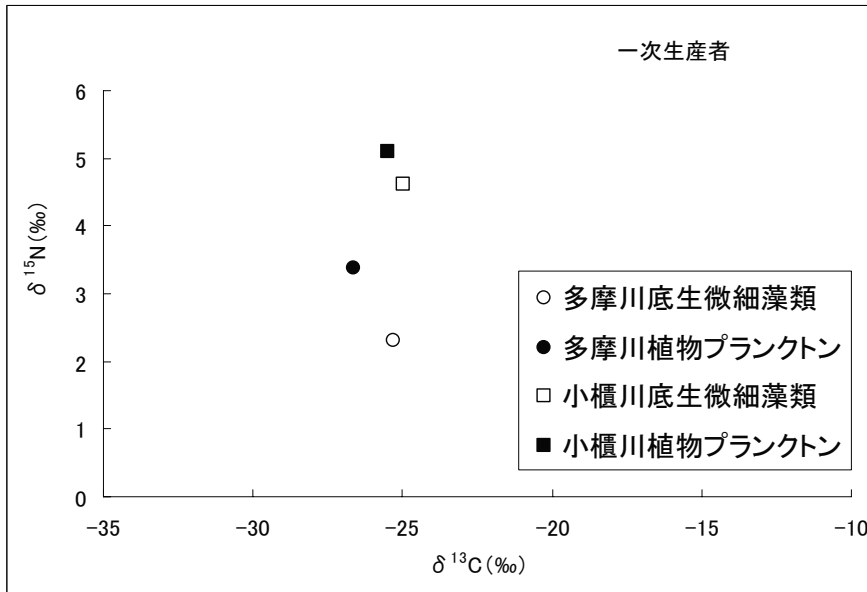


図 2-1-1c. 新浜湖の生物等の CN 散布図.

### ① 一次生産者の比較

一次生産者である底生微細藻類と植物プランクトンの安定同位体比を多摩川(○と●)と小櫃川(□と■)で比較した(図 2-1-2)。その結果、両方とも小櫃川の方が  $\delta^{15}\text{N}$  の値が 2 ~ 3‰ 高かった。これは、溶存態窒素の起源が両河川で異なる可能性を示していると考えられる。

図 2-1-2. 小櫃川と多摩川の一次生産者の CN 散布図.



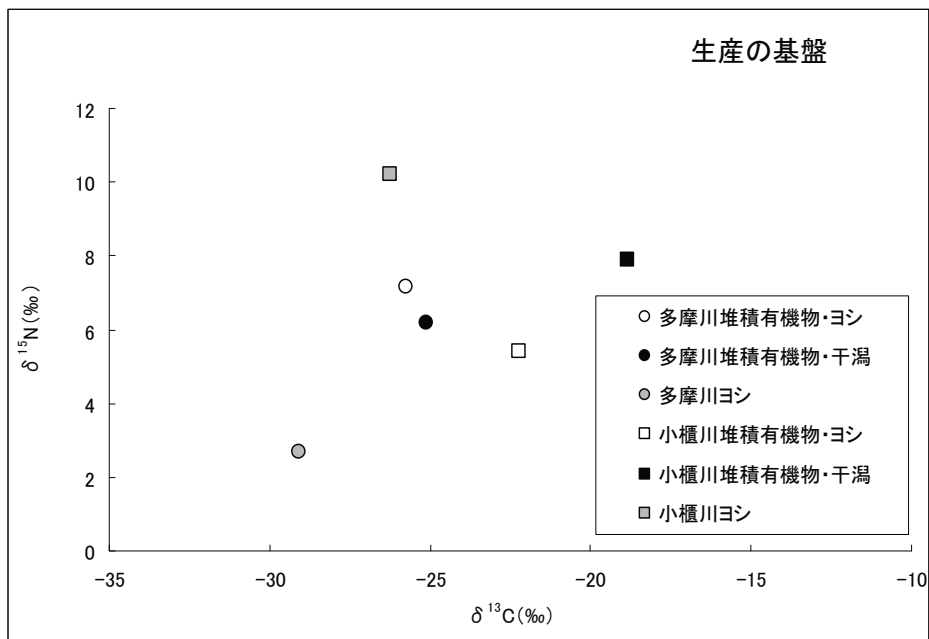
## ② 生産基盤の比較

ヨシ帯の内側の湿地帯と外側の干潟域の堆積有機物およびヨシそのものの安定同位体比を示した (図 2-1-3)。

小櫃川のヨシは  $\delta^{15}\text{N}$  が高いこと、また多摩川のヨシは  $\delta^{13}\text{C}$  が低いことで (図 2-1-2 も参照のこと)、ヨシそのものが食物連鎖の原点とはなっていないと考えられる。

多摩川では、ヨシ帯の内側 (図 2-1-3 ではヨシと表記。記号では○:  $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N} = -25.7\text{‰} \cdot 7.15\text{‰}$ ) と外側 (図 2-1-3 では干潟と表記。記号では●:  $-25.1\text{‰} \cdot 6.18\text{‰}$ ) で堆積有機物の安定同位体比にあまり差がなかった。それに対して小櫃川では、ヨシ帯の外側の干潟の安定同位体比が窒素も炭素も高い (外側 (干潟、■):  $-18.8\text{‰} \cdot 7.89\text{‰}$ 、内側 (ヨシ、□:  $-22.2\text{‰} \cdot 6.18\text{‰}$ ) ことが分かった。これは、同じヨシ帯でも、多摩川と小櫃川とでは陸域からの影響の受け止め方が異なることを示している。すなわち小櫃川では、ヨシ帯が陸域起源の有機物を堆積させる働きをしているのではないかと考えられる。なお、採集場所は、多摩川では河口から 2km ほど上流の大師橋下のヨシ帯で、小櫃川は河口のすぐ近くのヨシ帯で海により近い場所である。

図 2-1-3. 小櫃川と多摩川の生産の基盤の CN 散布図.



### ③ 小櫃川の堆積有機物食者

前項で、小櫃川のヨシ帯の内側と外側では堆積有機物の安定同位体比が異なることが明らかとなった。そこでここでは、小櫃川の堆積物食者の安定同位体比を比較した(図 2-1-4)。

#### a 場所限定の種類

ヨシ帯の内側にのみ出現したのはセジロムラサキエビ、クリイロカワザンショウ、カワザンショウガイ、フトヘナタリの 4 種類である (図 2-1-4 の青の記号)。また、ヨシ帯の外側の干潟のみに出現したのはタカノケフサイソガニ、マメコブシガニ、コメツキガニ、ユビナガスジエビ、テナガツノヤドカリ、ヨコエビ類の 1 種、アラムシロ、イボニシ、イボキサゴの 9 種類である (図 2-1-4 の赤の記号)。

ヨシ帯の内側にのみ出現した種類 (図 2-1-4 の青) は、堆積有機物 ( $\delta^{13}\text{C}$  が  $-22.2\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$  が  $5.40\text{‰}$ ) を原点とした食物連鎖に含まれていることが分かった。また、ヨシ帯の外側の干潟域でも、そこにのみ出現した種類 (図 2-1-4 の赤) は、ヨシ帯の内側と同じく、堆積有機物 ( $\delta^{13}\text{C}$  が  $-18.8\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$  が  $7.89\text{‰}$ ) を原点とした食物連鎖であった。

#### b 共通種

ヨシ帯の内側と外側に出現したのはアシハラガニ (図 2-1-4 の  $\Delta$ )、チゴガニ (○)、ヤマトオサガニ (大きい○)、ホソウミニナ ( $\diamond$ ) の 4 種類である。

これら 4 種類には二つのタイプが認められた。

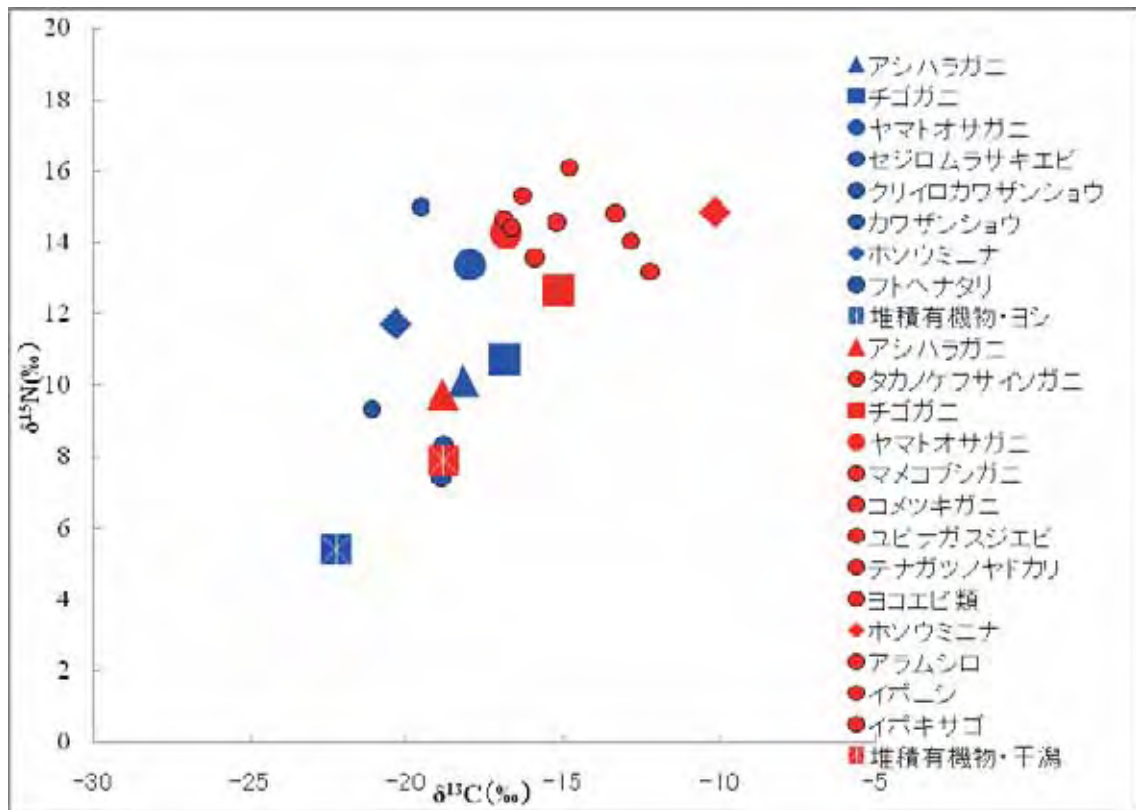


図 2-1-4. 小櫃川の有機堆積食者と有機堆積物の安定同位体比  
(ヨシ帯の内側は青、外側は赤で示している).

一つはアシハラガニ以外の 3 種類である。これら 3 種では、ヨシ帯内外の堆積有機物を原点とした食物連鎖を示している。ただし、3 種のうちホソウミニナに関しては、ヨシ帯の内側で採集されたホソウミニナ (青の◇) は内側の堆積有機物を原点とした食物連鎖に連なっていたが、外側の干潟で採集されたホソウミニナ (赤の◇) は  $\delta^{13}\text{C}$  の値がかなり大きかった。これは、ホソウミニナがアシ帯の外側の堆積有機物だけでなく、他にも餌としているものがあることを示唆している。

二つめのタイプであるアシハラガニについては、外側の干潟で採集されたもの (赤の△) がヨシ帯の内側で採集されたもの (青の△) に比べて  $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$  とともに低いという結果が得られた。ただし、その値には差がほとんどみられなかった(内側の  $\delta^{13}\text{C}=-18.2\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}=10.0\text{‰}$ 、外側の  $\delta^{13}\text{C}=-18.9\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}=9.7\text{‰}$ )。これらのことから、アシハラガニは、ヨシ帯の内側や外側といった生息している場所の堆積有機物を摂餌するのではなく、選択的に、移動してヨシ帯の内側の堆積有機物を摂餌しているのではないかと考えられた。

## (2) 小櫃川河口域の滞筋と干潟タイドプールの魚類相

2009年5月10日と6月10日、7月8日、8月6日、9月7日、10月5日に小櫃川河口域の3地点（河口干潟1地点（図2-1-5のA）と塩水湿地帯に入った2地点（BとC））の滞筋とタイドプール、計6地点で魚類を採集した。

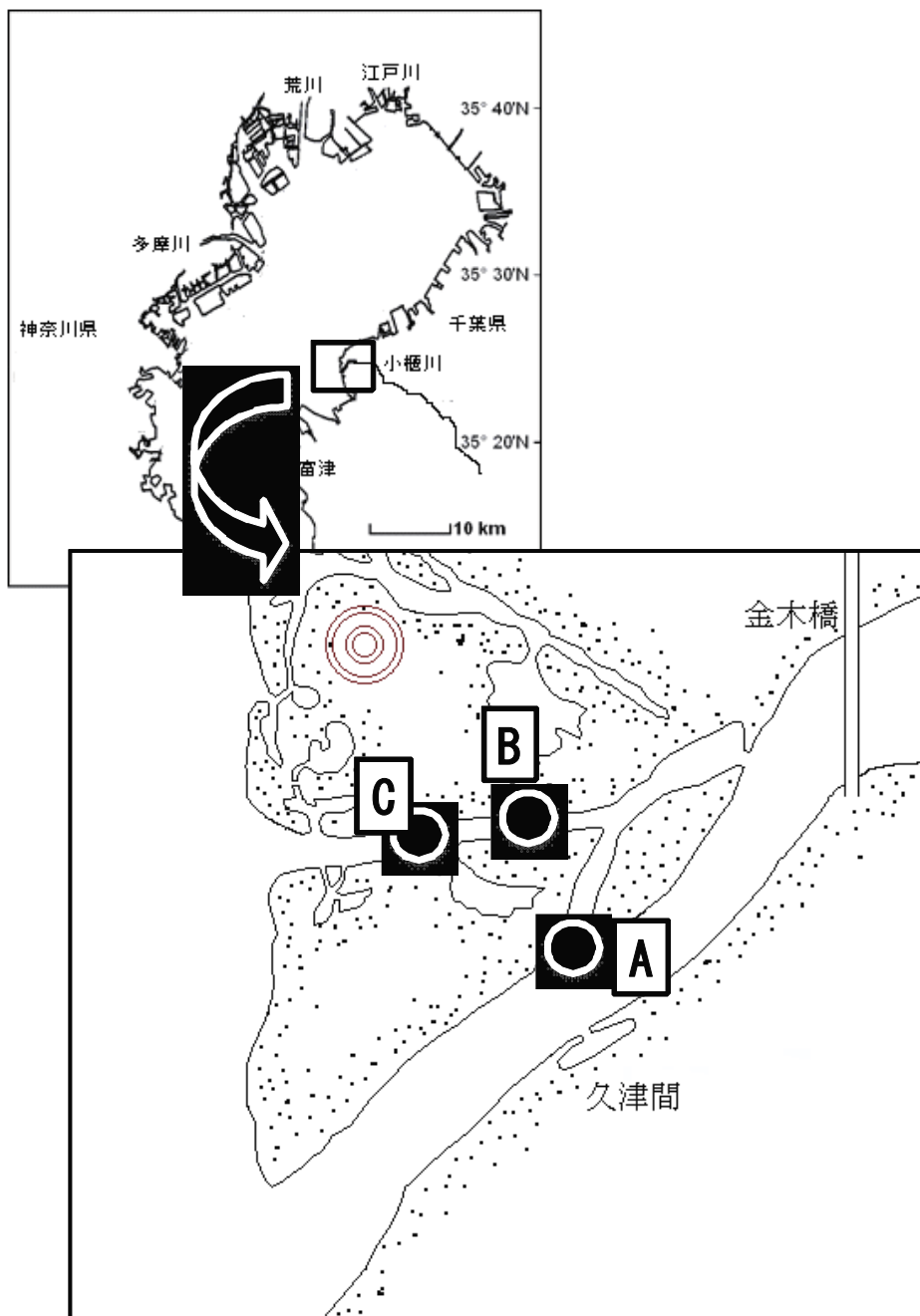


図 2-1-5. 小櫃川の魚類相調査地点（各地点の滞筋とタイドプールで採集を行った）。

その結果、2科（ボラ科のボラが1個体とハゼ科）12種以上2,347個体が採集された（表2）。そのうち、濤筋では2科12種以上1,480個体が、タイドプールでは1科7種867個体が得られた。最も多かったのはチクゼンハゼ（全体の47.3%）で、ついでヒモハゼ（18.6%）、マサゴハゼ（14.8%）であった（図2-1-6）。

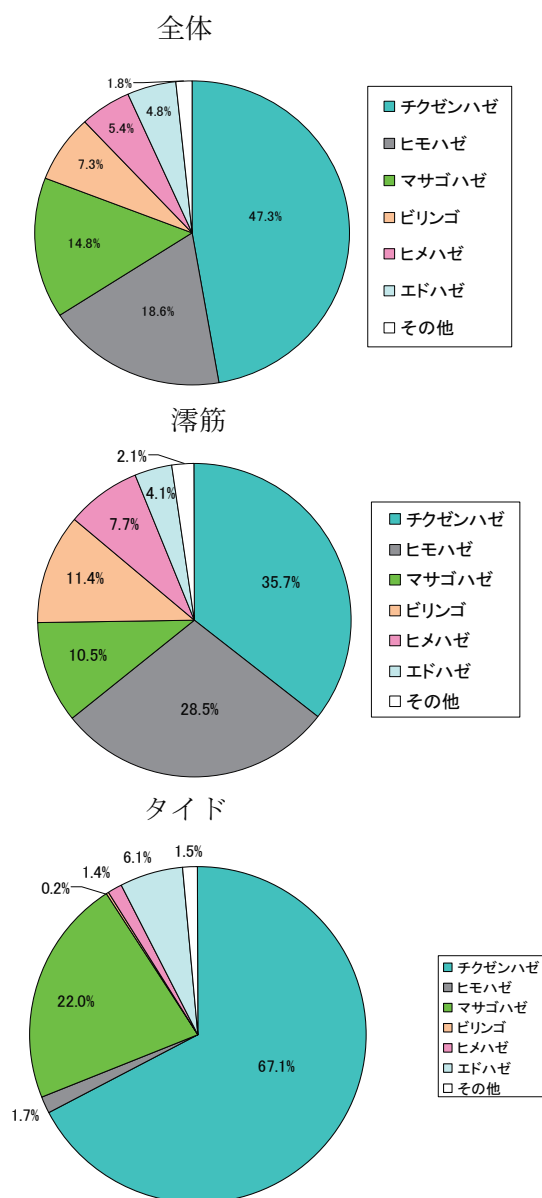


図 2-1-6. 小櫃川の濤筋とタイドプールで採集された魚類の割合。

チクゼンハゼは、採集された個体数は濔筋でもタイドプールでもほぼ同じであったが、割合ではタイドプールでやや多かった（67.2%に対して濔筋では 35.7%）（表 2-1-2）。マサゴハゼもタイドプールでやや多く、22.0%（濔筋では 10.5%）であった。逆に濔筋で多かったのはヒモハゼ（422 個体・28.5% vs 15 個体・1.73%）とビリンゴ（169 個体・11.4% vs 2 個体・0.23%）、ヒメハゼ（114 個体・7.70% vs 12 個体・1.38%）であった。タイドプールだけで採集された魚種はいなかったが、濔筋だけで採集されたのはアシシロハゼ（19 個体）とボラ（1 個体）、チチブ属不明種（1 個体）、ハゼ科不明種（5 個体）であった。

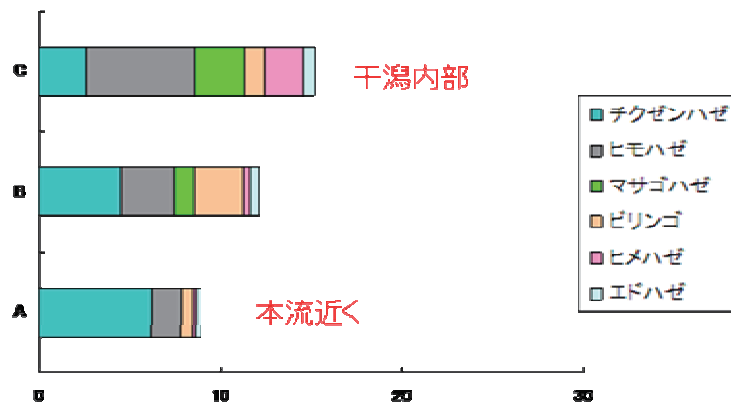
表 2-1-2. 小櫃川の濔筋とタイドプールで採集された魚類の個体数と割合

	全体	割合	みおすじ	割合	タイドプール	割合
アシシロハゼ	19	0.81	19	1.28	0	0.00
アベハゼ	13	0.55	4	0.27	9	1.04
エドハゼ	113	4.81	60	4.05	53	6.11
チクゼンハゼ	1111	47.34	528	35.68	583	67.24
チチブ属sp.	1	0.04	1	0.07	0	0.00
ハゼ科sp.	5	0.21	5	0.34	0	0.00
ヒメハゼ	126	5.37	114	7.70	12	1.38
ヒモハゼ	437	18.62	422	28.51	15	1.73
ビリンゴ	171	7.29	169	11.42	2	0.23
ボラ	1	0.04	1	0.07	0	0.00
マサゴハゼ	347	14.78	156	10.54	191	22.03
マハゼ	3	0.13	1	0.07	2	0.23
	2347		1480		867	

調査地点（A～C：図 2-1-5 を参照）別に、出現する単位あたり個体数（1 m<sup>2</sup>あたり）を図 2-1-7 に示した。濔筋では、干潟の内部（地点 C）の方がヒモハゼとヒメハゼが多く出現し、本流近く（地点 A）ではチクゼンハゼが多く出現した。さらにタイドプールでは、干潟の内部である地点 B と C でマサゴハゼが多く出現し、本流近くではまったく採集されなかった。

多摩川河口域でも調査をすすめているマサゴハゼについては、『タイドプールに多く出現するのは、濔筋がないためである』という仮説をたてていた。しかし本研究の結果から、マサゴハゼは元来タイドプールを生活場所として利用しているのもあって、濔筋が発達していないからタイドプールを利用しているのではないことが判明した。

### みおすじ



### タイドプール

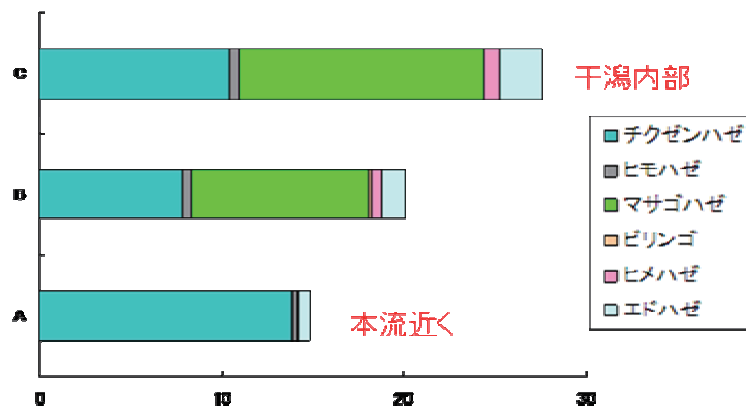


図 2-1-7. 小櫃川の調査地点 (A~C) 別の採集された魚類の 1 m<sup>2</sup>あたりの個体数.

### (3) 多摩川河口域におけるマサゴハゼの生息状況と安定同位体比

河口域の干潟のダイドプールに生息するマサゴハゼについては、『マサゴハゼの生息状況は陸域からの影響を受けているのではないか』という作業仮説をたてている。それを明らかにするため、多摩川河口域の河口付近から上流に向かっての 8 か所でマサゴハゼを採集し、同時に底泥も採取した。表 2-1-3 にそれらの (途中) 結果を示す。







多摩川河口干潟																		各魚種の平均								
pool no.	Date	河口からの距離 (m)	汀線- ブール距離 (cm)	ブール高さ (cm)	水温(°C)	底質作業者	全重量	粗砂重量	細砂重量	中砂重量	粗砂重量	細砂重量	中砂重量	粗砂重量	細砂重量	貝殻	77µm孔砂量 (個/0.25m <sup>2</sup> )	乾石炭灰 (%)	有機炭灰 (%)	面積 (m <sup>2</sup> )	配給者	安定同位体測定単位値	安定同位体測定単位値	個体数	平均	
8	7	20090916	3947	22.4	72	26.8	34.321	10.483	0.063-0.124	11.575	3.374	0.334	0.026	>1.00	0.026	0	0	0	0	0.35	田崎	δ 13C	δ 15N	6	17.14	
8	8	20090916	3977	43.5	66	27.5	35.908	13.765	0.675	0.328	0.064	0	0.124	0	0	0	0	0	0	0.28	田崎			0	0.00	
8	9	20090916	3950	3.5	10	30.8	35.218	14.707	1.607	0.217	0.034	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	田崎			14	12.73	
8	10	20090916	3988	32	71	31.2	35.218	14.707	1.607	0.217	0.034	0	0	0	0	0	0	0	0	0.63	田崎			12	19.05	

ここでは、マサゴハゼの生息密度と底泥の炭素あるいは窒素同位体比の関係を求めた図（図 2-1-8）を示す。図 2-1-8 の一番上の図で、地点 1、2、6 は最も下流で、地点 5 と 8 が最上流である。地点 3、4、7 は中間にある。安定同位体比もほぼ、これらの場所と陸域からの影響を反映していると考えられる。一方、マサゴハゼの生息密度と安定同位体比の間には、明瞭な関係は認められない（寄与率は 0.351 と 0.045）。しかし、安定同位体比が低いほど（陸域からの影響が大きいと考えられる）、生息密度が高い傾向も見られた。

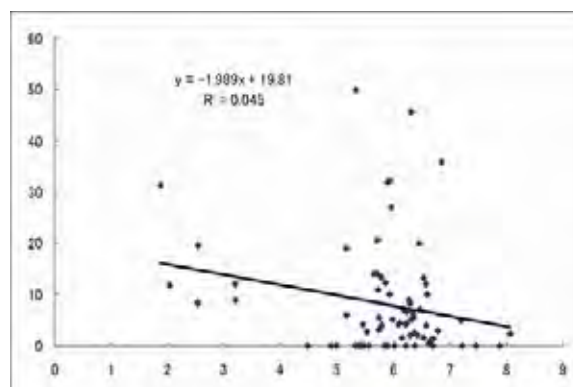
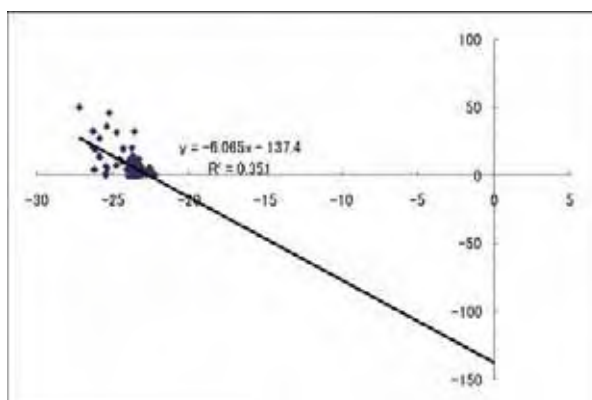
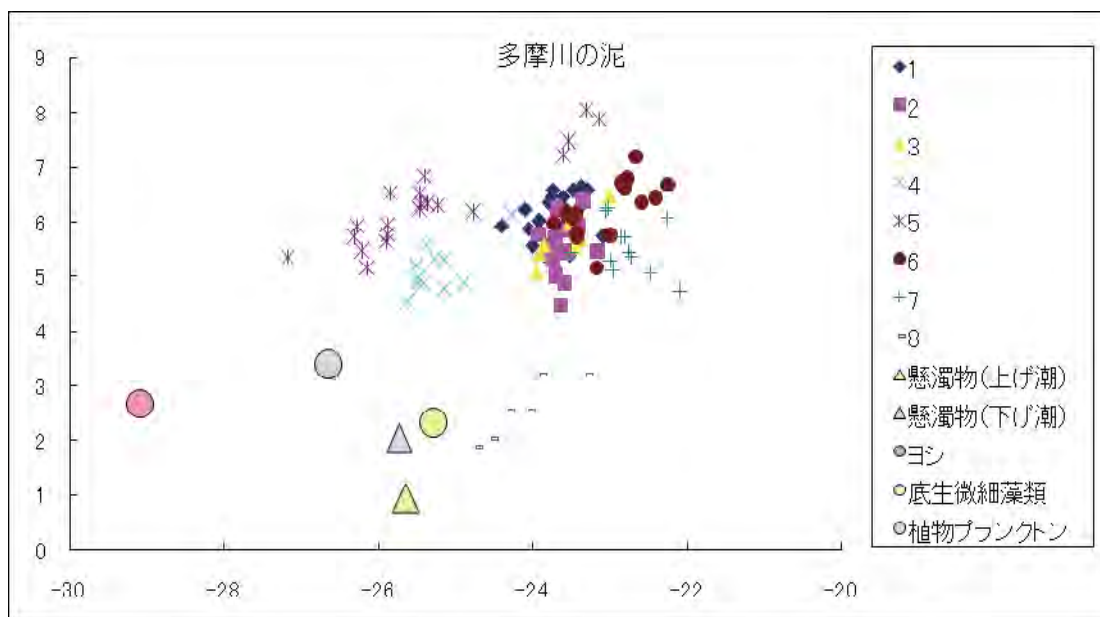


図 2-1-8. 多摩川河口域 8 地点の泥の安定同位体比（上）と出現個体数と  $\delta^{13}\text{C}$ （左下） および  $\delta^{15}\text{N}$ （右下）との関係.

## 2-2 小櫃川流域のフルボ酸の影響評価に関する調査研究<sup>2</sup>

### (1) はじめに

わが国は周辺を海に囲まれた温暖な森林地帯であり、森と里と海の各生態系が川を介して密接につながることで、流域、河川、沿岸域の環境が維持されてきた。人間は豊かな水資源と食糧資源を容易に入手できるこれらの環境に集まり、生活を営むことになる。しかし、近年、人間活動の急速化とそれともなう自然環境の改変が個々の生態系を変質させ、その相互作用の関係が分断しつつある。そのため、水圏の生物生産の仕組みと生物多様性が損なわれ、川や海において深刻な問題として表面化している。その本質的問題は、陸域と海域、そして、それをつなぐ河川流域との一体管理が欠如している点にあり、さらに、水質の悪化や子供達への自然教育の錯誤が河川流域での生活に魅力・関心が薄れてきていることであろう。

そもそも、自然の構築は水や大気の流れにより成り立ち、森が有機物を生産し、かつ、多量の水資源を確保し、それが地中の無機栄養塩を取込みながら河川流域に輸送され、やがて海域に供給されることで生態系が構成される。しかし、貿易自由化のあおりでわが国の林業・農業、さらに地球環境変動ともなう食文化の変移により畜産業・漁業も衰退し、これら第一次産業個々に管理された流域環境は壊滅状態に追い込まれている。このことから、流域をめぐる豊かな地域社会の構築には、里山、里海の健全なつながりである「連環」の回復と自然環境の再生が不可欠であることが認識され、近年、沿岸域の環境を守るために、漁民などによる植林運動が各地で盛んに行われるようになった。また、このような社会運動に触発される形でいくつかの研究拠点が構築され、例えば、北海道大学低温科学研究所や国立極地研究所を中心に2005年より「アムール・オホーツク国際プロジェクト」が開始した。対象となるアムール川はオホーツク海への豊かな水産資源を生む鉄供給源となっているが、近年、河川流域の森林や湿地の衰退により「フルボ酸鉄」の生成量が低下した。結果、海洋への鉄供給が減少し、水産物の生産量に歯止めを及ぼしていると推測されている。

本研究では、流域圏と海域のつながりに関する科学的な検証を行い、一体的管理の必要性を明らかにして、海域の持続可能な利用と健全性の確保のための施策立案に資することを目標に、生物・化学手法を用いてローカルな物質循環の視点から、海域と流域圏のつながりを定量的に解明することを目的とする(図2-2-1)。その研究対象地に千葉県内の小櫃川流域とし、森・川・海のつなぐ物質として注目されているフルボ酸を指標に、里山から里海への栄養塩の物質輸送を調査した。

---

<sup>2</sup>本稿は千葉工業大学矢沢勇樹准教授の原稿による。

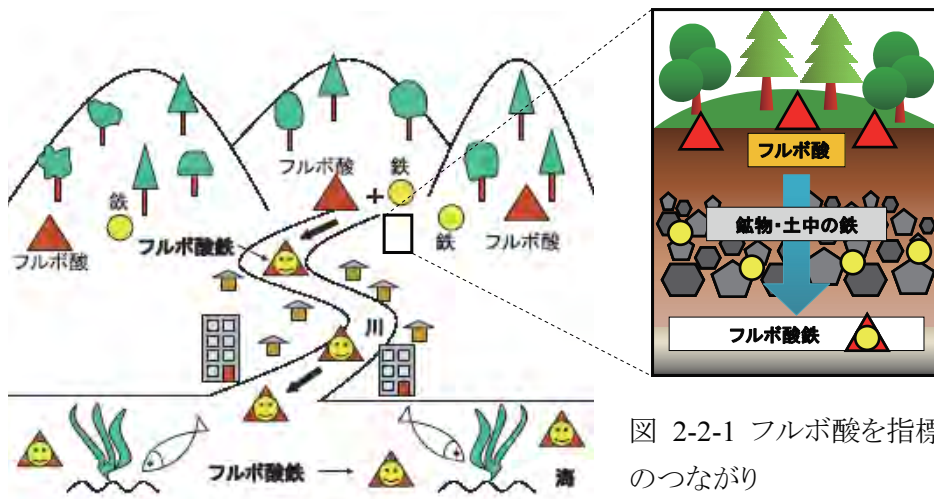


図 2-2-1 フルボ酸を指標とした流域圏と海域とのつながり

## (2) 小櫃川とその流域

小櫃川は、房総半島南部の房総丘陵東南部を源流とし、房総半島東京湾側中部の木更津市で東京湾に注ぐ、延長 88 km、流域面積 273 km<sup>2</sup> の千葉県内に源流をもつ川では最長の第二級河川である。8 つの支流からなる (図 2-2-2)。

本流の源流域の清澄山系 (標高 377 m) は、千葉県で最も大面積の自然林 (東京大学千葉演習林) が保存されている自然豊かな所である。また、西側より合流する笹川では、元清澄山 (標高 344 m) 千葉県自然環境保全地域のほか、香木原の自然度の高い広大な国有林が支流の源流となる。さらに支流のなかで流域面積が最も大きい御腹川は、千葉県天然記念物の大福山 (標高 295 m) の森および梅ヶ瀬溪谷千葉県自然環境保全地域と分水の尾根を挟んですぐ西側を源流とする豊かな自然が形成されている。しかし、最近この最源流の地に産業廃棄物最終処分場が建設されるとともに、北に続く同尾根に残土処理場も数箇所建設されている。源流と上流の境に位置する上総亀山地区では、亀山ダムと片倉ダムが建設され、それぞれ亀山湖と笹湖を形成し、観光地として変化している。

上流域の上総丘陵の地質は、上総層群と呼ばれる堆積層で、その地質は凝灰質の砂礫層や泥岩、砂質泥岩が主体であり、固くて透水性が低いことが特徴となっている。この上総層群 (図 2-2-3) には約 300 万～50 万年前に地中に封鎖された古代海水「地下かん水」が含まれており、亀山湖畔のホテルで湧出地下かん水が利用されている。地質が柔らかいため、河川水の浸食作用により河道が激しく蛇行しており、この地形を利用して狭い所をつなげる「川廻し」が行われている。川廻しは、平地の少ない源流域で水田への利水目的として最も多く行われているが、この上総丘陵では川廻しによる落差を利用して水力発電も行われている。

中流域では、下総層群と呼ばれる堆積層で、その地質は砂質土を主体に粘性土が混在しているため、多くの地下水が涵養されている。特に、久留里では豊かな地下水が自噴する上総掘り井戸の銘水の里として有名である。また、このあたりから水田地帯が広がり、古

くから肥沃な沖積地として開墾されたと推測される。中流域にみられる丘陵は上総層群の万田野・市宿層で形成されており、良質な砂と礫に富むため、都市建設の貴重な地下資源として活発に山砂採集が行われている。その結果、里山が消失するだけでなく、流域の汚染や汚濁問題が顕在化している。

下流域の河岸段丘も、小櫃川の土砂運搬・堆積作用により形成された未固結な砂や泥、泥炭などによる沖積層が厚く堆積している。これらの土壌は水はけの良い灰色低地土であることから、良好な水田環境に寄与している。よって、中流から下流域では房総の穀倉地帯として広がり、近年では施設園芸も盛んになっている。最近では、湾岸工業地帯へ勤める住宅地域として開発されつつある。

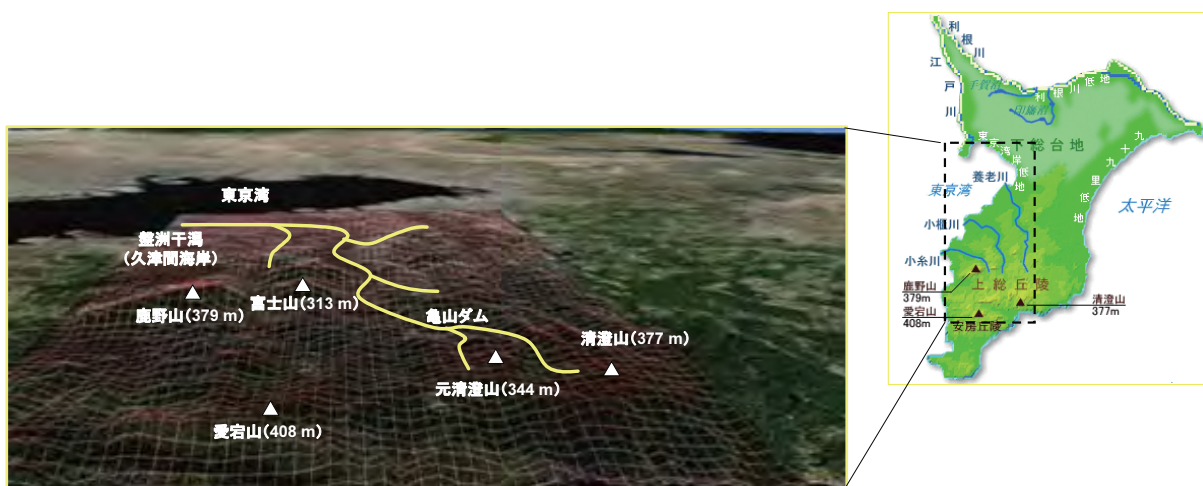


図 2-2-2 小櫃川流域の地形

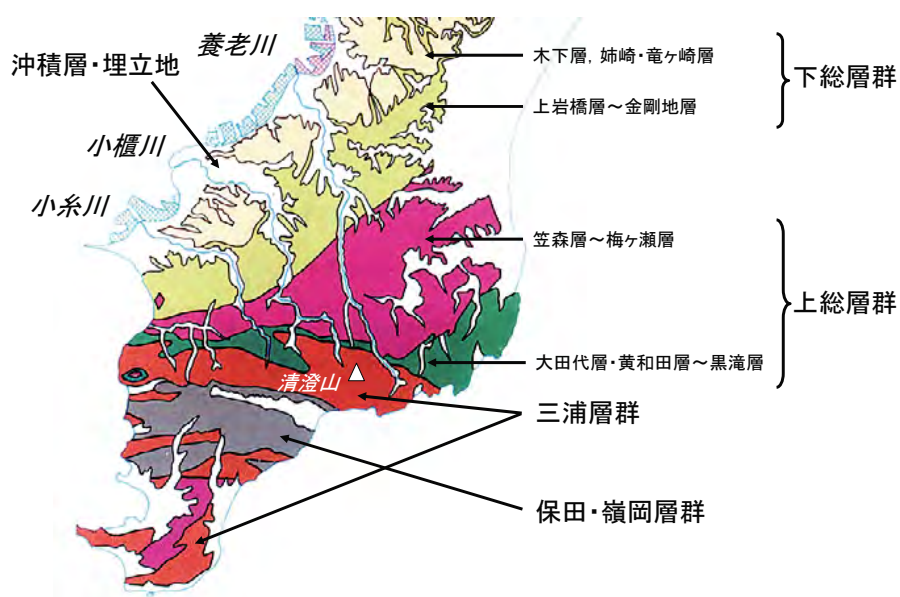


図 2-2-3 小櫃川流域の地質

最下流域の河口部には、東京湾で唯一残された広大な盤洲干潟が広がる（図 2-2-4）。この盤洲干潟の面積は 1,400 ha と日本一の砂質干潟であり、中・下流域の沖積平野とともに小櫃川が長い年月をかけて上流からの砂泥を運搬した結果、形成されたものである。河口三角州に広がるヨシ（アシ）原は、塩生植物群落や底生動物群、季節により飛来する渡り鳥や留鳥、希少な生物種を含むゴミムシ群など生物多様性に優れている。そのため、塩生植物、底生動物、干潟生態系などの研究者の来訪も多い。この盤洲干潟に繁茂するヨシ原も、かつての東京湾流域沿岸にみられた風情で、先の地下かん水とは異なった関東地下から湧出する「黒水」の根源と考えられる。

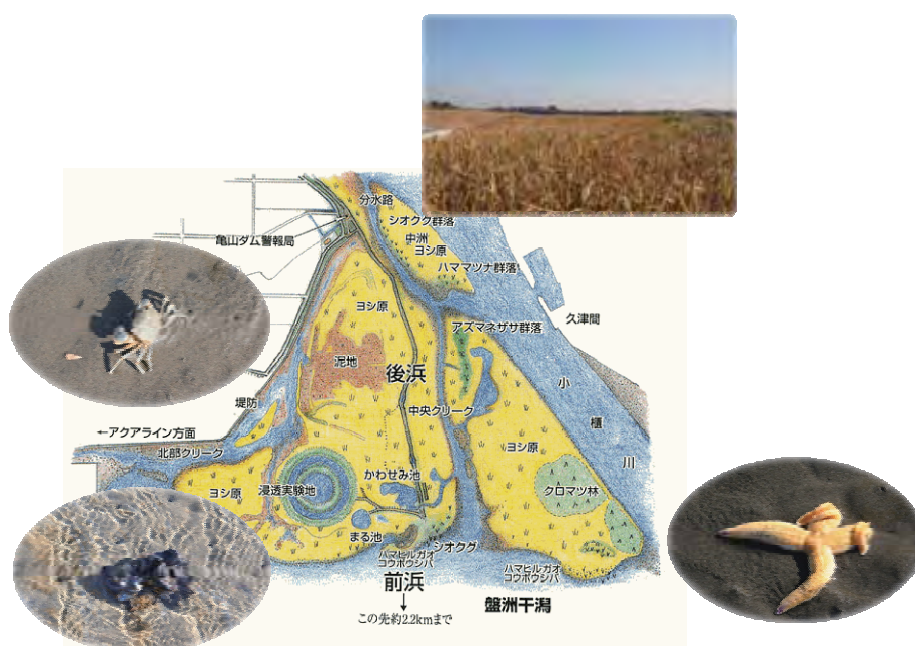


図 2-2-4 小櫃川河口の盤洲干潟

### (3) 小櫃川流域の水質調査

#### ① 調査地点および採水日

本研究で行った調査地点は、本流河口地点 (St.1) から南南東方向の源流地点 (St.13) に向けて全 13 地点設定した (図 2-2-5)。各地点の平均間隔距離は 5.9 km、河道総距離は約 70 km である。河口の St.1 から St.8 までの 45 km 間は 1/1,000 程度と比較的平坦であるが、その後、亀山湖がある St.9・10 まで 1/200、さらに源流の St.13 に至ると 1/100 以上と急勾配となる。既報の養老川の流域環境と同様、下流から上流に向けて年平均気温は 15°C から 14°C、年平均降雨量は 1,500 mm から 2,000 mm となり、地質も沖積層、下総層群、上総層群、そして清澄山頂では三浦層群のように変遷する。各調査地点の名称と経緯度、さらに環境を



表 2-2-1 に示す。なお、St.8 については 5 月とそれ以外の時期と調査地点を変更した。

各調査地点の採水は四季を通して年 4 回行った。第一回目（春季）は、2009 年 5 月 8・9 日，第二回目（夏季）は同年 8 月 24・25 日，第三回目（秋季）は同年 11 月 6・7 日，第四回目（冬季）は 2010 年 1 月 6・7 日である。気象庁より報告されている木更津（N35°21.7'，E139°56.4'，標高 60 m）と坂畑（N35°14.1'，E140°05.9'，標高 120 m）の気象データ（降雨量，気温，日照時間）を 2009 年 2 月から 2010 年 1 月までの日変化と各採水日から一週間前までの時間変化を図 6 に示す。木更津は小櫃川の下流－中流域，坂畑は中流－上流域を反映していると考えられる。傾向として，坂畑は木更津に比べ降雨量が高く，昼夜の気温差が

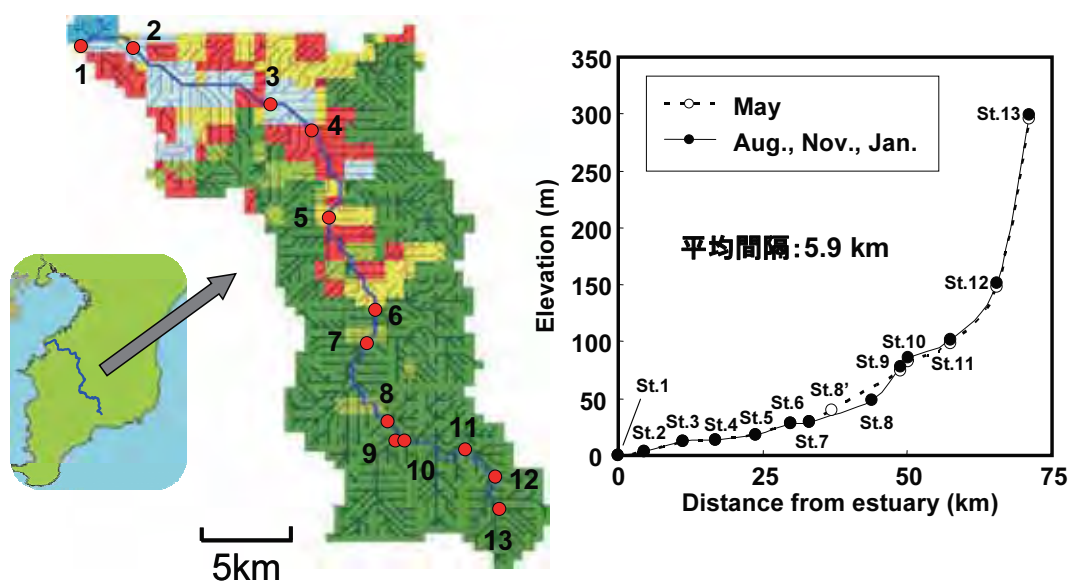


図 2-2-5 小櫃川流域の調査地点と河口からの距離・標高







大きいことがわかる。いずれの採水日も天候に恵まれたが，5 月は採水日早朝まで雨であった。

## ② 採水および分析方法

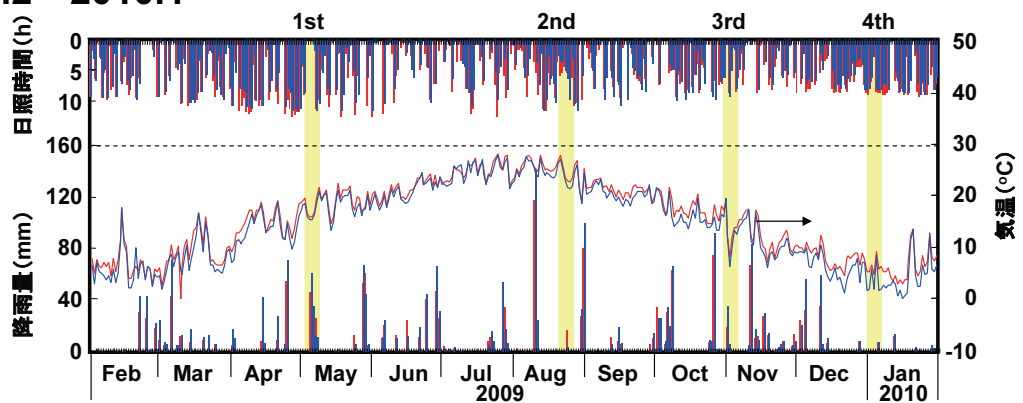
河川に直接入ることが難しく，かつ水深が深い場所においては架橋より投げ込み式のハイロート型採水器（500 mL）を用い，それ以外の場所は直接ポリ瓶に採水した。採水は各地点 3 回行い，0.45 μm メンブレンフィルターにてろ過後，密栓ポリ瓶に入れ定温保存した。

調査項目として，島津製作所社製全有機炭素（TOC-V<sub>C<sub>SH</sub></sub>）計による溶存有機炭素（DOC）と全窒素（TN），同社製原子吸光分光光度（AA-6200）計による溶存鉄（DFe）と溶存ケイ素（DSi），HACH 社製分光光度（DR/890）計によるリン酸態リン（PO<sub>4</sub>-P），東亜ディーケーケー社製 pH・電気伝導度（WM/EE2P）計による pH，電気伝導度（EC）および水温，HACH 社製溶存酸素濃度（HQ40d）計による溶存酸素濃度（DO），Turner Designs 社製 Aquafluor

表 1 小櫃川流域の調査地点の名所・経緯度・環境

St.	名称	経緯度	環境	St.	名称	経緯度	環境
1	盤洲干潟	N 35°24'12" E139°53'49"		8	大盛橋	N 35°14'42" E140°03'55"	
2	小櫃橋	N 35°25'12" E139°56'35"		9	亀山ダム	N 35°13'47" E140°05'07"	
3	椿橋	N 35°23'44" E139°59'07"		10	藤林大橋	N 35°13'47" E140°05'19"	
4	富川橋	N 35°22'46" E140°01'30"		11	黄和田橋	N 35°13'40" E140°07'39"	
5	西賀和橋	N 35°20'04" E140°02'34"		12	白岩橋	N 35°11'24" E140°08'29"	
6	菰捨橋	N 35°17'54" E140°04'15"		13	清澄寺 付近	N 35°09'45" E140°08'58"	
7	越川橋	N 35°16'56" E140°04'05"					

(a) 2009.2～2010.1

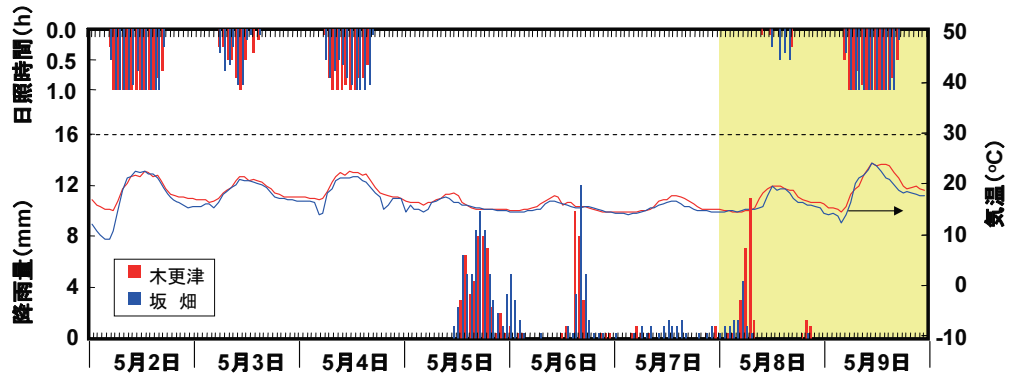


- 木更津  
N35°22'  
E139°56'  
標高60m
- 坂畑  
N35°14'  
E140°06'  
標高120m

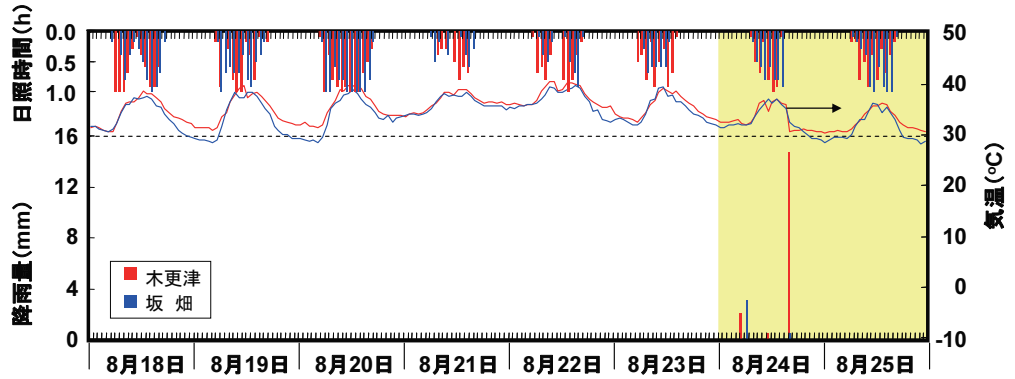


図 2-2-6 小櫃川流域の気象データ(2009.2～2010.1)

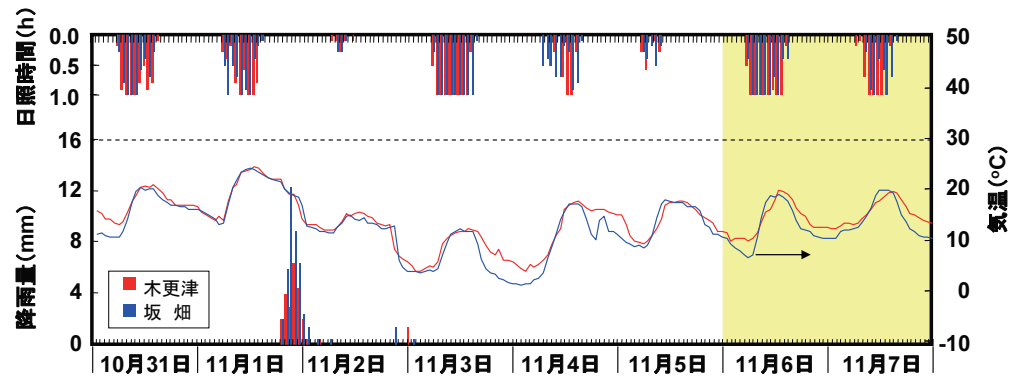
(b) 2009.5.2~5.9



(c) 2009.8.18~8.25



(d) 2009.10.31~11.7



(e) 2009.12.31~2010.1.7

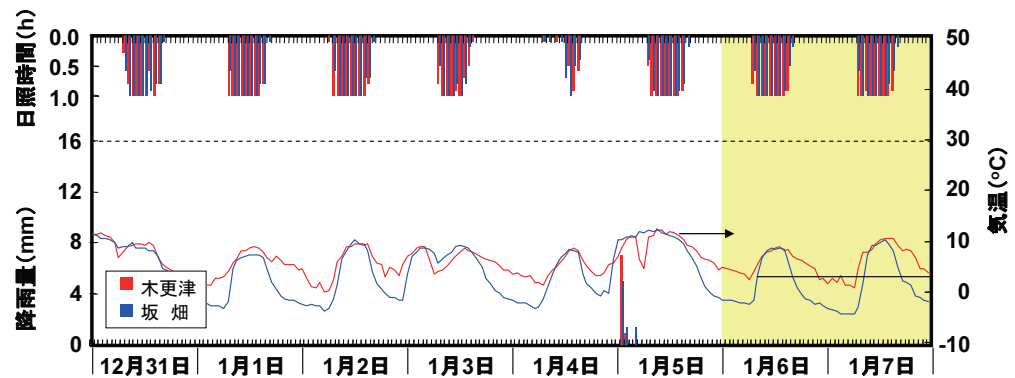


図 2-2-6 小櫃川流域の気象データ(2009.2~2010.1)

蛍光分光計または笠原理化工業社製 CHL-30 計との併用によるクロロフィル a 濃度 (*Chl.a*) をそれぞれ測定した。pH, EC, DO および *Chl.a* 値についての測定は現地で行い、それ以外は大学研究室にて行った。また、流量は川幅、水深および線流速を現場にて計測し、求めた。

さらに、DOC 中のフルボ酸およびフルボ酸-鉄量の解析に島津製作所社製分光蛍光高度 (RF-5300PC) 計を用い、0.45  $\mu\text{m}$  フィルターに通液した試料水について測定した。励起波長 ( $E_x$ ) 220-500 nm, 蛍光波長 ( $E_m$ ) 250-600 nm 間の範囲に対し、三次元蛍光スペクトルをバンド幅 5 nm で測定した。得られたスペクトルデータについて、純水のスペクトルでゼロ補正した後、10  $\mu\text{g/L}$  硫酸キニーネ/0.1N 硫酸水溶液の  $E_x345 \text{ nm}/E_m 450 \text{ nm}$  の時の蛍光強度を基準に相対蛍光強度 (1QSU) に変換した。

### ③ 水質データ

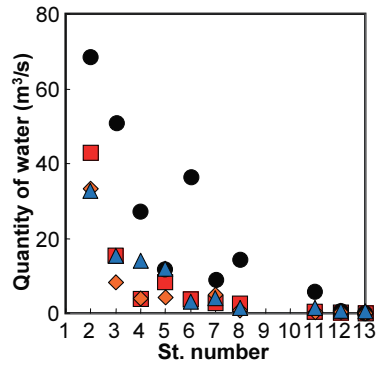
各採水日の水質データを調査地点と対応させ図 2-2-7 に示す。ただし、調査地点の個々のデータは同時でない。

ー流量 (図 2-2-7-a)ー いくつかの調査地点においてデータがないのは、河口汽水域 (St.1) の潮位により流向が定まらない、もしくはダム湖 (St.9, 10) において流速が極めて低いからである。これについては、(5) ③において補間補正を行う。全体的には、上流から下流に向けて St.8, St.5 辺りから水量が増しており、それぞれ笹川、御腹川が合流したことによる。当然のことながら、下流への流量の増加は小櫃川流域面積 (図 2-2-5) の増加を反映している。採水日毎で比較すると 5 月の流量が高くなっており、採水日早朝までの降雨が直ぐに影響を及ぼしたからである。

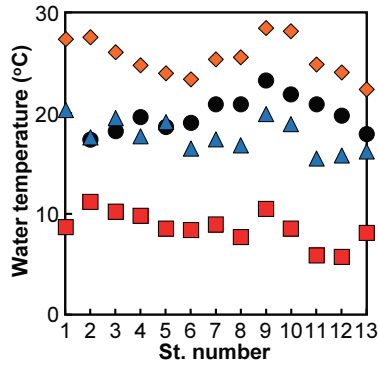
ー水温 (図 2-2-7-b)ー 各地点の水温は気温 (図 2-2-6) を反映し、5 月は水温・気温ともに 20°C 前後、8 月は水温 25°C 前後、気温 35°C 前後、11 月は水温 17°C 前後、気温 15°C 前後、1 月は水温 8°C 前後、気温 5°C 前後であり、特に夏季の温度差が大きい。また、全体的に気温は昼夜の温度差が大きいものの、水温は時間による変動は小さい。ただし、各地点のデータは同時でない。

ーpH (図 2-2-7-c)ー 河川水の pH は水質の総合的な指標として重要であり、酸・アルカリ物質のバランスが理解される。一般的には地球上の水圏環境の pH は海水を除いては酸性を示す傾向があるものの、小櫃川の pH は全て弱アルカリ側である。源流 (St.13) の pH は最も低く、森林土壌からの有機酸流出が主であり、ほとんどミネラル (塩基) を取り込んでいないと推測される。しかし、その下流の St.12 では急激に pH が高くなり、そこから下流に向かって低下した。これについては、流域の地質や土地利用による因子が大きいと考えられ、河川に多量のミネラルが流出している可能性がある。また四季を通しての水圏環境は、春から夏季にかけて最も生物活性 (プランクトンの増殖) が高い時期であり、特に水の循環が悪い止水湖では内部生産によりアルカリ化を引き起こす場合がある。しかし、St.9・10 の亀山湖ではむしろ pH は低くなった。以上のことから、上流域の pH が高い

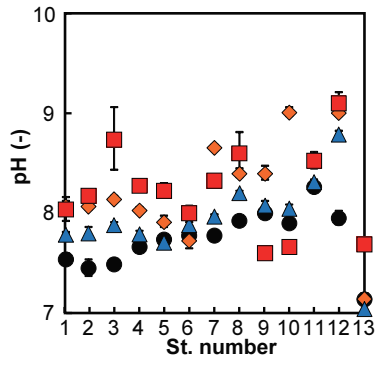
(a) Water quantity



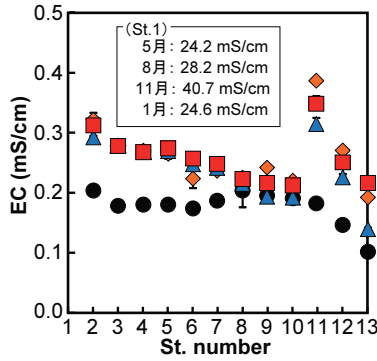
(b) Water temperature



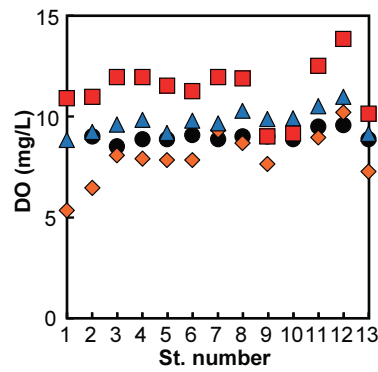
(c) pH



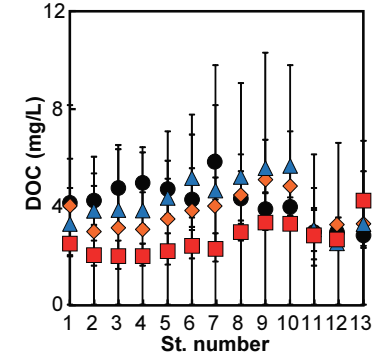
(d) EC



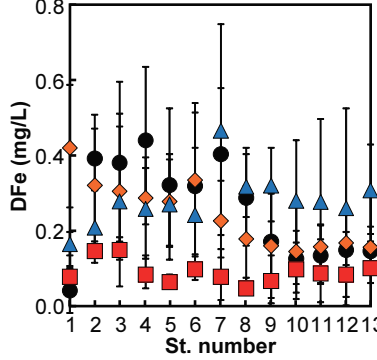
(e) DO



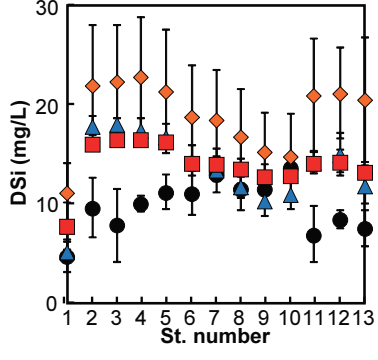
(f) DOC



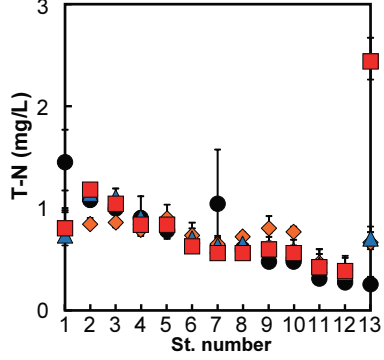
(g) DFe



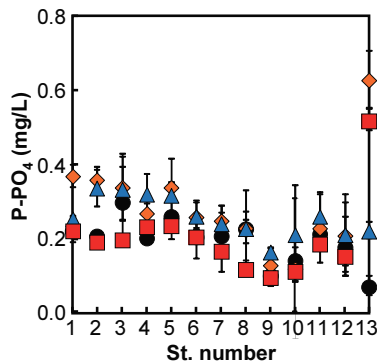
(h) DSi



(i) TN



(j) P-PO<sub>4</sub>



(k) Chl.a

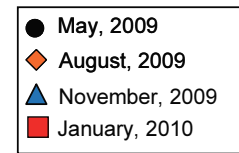
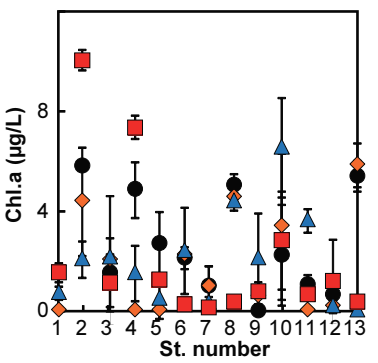


図 2-2-7 小櫃川流域の水質データ

理由として、その域の地質がアルカリ炭酸塩を多量に含む海底堆積層からなる上総層群の影響が高く、その傾向は河川流量（図 2-2-7-a）が低い夏季と冬季に顕著となると考えられる。

－EC（図 2-2-7-d）－ EC は水中に溶存するミネラルの総濃度と強く相関をもつ。先の pH についての考察と同様、上流域において EC が急激に増加していることから河川へのミネラル供給量が高いことがわかる。特に、春季にあたる 5 月の EC は他の時季に比べ全体的に低いことから、ミネラルを含む地下からの浸出水のほかに直前までの雨水が表層水として流出することで希釈されたと考えられる。さらに 5 月を除き他の時季では、St.10 で EC が激減しており、亀山湖で合流する笹川支流は本流に比べミネラルの取り込みが小さい、つまり、地下浸出水が少ないと推測される。河口域（St.1）は海水と混ざり合う汽水域であり、EC は河川水（St.2）の 100 倍、つまりミネラル総濃度も 100 倍に相当する。

－DO（図 2-2-7-e）－ 水中に溶解する酸素（DO）は呼吸代謝をもつ生物にとって最も重要な物質であり、生物が活発に DO を消費することで嫌気環境（還元状態）に移行することを証明する。結果より、調査地点による差異は 8 月の夏季と 1 月の冬季にみられ、8 月は St.1～3 の下流域で減少、1 月は St.9・10 の亀山湖で減少しており、これらの時季において各地点での生物活性量（呼吸量）が高いことを示唆する。また、全体的には上流域ほど DO がわずかに高い傾向がある。一方、季節間での差は顕著であり、春と秋季は平均 8～9 mg/L、夏季は平均 7 mg/L、冬季は平均 12～13 mg/L であった。このことから水温の高い 8 月は生物活性量が高く、逆に、水温が低い 1 月は生物活性量が低いことが再確認された。

－DOC（図 2-2-7-f）－ 本研究において重要な指標としているもので、水中に溶存する有機態炭素濃度である。この DOC は 0.45  $\mu\text{m}$  のフィルターを通液した画分であり、よって、懸濁有機態粒子を除く、水溶性の腐植物質（主にフルボ酸）、タンパク質、脂質、糖質、そして各種低分子有機酸が含まれる。結果より、源流（St.13）から亀山湖（St.9・10）まで増加し、それより下流では減少傾向を示した。St.13-11 までは季節差はみられないものの、St.10-8 の亀山湖下流では秋>夏>春>冬の順に、さらに St.7 下流では春季が最も高い値となった。この順列は、ミネラル濃度の指標である EC（図 2-2-7-d）と異なり、上流域では一様に DOC 供給が行われ、中・下流域では表層水からの DOC 供給が支配的であることが示唆された。つまり、この流域の 5 月は田植えを完了した水稲田の様子がみられ、その利水が河川に流入することで DOC が高くなったと推測される。よって、水耕作業が終了した 11 月と 1 月は逆に利水の流入がないため顕著に低下していると考えられる。上述の通り、DOC 中には様々な有機質が含まれているので、(3)⑤において DOC 中のフルボ酸量を求める。

－DFe および DSi（図 2-2-7-g, h）－ DOC と同様、水中に溶存する鉄（DFe）やケイ素（DSi）の濃度は生態系を構築する上での重要な物質指標であり、特に近年、陸域と海域とのつながりを評価する上で両物質の正味供給量と水圏生態系（植物プランクトン）との因果関係の本質が問われている。植物プランクトンにとって、DFe は光合成系や呼吸系における電子伝達、硝酸・亜硝酸還元、クロロフィルの生合成などに重要な役割を果たし、DSi

は珪酸質の殻を合成する珪藻類にとって必要不可欠である。よって、これらの溶存物質は水域環境に生息する植物プランクトンにとって制限栄養素であり、一次生産を担う植物プランクトンの増殖が制限されれば以降の食物連鎖が崩壊することになる。小櫃川流域の結果より、DSiはDFeに比べ50倍程度高濃度を示した。この理由として、DFeはDO(図2-2-7-e)が高い地表水にとって酸化されやすく、かつ、pHがアルカリ域であると難溶性の水酸化鉄コロイド粒子として沈着されやすく、一方、DSiはDOによる酸化の影響は受けず、pHが酸性側やアルカリ側に強くなるとむしろ溶解性を増すからである。季節性順位で比較すると、春季(5月)のDFeは下流域で最も高くなり、DSiは中流域が高くなるものの全体的に低かった。夏季(8月)のDFeは春季と同様の傾向順位を示すものの、DSiは逆の傾向を示し最も高い値を推移した。秋季(11月)のDFeは春・夏季の傾向と逆に上流域で高く、DSiは下流域で高かった。冬季(1月)のDFeは平滑かつ最も低い値を推移し、DSiは秋季と同様な傾向順位を示した。以上の結果より、DFeとDSiとは全く異なった濃度傾向を示し、流出起源・機構が異なるか、流域環境による影響の受け方が異なるからと考えられる。共通点として、St.1の河口汽水域ではDFe・DSiともに急減し、陸域で生産・供給された鉄およびケイ素は海域境界部で大部分消失されてしまうことが再認された。

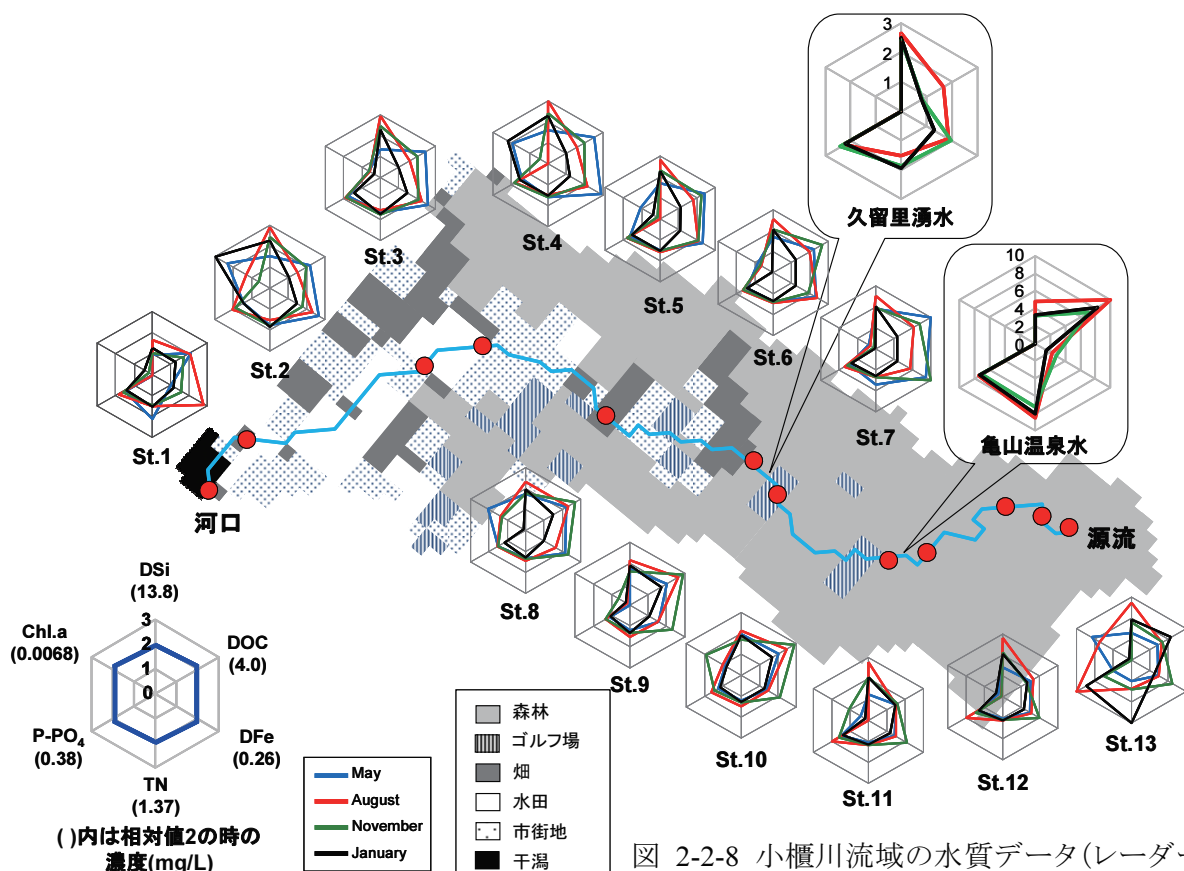


図 2-2-8 小櫃川流域の水質データ(レーダーグラフ)

－TN および P-PO<sub>4</sub> (図 2-2-7-i, j) － 一次生産者である植物プランクトンにとって水中の溶存窒素ならびにリンは必須栄養素である。TN については、源流 (St.13) の 11 月に最も高い値を示したことを除けば、上流から下流に従ってほぼ直線的に増加した。P-PO<sub>4</sub> についても、源流の 8, 11 月の高濃度値を除けば TN と同様の傾向を示した。源流域には清澄寺があり、その周辺民家からの家庭排水が窒素、リン負荷となっている可能性があり、また、下流域に関しては農業用水の影響も考えられる。

－*Chl.a* (図 2-2-7-k) － 河川水中のクロロフィル量は、葉緑素をもつ植物プランクトン量の指標として扱われる。よって、窒素、リンなどの主要栄養素以外に鉄やケイ素などの物質との相関も高いと考えられる。結果より、各物質濃度と比べバラツキが大きいものの全体的には 5, 11 月の春・秋季が高く、8, 1 月の夏・冬季は低い傾向があり、さらに上流から下流に従って増加傾向を示した。

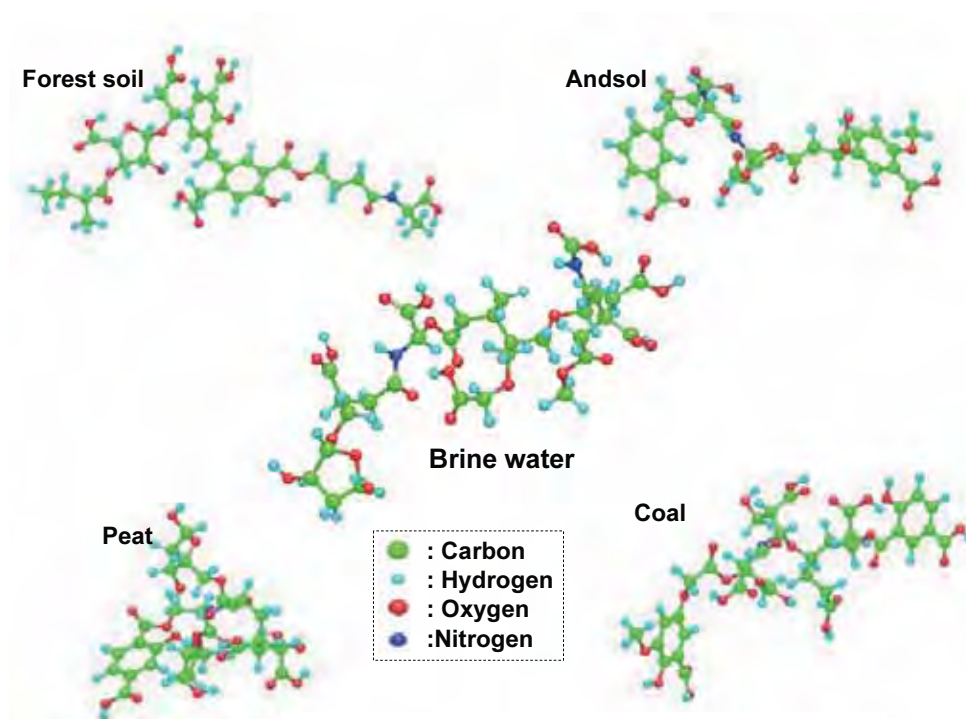


図 2-2-9 天然フルボ酸の平均化学構造

#### ④ 主要素成分濃度のバランス

(3) ③の水質データのうち DOC, DFe, DSi, TN, P-PO<sub>4</sub> および *Chl.a* 濃度について相対的なレーダーグラフに示した結果を図 2-2-8 に示す。*Chl.a* のバラツキを除けば、レーダ



ーグラフで示した六角形の変化が相互に比較することができる。6成分で構成する六角形が、単に上流から下流に向かって均等に拡大するのではなく、各調査地点、各季節で特異的に増大・減少することが小櫃川流域を体系的に把握することができる。ただし、調査時間が異なることと降雨による単に希釈効果のズレも考えられるので、(6)①において流量と流域面積値を加味した正味物質生産量（もしくは供給量）から考察する。

### ⑤ 三次元蛍光スペクトルによるフルボ酸およびフルボ酸-鉄量の解析

(3)③のDOCで記述した通り、河川水中には様々な有機物が含まれている。それらの有機物は、粒子状、コロイド状、さらに低分子状のものに分類され、さらに天然物のほか人工物を入れると限りない。特に、天然の有機物として重要な役割を担っているのが腐植物質である。腐植物質といっても一定の化学構造を有するわけではなく、一般的には動植物の遺骸が嫌気的な環境下において捕食者である微生物などにより分解・縮合を繰り返す過程において生成される暗褐色・無定形のコロイド物質と定義されている。さらに、これらの腐植物質は3つ分類され、酸・アルカリ溶媒いずれも不溶な画分をヒューミン、酸不溶・アルカリ溶媒に可溶な画分をフミン酸、酸・アルカリ溶媒いずれも可溶な画分をフルボ酸である。このことから水圏にはヒューミンは含まれず、フミン酸とフルボ酸のみが流入される可能性がある。フルボ酸に比べフミン酸は暗褐色が強く、分子量が数千～数万以上と高分子であるが、含酸素官能基（カルボキシル基、フェノール水酸基）はむしろ低い。そのためフミン酸は高pH域でないと水に溶けることができない。フルボ酸は分子量が1,000程度で、含酸素官能基を多く有するため水によく溶け、その溶液は黄色を示す。一般的には国際腐植物質学会が定める標準法（IHSS法、XAD8樹脂吸着、イオン交換樹脂精製）でフルボ酸は抽出されるが、含有量が低いため多量な原料と時間を要する。

これまでに矢沢らが抽出したフルボ酸の平均化学構造を図2-2-9に示す。図より、いずれのフルボ酸も分子構造に多くの含酸素官能基を保有することがわかるが、石炭系と土壌系、さらに水系（地下かん水）フルボ酸とでは母構造内の芳香族/脂肪族化合物の割合が異なる。水系フルボ酸は土壌系に比べ脂肪族に富み、特に、地下かん水からのフルボ酸は芳香族骨格をほとんど有していないことが特徴であり、表層水中のフルボ酸に確認されない化学構造である。さらに、地下かん水フルボ酸には窒素含有量も高いことから、このフルボ酸は外気から遮断された環境において生合成されたと推測される。このような地下かん水は小櫃川流域においても湧出・流入されている可能性が高く、亀山湖畔のホテルで温泉として利用されている。地下かん水フルボ酸は植物や植物プランクトンに対する生理活性も高く、水稻の根、茎の著しい生長やフルボ酸鉄による植物プランクトンの増殖が確認されている（図2-2-10）。

本研究では、IHSS法による抽出操作性の難題を改善するために、最近、多くの利用・報告されている三次元蛍光スペクトル法を用いて、河川水中のフルボ酸およびフルボ酸鉄の定性・定量を試みた。フルボ酸には特徴的な蛍光発光がみられるが、実は化学構造との

関連は未だ不明である。図 2-2-11 に水中に含まれるとされる天然有機物の三次元蛍光スペクトルを文献値より整理した。フルボ酸は、土壌系の場合  $E_x290-400 \text{ nm}/E_m 410-510 \text{ nm}$ 、水系の場合  $E_x270-350 \text{ nm}/E_m 370-420 \text{ nm}$  にピークがみられる。フミン酸は、 $E_x430-470 \text{ nm}/E_m 480-570 \text{ nm}$  にピークがみられ、フルボ酸・フミン酸いずれの場合も  $E_x220-300 \text{ nm}/E_m 380-550 \text{ nm}$  の広域にピークが現れる。非腐植物質として、タンパク質・アミノ酸類は  $E_x220-280 \text{ nm}/E_m 280-360 \text{ nm}$ 、糖類はフミン酸と同位置の  $E_x430-470 \text{ nm}/E_m 480-570 \text{ nm}$ 、尿は  $E_x490 \text{ nm}/E_m 520 \text{ nm}$  にピークが確認される。また、配色は相対蛍光強度 (QSU) を示す。

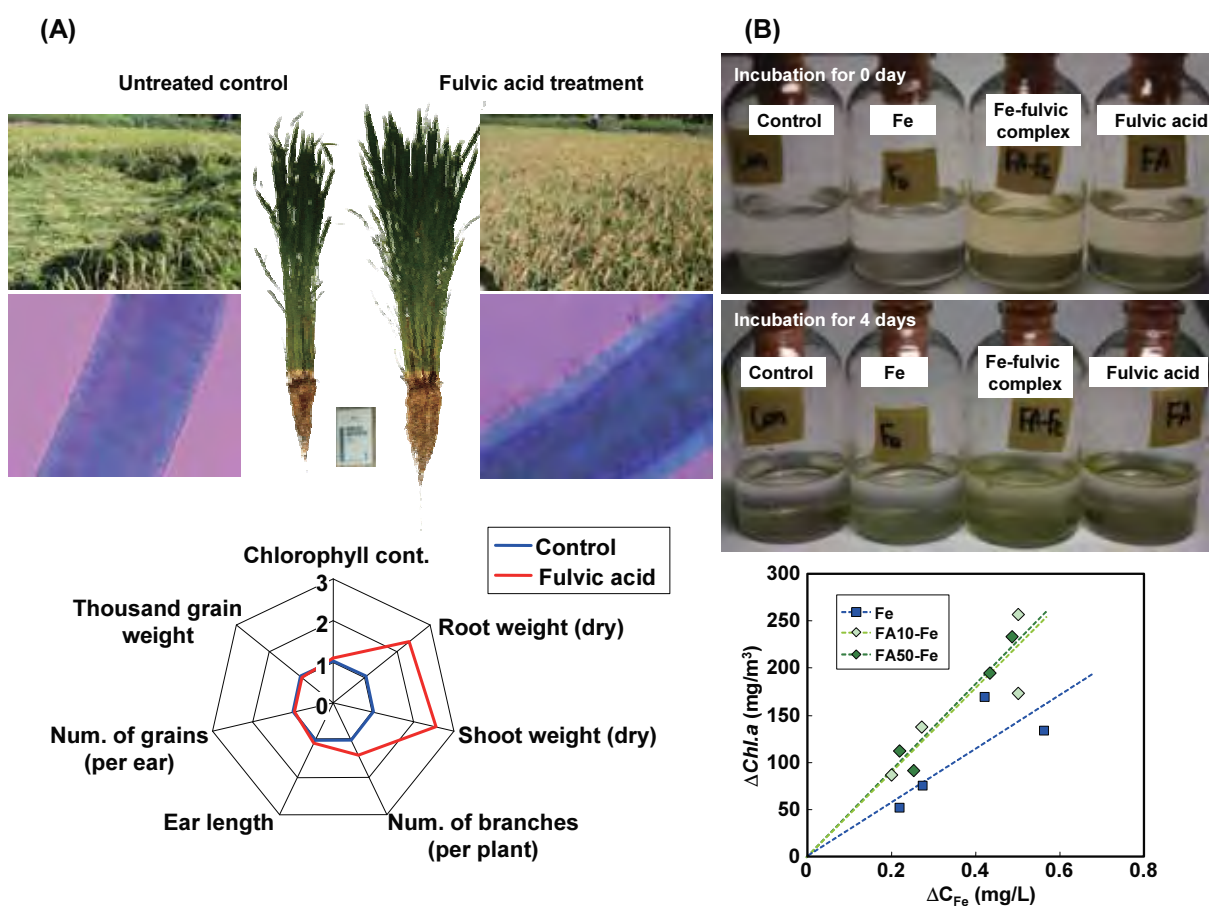


図 2-2-10 フルボ酸による水稻と海洋植物プランクトンに対する生理活性

小櫃川流域の各調査地点の季節毎の三次元蛍光スペクトルを図 2-2-12 に全て示す。いずれのスペクトルデータも  $E_x240 \text{ nm}/E_m 440 \text{ nm}$  と  $E_x325 \text{ nm}/E_m 435 \text{ nm}$  に明瞭な二峰性ピークを示し、このことから土壌系フルボ酸を含むことが判明した。また、 $E_x315 \text{ nm}/E_m 385 \text{ nm}$  と  $E_x410 \text{ nm}/E_m 485 \text{ nm}$  にピークが確認でき、それぞれ水系フルボ酸とフミン酸に帰属される成分が含まれていると推測される。5 月の中・下流域 (St.1, 3-7) ならびに 8, 11, 1 月の源

流地点 (St.13) に  $E_x490 \text{ nm}/E_m 520 \text{ nm}$  に尿由来のピークが確認され、5月、8月、11月の源流地点は民家からの排水が流入されている可能性が示唆された。これに対応するかのよう、 $E_x220-280 \text{ nm}/E_m 280-360 \text{ nm}$  域にタンパク質・アミノ酸類に帰属されるピークがみられ、動物性の有機物の生産・供給も示唆された。全体的には源流 (St.13) から亀山湖 (St.9・10) までは土壌系フルボ酸ピークは増加し、それより下流に従って減少することが確認された。特に、夏季の8月と秋季の11月は顕著であった。

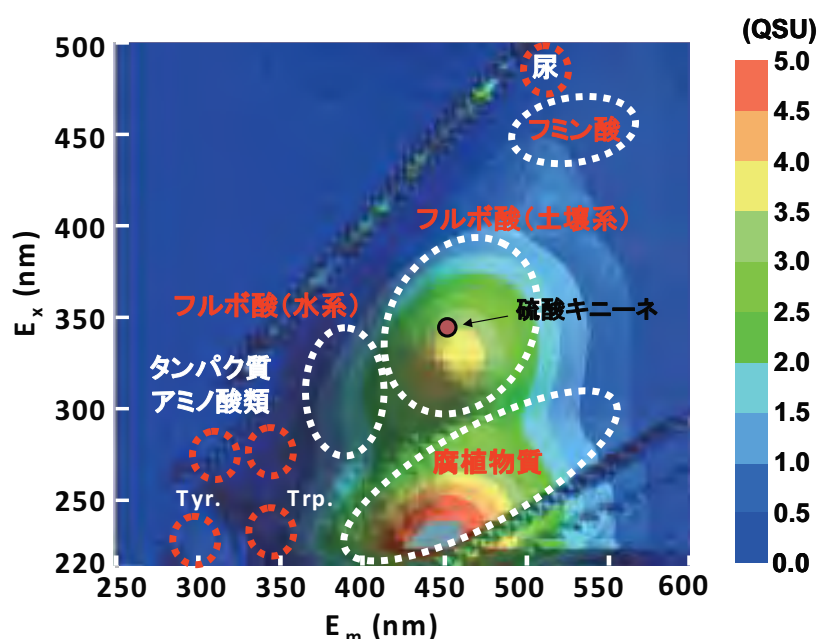


図 2-2-11 フルボ酸およびその他の天然有機物の三次元蛍光スペクトル特性

土壌系フルボ酸に帰属される  $E_x325 \text{ nm}/E_m 435 \text{ nm}$  のピークの相対蛍光強度 (RFI) を図 2-2-13-a に示す。5月の春季を除き、上流域 (St.13-9) の RFI が高いことがわかる。つまり、土壌系フルボ酸は上流域より小櫃川に流出していることが推測され、その量は夏・秋季の間で高くなる傾向がある。一方、春季は調査時の降雨の影響で中・下流域で高くなった。ここでの蛍光特性において留意しなければならない点として、RFI は DOC 濃度に正相関に依存し (図 2-2-13-b)、かつ、フルボ酸は鉄の存在によりその RFI を減少 (鉄による消光作用) がある点である。そこで、図 2-2-13-a の結果に図 2-2-7-f の DOC の濃度で割ることで、DOC 中のフルボ酸割合が相対的に求められる。ここでの値は、鉄 (特に  $\text{Fe}^{3+}$  イオン) の存在により減衰している可能性があるため、さらに図 2-2-7-g の DFe 濃度を乗じることで図 2-2-13-c の通り、フルボ酸もしくはフルボ酸-鉄としての相対値 (絶対量ではない) を示すことができる。11 月 (秋季) の上流域ではフルボ酸-鉄としての形態割合が高く、それ以外の時季は上流から下流に向けてフルボ酸-鉄の割合が高くなることがわかった。図の (a) の定量的結果と (c) の定性的結果とを合わせて考察すると、秋季の上流域と夏季の下流域は

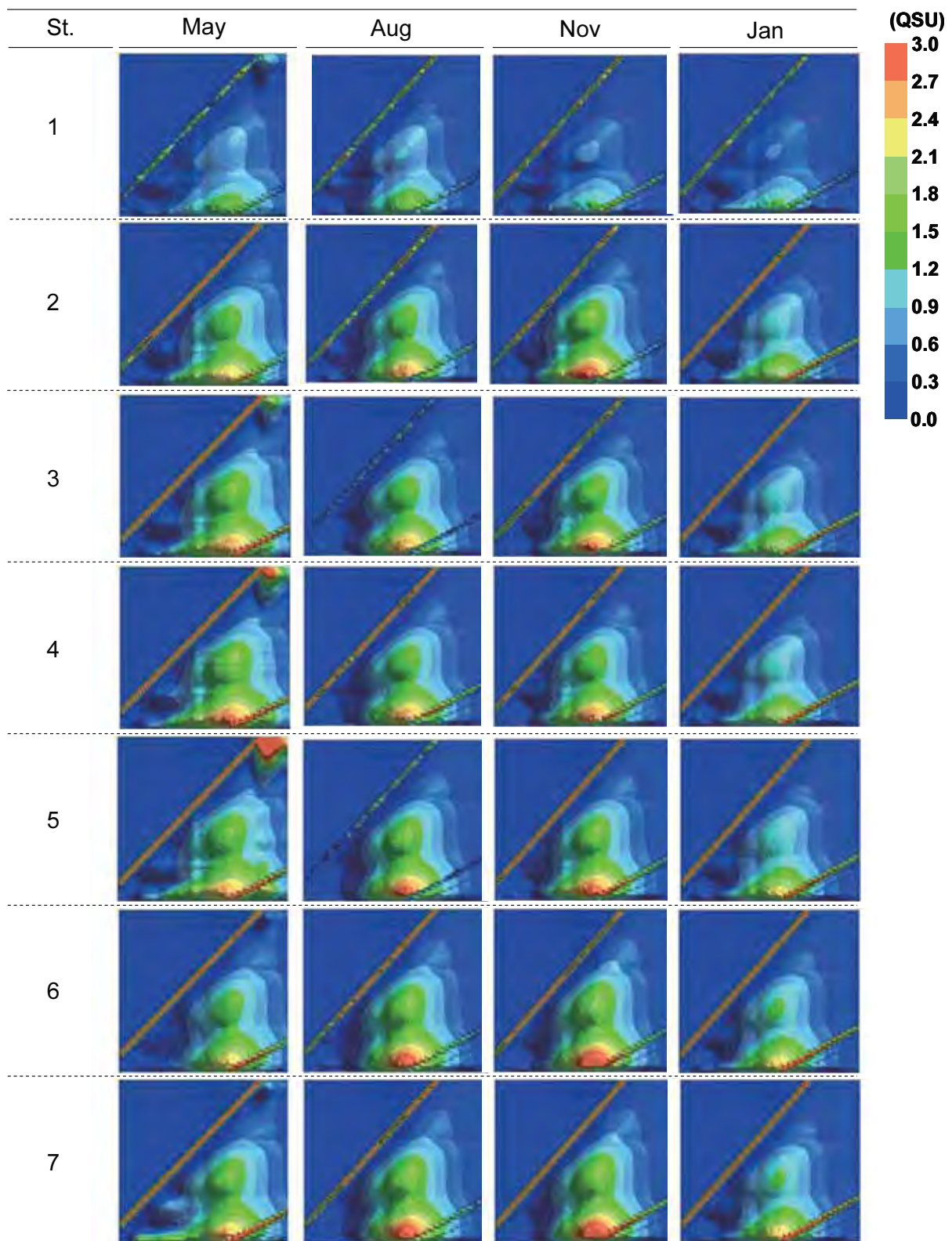


図 2-2-12 小櫃川河川水の三次元蛍光スペクトル

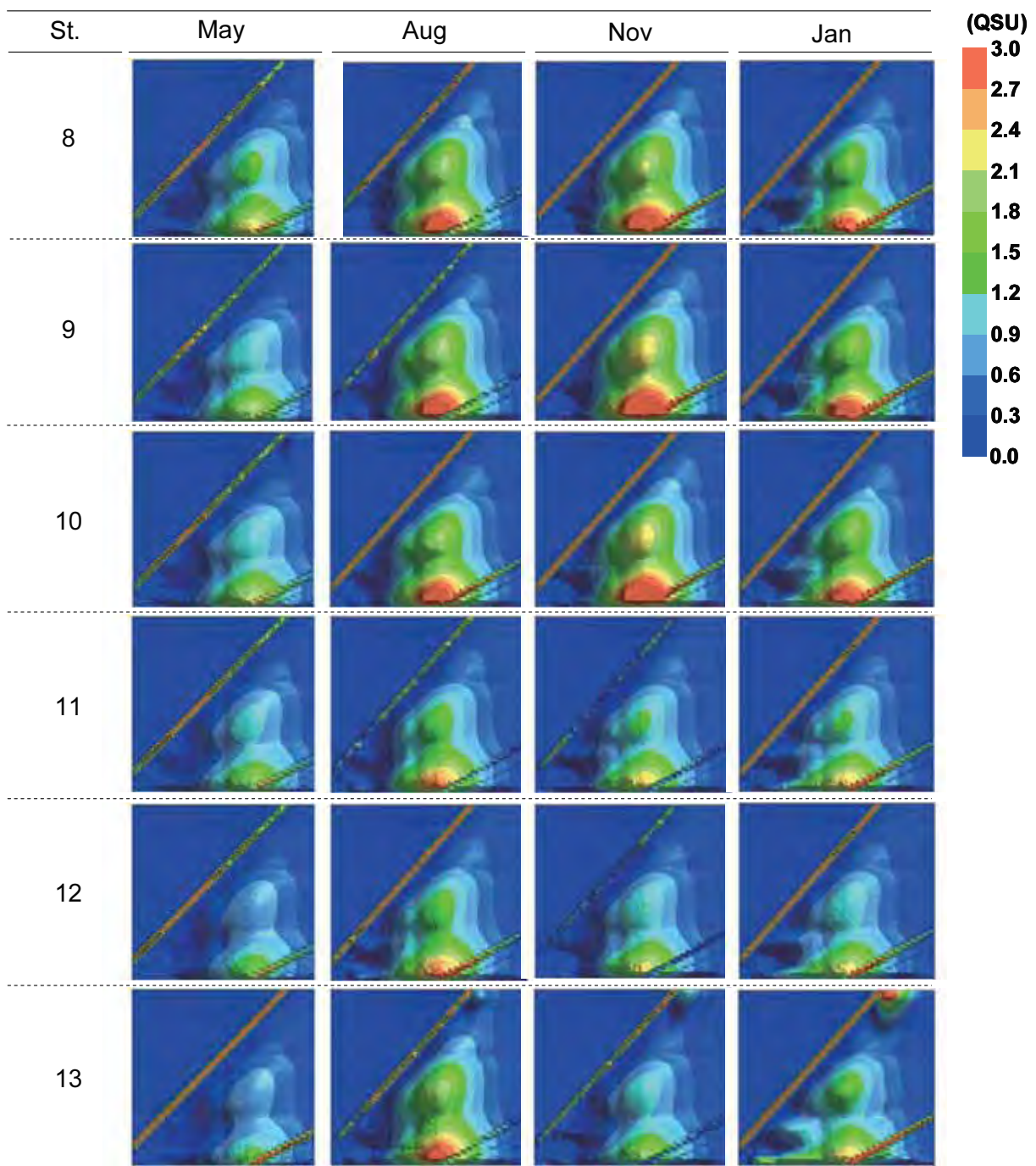


図 2-2-12 小櫃川河川水の三次元蛍光スペクトル

DOC 量かつフルボ酸-鉄形態の割合が高く、一方、冬季の上流域は DOC 量が高いにもかかわらずフルボ酸-鉄形態の割合が小さいことがわかる。春季は雨季の影響もあり、DOC 量とフルボ酸-鉄形態割合ともに低い。このことから、フルボ酸-鉄の生産は気温、土地利用の他に流域における水の滞留時間の影響が大きいことが判明した。

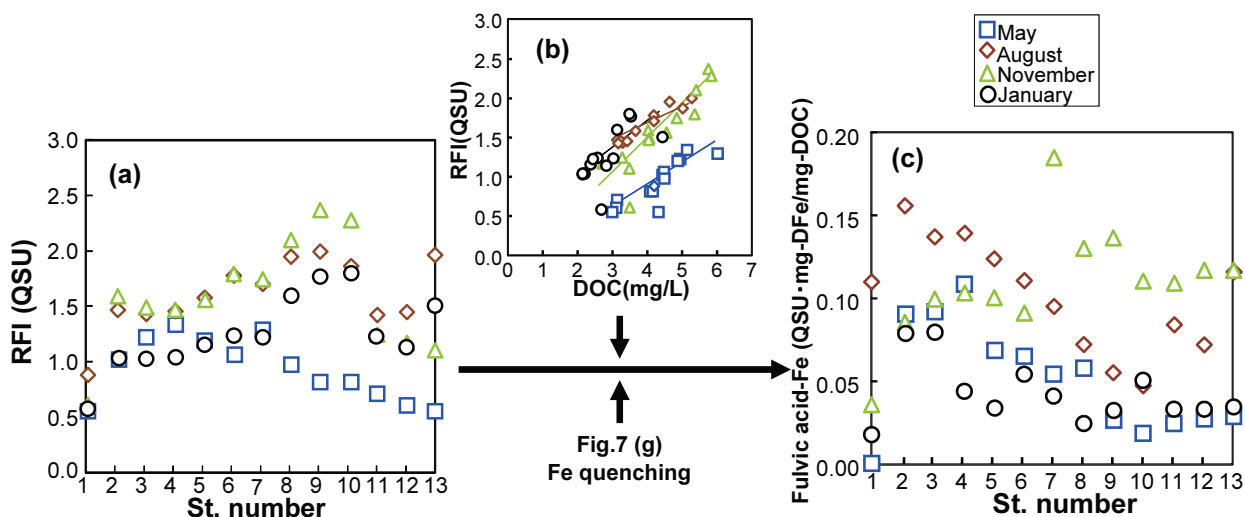


図 2-2-13 フルボ酸の相対蛍光強度とフルボ酸－鉄割合

#### (4) 小櫃川流域周辺の湧水・土壌調査

##### ① 調査地点および採水・採土日

小櫃川流域周辺の湧水は2箇所確認され、図 2-2-5 の St.6 と St.7 に位置する「久留里の湧水」と St.9 近くの「亀山温泉水」について8, 11, 1月の調査時に採水した。久留里湧水は、清澄山系の山林に降った雨水が地層を浸透・ろ過された地下水で、久留里発祥の上総掘り



久留里の湧水



亀山温泉水

図 2-2-14 小櫃川流域周辺の湧水

により井戸水として湧き出てくる。地下 400 m (深いところで 650 m) から毎分 126 L (水温 16.5 °C) 湧出する (図 2-2-14 左)。一方、亀山温泉水は上総層群地下に封鎖された地下かん水であり、数十万から数百万年前の古代海水である。この地下かん水には水溶性天然ガス (メタン) とヨウ素を多量に含んでおり、茂原市において産業が成り立っている。亀山温泉や隣の養老温泉 (養老川) はヨウ素濃度が低いものの、天然ガスが湧水とともに産出する。我々は、この地下かん水にフルボ酸が含まれることを発見し、その化学構造 (図 2-2-9) を解析すると同時に応用研究を進めている。亀山温泉水は地下 2,000 m から毎分 600 L (水温 26.4 °C) 湧出する (図 2-2-14 右)。

小櫃川流域の土壌は、3.1 に記述した河川水調査地点付近の特徴的な土地を選定し、計 13

地点となる。それぞれ、干潟ヨシ原 (St.1)、草地 (St.6)、畑 (St.5)、水田 (St.8)、広葉樹林 (St.7, St.11)、針葉樹林 (St.10, St.12, St.13)、竹林 (St.2, St.9)、ゴルフ場 (St.3, St.4) の土地利用がされている土壤環境である (図 2-2-15)。採土は、8月の調査時の2日間で行った。

## ② 採水・採土および分析方法

湧水は直接密栓ポリ瓶に入れ、定温保存した。土壤は、藤原製作所社製手動式採土器 (HS-25,  $\phi$ 50 mm, 深さ 300 mm) を用いて、直接 PVC 製透明円筒に採取・保存した。

湧水については (3) ②に記述の方法に従い、DOC, TN, DFe, DSi,  $PO_4$ -P について測定した。土壤については、PVC 製透明円筒に収めた試料に対し、表面から 5 cm までを表層土、表面から 15–20 cm を下層土として切断し、土壤粒子密度、土壤三相分布 (気相・液相・固相の体積百分率) を求めたほか、800 °C にて強熱分解させることで無機・有機物含有率を求めた。強熱分解させた試料については、堀場製作所社製レーザ回折/散乱粒度分布 (LA-920) 計を用いて粒径分布を測定したほか、金属主要元素および微量元素組成は東京大学海洋研究所に依頼分析を行った。すなわち、主要元素は Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P の 10 元素、微量元素は Co, Cr, Ba, Nb, Pb, Rb, Sr, Th, Y, Zr の 10 元素について四ホウ酸リチウムを混合したガラスビード成形もしくは加圧成形し、理学電機工業 (リガク) 社製蛍光 X 線分析 (3491) 装置を用いて測定し、地質調査所標準試料のデータベースを用いて定量した。有機元素組成 (C, H, N, O) については、絶乾土壤試料をヤナコ分析工業社製炭素・水素・窒素同時定量 (MT-6) 装置を用いて測定した。

また、土壤 (生) 中の水溶性成分について分析した。生試料 7.0 g に対し 350 mL の純水を加え、110~120 rpm で 24 時間振とうした後、0.45  $\mu$ m メンブレンフィルターによりろ過した。これを浸出液とし、(3) ②に記述の方法に従い DOC, DFe, さらに三次元蛍光スペクトル分析を行った。いずれの場合も土壤含水率で補正した。

## ③ 小櫃川流域の湧水水質データ

図 2-2-8 の小櫃川流域河川水水質のレーダーグラフと併記して、二箇所の湧水の水質データを示す。久留里湧水は河川水と比べ、いずれの成分も濃度に差がなく、表層水浸透により生成・湧出していることが示唆される。また、調査時によって濃度に変化がみられることから、水の滞留時間はさほど長くないことも確認された。一方、亀山温泉水については河川水と大きくことなり、DOC は約 3.5 倍、TN は約 4 倍、DFe は等倍、DSi は約 1.5 倍の濃度比であった。調査時による大きな差がみられないことから、亀山温泉水は表層河川水とは全く異なる起源であると判断された。既往研究において茂原市の地下かん水を調査した結果では、DOC が 75~100 mg/L、DFe が 1.5 mg/L と非常に高く、実に亀山温泉水の 5 倍に相当する。このことから房総半島地下に賦存するかん水は地域により大きく異なると思われる。

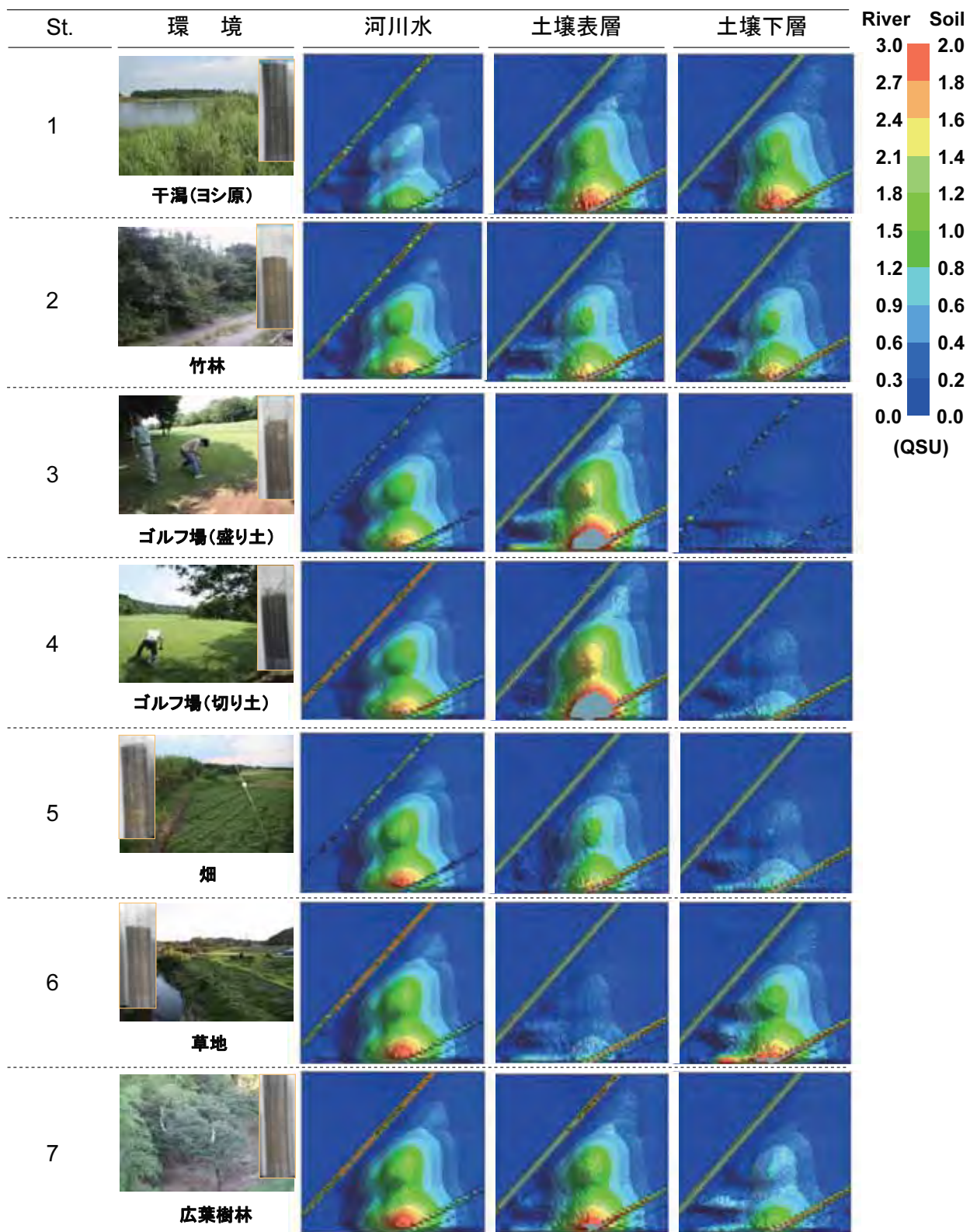


図 2-2-15 小櫃川流域の土壤環境とその浸出液の三次元蛍光スペクトル



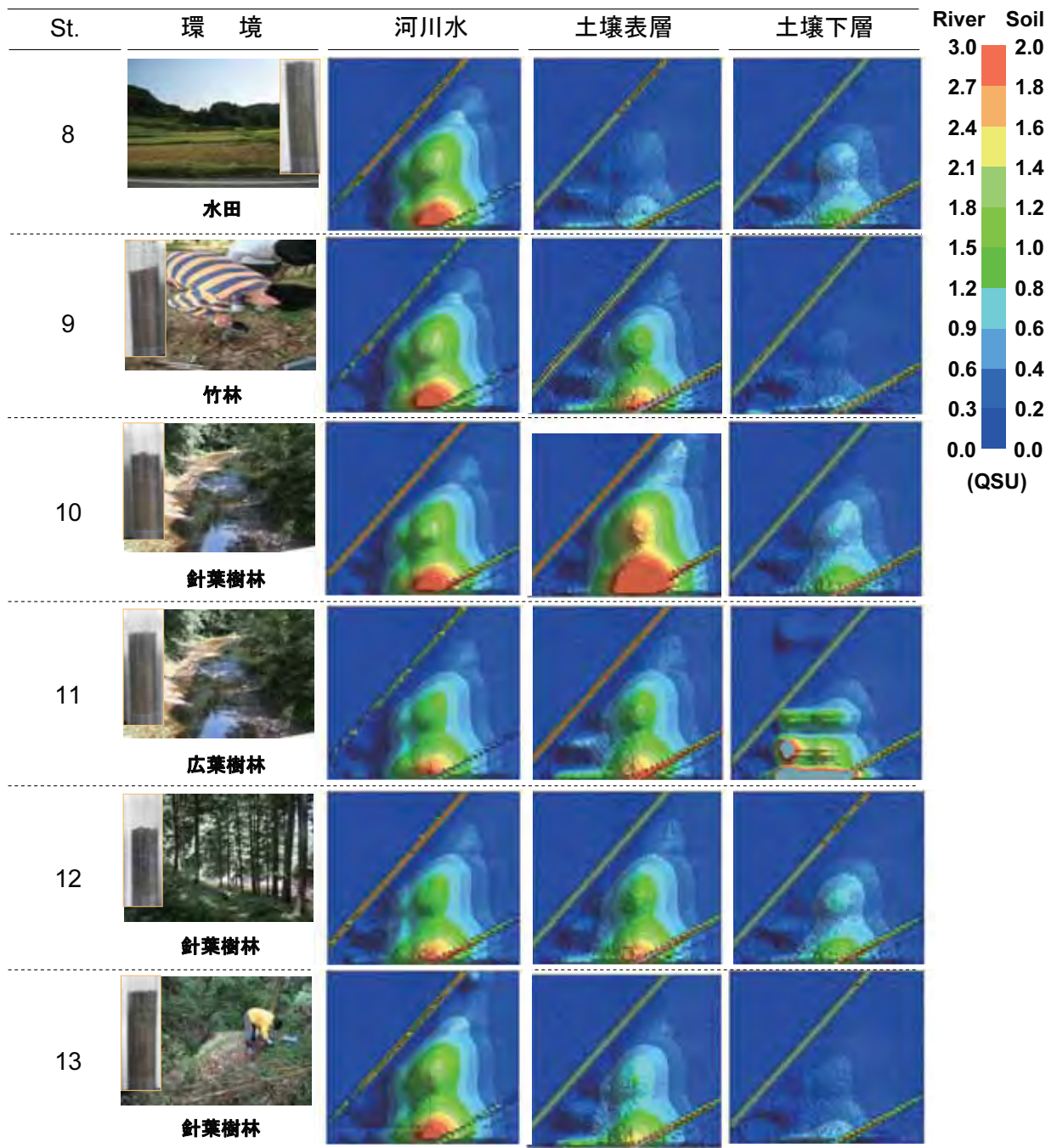


図 2-2-15 小櫃川流域の土壤環境とその浸出液の三次元蛍光スペクトル

#### ④ 小櫃川流域の土壌特性

土壌の形成は、母材（地質）、環境、生態（土地利用）、地形、そして時間により大きく左右され、その土壌の質は接触した自然水により流域河川の水質にも当然作用する。

－土壌粒子密度および土壌三相分布（図 2-2-16）－ 土壌は土壌空気である気相、土壌水である液相、土壌粒子である固相から構成され、一般的には固相を除く気・液相は空隙となり湿潤や乾燥の時期により変動する。結果より、表層土に比べ下層土は固相率が高く、密であることがわかった。また、下層土の固相率は平均 40 vol.%で調査地点による差異は確認されないが、表層土は上流から下流域に向けて高くなる傾向があった。これらは、表層土の荷重が下層土に加わっていることに加え、表層土は外部からの物理的作用でかく乱されているからである。土地利用環境から比較すると、森林土壌はいずれも固相率が低く、St.13 の源流針葉樹林下の土壌は非常に液相率が高いのが特徴であり、腐葉土堆積による密度の低下と保水性の高さが考察される。

－土壌無機粒子の粒径分布（図 2-2-17）－ 土壌の粒径は土壌の密度もしくは固相率と大きく関係があるほか、鉍物組成や化学性にも関係がある。国際土壌学基準に従うと、粒径 2 μm 以下を粘土質、2-20 μm 間をシルト質、さらに 20-2,000 μm 間を砂質、それ以上の粒径を礫として分類する。結果より、下層土は調査地点全て 7～8 割以上が砂質で占められており壤質砂土もしくは砂壤土に分類された。一方、表層土は上流から下流に向けて粒径分布が小さくなる傾向があり、上流域は砂土、中流域は砂壤土、下流域では壤土と遷移することがわかった。以上のことから、上流域で風化・微細化した鉍物（土砂）は水の流れとともに下流域へ流出し、堆積していることが認められ、その土壌環境に対応して中・下流

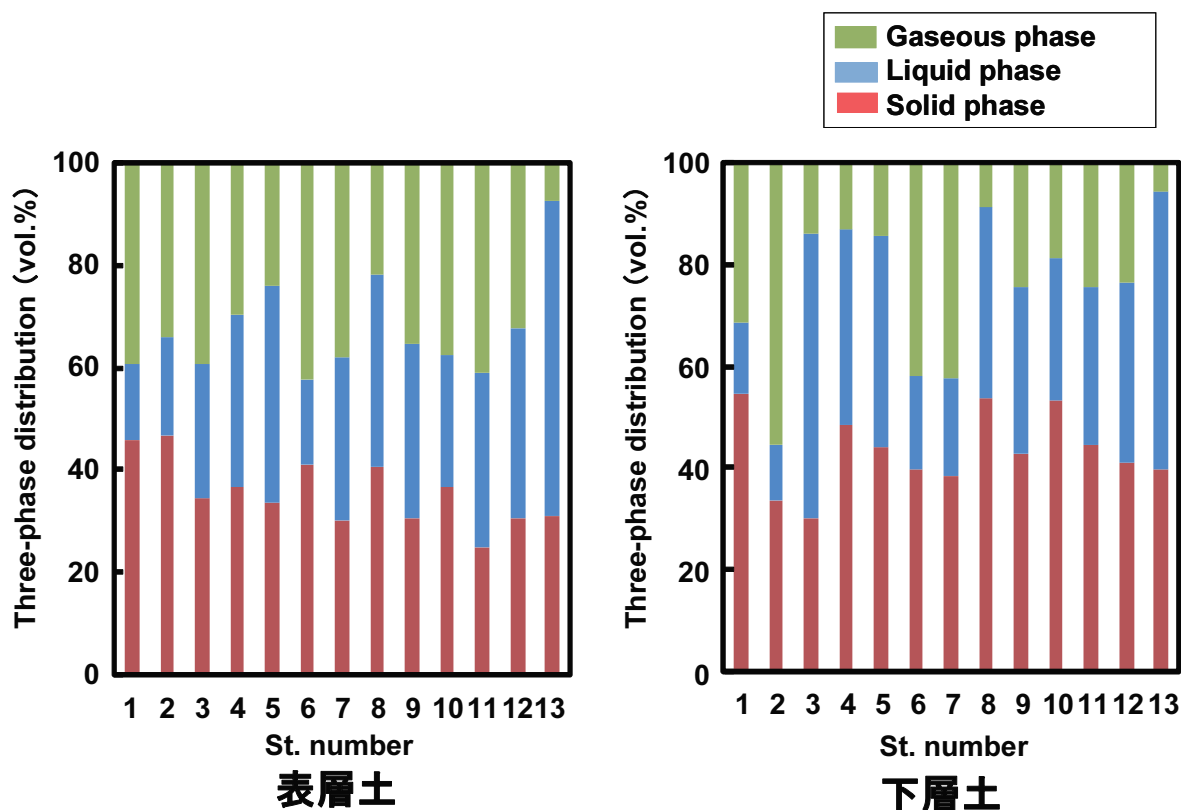


図 2-2-16 小櫃川流域土壌の土壌三相分布

域では農耕が行われていると考えられる。

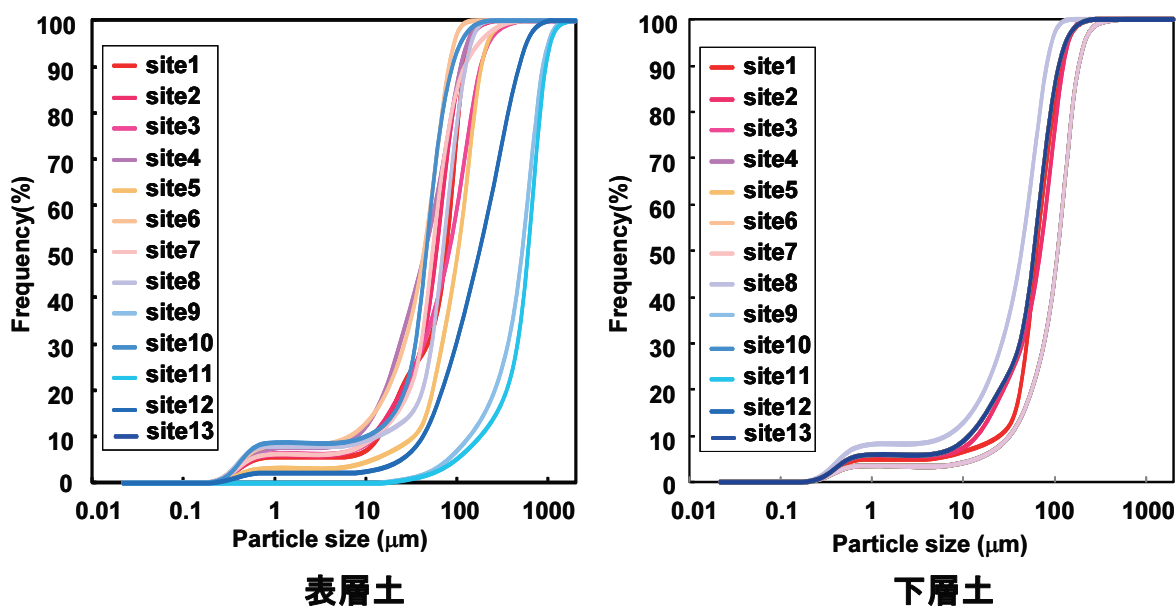


図 2-2-17 小櫃川流域土壌の粒径積算分布

— 土壌有機・無機物含有元素 (表 2-2-2・表 2-2-3・表 2-2-4) — 表 2-2-2 に土壌有機物中の炭素、水素、窒素、酸素 (C, H, N との差) を示す。全体的に有機物は数%程度しか含まれておらず、大部分が無機物で構成されているため、有機物中の元素組成に異常値を示した。そこで、ここでの元素組成は目安と判断した。主要 4 元素 (C, H, N, O) を個々に比較しても考察しにくいので、各元素のモル比 (O/C, H/C, C/N) を求め比較した。一般的に O/C 比は含酸素官能基量の目安となり、H/C 比は脂肪族性・芳香族性の度合を表す。土壌中に含まれる有機成分を大まかに定義した場合、動植物遺骸は高 O/C, 高 H/C, 低 C/N であり、腐植化にともない腐植物質は高 O/C, 低 H/C, 高 C/N に遷移する。これを指標に比較すると、表層土より下層土のほうが腐植化の進行が認められ、かつ些少であるが有機物量も高かった。上流域から下流域への明確な傾向はみられないものの、上流域の広葉樹林 (St.11), 針葉樹林 (St.12) の土壌有機物は腐植化の進行がみられ、ヨシ原や草地 (St.1, St.6) や農耕地 (St.5, St.8) では逆に乏しいことがわかった。

表 2-2-3 に土壌無機物中の主要金属元素酸化物, 表 2-2-4 に微量元素元素をそれぞれ示す。主要金属元素は, SiO<sub>2</sub> 量が 65~70 wt.%程度のもものがほとんどであり, 一部, 低い値を示すところもあった。強熱分解土壌試料には鉱物粒が多いものもあり, これらの鉱物は石英および長石であったことから石英粒が多いことによる SiO<sub>2</sub> 量の増加が予想された。しかし, 本実験結果からは鉱物粒子の多さと SiO<sub>2</sub> 量との間に明瞭な関係は認められなかった。アルカリ塩基量は, Na に対して K がやや多めなのが注目され, 特に, St.1, St.2 の下層土で顕著であった。それ以外は, ほとんど分析結果が類似しており, 表層・下層での土壌構成成分に大きな変化はないと予想された。微量元素元素も同様, 各分析結果に大きな差異は認

められないものの、St.6の草地土壌のNi、Pbの値が低いことがわかった。

そもそも風化とは、岩石圏の様々な深度で平衡状態にあった鉱物からなる岩石が地表（付近）に置かれ、そこでの条件のもとで気圏、水圏、生物圏と相互作用することにより岩石が変化する現象である。この変化は全体積の増加、密度と粒径の減少、地表付近の環境で安定な新しい鉱物の生成などとなって現われる。風化作用を扱う場合、異なる風化プロセス、すなわち物理的、化学的、生物学的風化、を個別に考えると理解しやすい。特に、化学的風化作用は岩石と水、酸素や二酸化炭素を主とするガスとの反応による岩石の化学的変化であり、溶解、加水分解、炭酸化合、水和、酸化、還元、キレート化、イオン交換などがある。これらの作用により地表条件下で（準）安定な粘土鉱物の生成や岩石中の溶解しやすい化学成分の溶脱が進行し、岩石が化学的に分解される。すなわち化学的風化は岩石の粘土化のプロセスでもある。造岩鉱物の化学的風化に対する抵抗性としては、石英が最も大きく、白雲母、カリ長石がそれに次ぎ、カンラン石やカルシウム質斜長石が最も小さいことがGoldich（1938）の提唱により知られているが、鉱物の風化抵抗性と鉱物が集合した岩石の風化抵抗性とは必ずしも一致しない。

表 2-2-2 小櫃川流域土壌の土壌有機物中元素組成

St. number	Elementary analysis(%){d.a.f.}				Ash (%) {d.b.}	O/C	H/C	C/N
	H	C	N	O				
<b>表 層 土</b>								
1	7.21	20.43	9.95	62.41	98.38	2.29	4.24	2.40
2	7.57	13.52	1.87	77.04	97.85	4.28	6.73	8.44
3	8.86	20.50	3.35	67.29	98.74	2.46	5.19	7.14
4	7.43	13.78	2.58	76.20	98.43	4.15	6.48	6.22
5	3.92	12.34	4.81	78.94	98.25	4.80	3.81	3.00
6	2.27	12.26	14.14	71.33	98.30	4.37	2.23	1.01
7	7.53	24.34	3.95	64.19	98.49	1.98	3.71	7.19
8	8.07	13.71	4.11	74.11	98.41	4.06	7.07	3.89
9	8.68	17.23	3.53	70.56	98.42	3.07	6.05	5.69
10	10.42	18.28	5.99	65.30	98.61	2.68	6.85	3.56
11	7.12	19.56	2.99	70.33	98.23	2.70	4.37	7.63
12	8.01	21.43	3.10	67.46	98.21	2.36	4.49	8.07
13	12.19	15.16	4.63	68.02	98.49	3.37	9.66	3.82
<b>下 層 土</b>								
1	5.51	23.64	2.02	68.83	96.93	2.19	2.80	13.67
2	7.59	17.93	1.62	72.86	97.70	3.05	5.08	12.93
3	6.77	25.44	2.05	65.74	96.94	1.94	3.19	14.46
4	6.31	20.25	1.71	71.73	96.26	2.66	3.74	13.83
5	7.49	21.31	1.55	69.64	97.51	2.45	4.22	16.00
6	6.42	17.78	1.75	74.04	98.11	3.13	4.34	11.83
7	7.05	26.85	2.46	63.64	97.19	1.78	3.15	12.72
8	7.92	16.26	1.60	74.21	97.93	3.43	5.85	11.83
9	7.16	24.36	1.92	66.55	96.15	2.05	3.53	14.76
10	6.97	27.30	2.62	63.11	97.02	1.74	3.06	12.17
11	6.99	31.75	1.93	59.33	96.43	1.40	2.64	19.16
12	6.54	35.03	1.51	56.92	96.19	1.22	2.24	27.05
13	8.34	19.96	1.73	69.97	96.86	2.63	5.02	13.49

表 2-2-3 小櫃川流域土壌の土壌無機物中主要金属元素組成

St. number	Major elements of inorganic matter (wt%)										
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total
<b>表 層 土</b>											
1	67.12	0.75	15.69	7.75	0.17	2.42	4.16	1.84	1.21	0.22	101.3
2	67.67	0.69	16.70	6.21	0.10	1.83	3.36	2.19	1.73	0.05	100.5
3	71.10	0.53	12.62	5.78	0.10	2.36	3.75	2.10	1.50	0.06	99.9
4	66.46	0.69	17.02	7.04	0.11	1.77	2.94	1.66	1.35	0.22	99.3
5	69.67	0.66	15.36	5.82	0.09	1.75	2.37	1.99	1.71	0.12	99.5
6	70.41	0.60	14.38	5.42	0.09	2.06	3.66	2.31	1.66	0.04	100.6
7	68.50	0.60	15.60	5.54	0.09	1.94	3.52	2.33	1.71	0.10	99.9
8	70.57	0.63	15.73	5.47	0.07	1.80	2.91	2.05	1.51	0.07	100.8
9	68.11	0.88	17.02	7.47	0.14	1.59	1.60	1.40	1.48	0.04	99.7
10	69.81	0.61	14.45	5.94	0.11	2.07	3.28	2.02	1.57	0.08	99.9
11	67.99	0.79	15.31	6.81	0.11	2.22	3.03	1.90	1.64	0.06	99.9
12	64.22	0.74	15.68	8.10	0.13	2.81	5.00	1.78	1.51	0.07	100.0
13	60.70	1.12	19.52	11.54	0.18	2.40	2.00	0.87	1.06	0.20	99.6
<b>下 層 土</b>											
1	72.12	0.58	12.68	5.94	0.10	2.50	3.63	2.05	1.52	0.04	101.2
2	69.75	0.68	14.58	6.21	0.10	2.17	3.44	2.17	1.60	0.04	100.7
3	52.07	1.67	25.11	15.72	0.27	1.80	1.40	0.63	0.67	0.28	99.6
4	66.48	0.67	17.99	7.02	0.09	1.55	2.34	1.86	1.52	0.05	99.6
5	67.71	0.68	16.30	6.37	0.10	1.75	2.13	1.93	1.61	0.11	98.7
6	70.48	0.59	14.77	5.49	0.09	2.13	3.70	2.33	1.59	0.02	101.2
7	69.94	0.61	15.09	5.72	0.09	2.09	3.62	2.30	1.65	0.04	101.2
8	71.92	0.57	14.60	4.96	0.08	1.97	3.13	2.17	1.48	0.05	100.9
9	67.00	0.92	17.82	7.82	0.13	1.57	1.44	1.39	1.49	0.03	99.6
10	70.22	0.58	14.39	5.95	0.11	2.07	3.10	1.99	1.43	0.02	99.9
11	69.01	0.75	16.18	6.78	0.10	1.92	2.39	1.78	1.61	0.03	100.5
12	62.19	0.80	17.75	8.82	0.13	2.71	4.20	1.69	1.43	0.04	99.8
13	59.79	1.17	21.08	12.07	0.18	2.07	1.37	0.71	1.09	0.16	99.7

表 2-2-4 小櫃川流域土壌の土壌無機物中微量金属元素組成

St. number	Trace elements in inorganic matter (ppm)								
	Ba	Nb	Ni	Pb	Rb	Sr	Th	Y	Zr
<b>表 層 土</b>									
1	268.6	3.2	18.0	13.7	43.4	186.9	2.8	12.7	79.8
2	368.9	5.6	23.0	14.1	54.9	193.1	4.8	17.6	135.7
3	266.3	2.9	26.2	12.9	36.9	175.6	3.2	16.2	78.9
4	304.4	3.3	21.6	12.5	43.1	153.0	3.2	18.9	91.3
5	368.5	4.4	21.9	14.5	53.7	142.7	4.1	14.5	99.1
6	327.2	3.7	16.0	9.7	49.2	189.8	3.3	13.5	88.4
7	370.2	4.4	21.2	11.6	51.1	192.0	3.8	14.5	120.3
8	366.3	4.1	23.2	12.2	49.4	164.3	3.8	15.2	101.6
9	418.9	4.8	21.1	20.7	49.5	91.5	4.4	15.4	155.1
10	330.2	3.8	19.4	13.4	46.0	168.5	3.3	14.6	94.5
11	374.4	4.8	22.9	13.4	52.6	151.7	4.6	14.3	112.5
12	369.3	3.7	24.2	15.4	45.5	168.8	4.4	15.6	91.2
13	380.7	3.8	25.4	20.8	39.0	80.0	3.9	17.3	121.5
<b>下 層 土</b>									
1	293.0	2.9	16.2	12.0	43.0	183.5	3.0	12.2	70.0
2	334.5	4.3	19.7	12.1	48.4	191.1	3.9	14.8	116.8
3	289.1	4.1	44.3	13.2	30.4	37.9	4.0	25.8	122.9
4	362.2	4.2	19.4	11.7	50.7	161.4	4.4	18.3	107.0
5	392.6	4.9	25.2	13.3	56.8	135.8	5.0	16.1	118.7
6	336.2	4.0	18.6	9.9	48.8	201.0	3.6	14.5	99.5
7	355.4	4.1	18.4	10.2	49.9	190.6	4.0	13.7	96.5
8	341.1	3.6	20.7	10.7	46.7	169.2	3.6	14.4	91.0
9	440.4	5.3	23.5	12.5	54.1	89.3	4.8	18.2	159.0
10	371.5	3.6	19.7	9.5	46.2	180.3	3.8	15.8	92.2
11	408.3	5.2	25.7	12.8	53.9	143.5	4.9	16.2	125.8
12	396.3	4.6	28.6	13.5	51.2	160.9	4.2	16.9	116.7
13	389.0	4.3	25.6	11.6	40.7	69.4	4.7	21.5	124.0

そこで風化作用と水質変化との関連を考察するためには、化学的風化作用の進行度合を定量的に把握することが必要となる。表 2-2-3 の結果をもとに、Vogel (1975) による風化ポテンシャル指数 (MWPI: 式 (1)), Ruxton (1968) によるシリカーアルミナ比 (SAR: 式 (2)), Nesbitt・Young (1982) による化学変性指標 (CIA: 式 (3)) 風化進行度を求めた。

$$\text{MWPI (\%)} = 100 \cdot (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O}) \quad (1)$$

$$\text{SAR (-)} = \text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 \quad (2)$$

$$\text{CIA (\%)} = 100 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) \quad (3)$$

図 2-2-18 に各調査地点の表層土、下層土の MWPI 値ならびに SAR 値を示す。St.3 を除けば、表層土と下層土に大きな違いはみられなかった。まず、図 2-2-18-a の MWPI 値をみると源流地点 (St.13) の針葉樹林土壌および亀山湖畔 (St.9) の竹林土壌は低い値を示し、上流域 (St.12) の針葉樹林土壌は高い値を示した。MWPI 値は鉱物中の金属塩基割合を示すもので、特に、これらの金属塩基はシリカ、アルミナ、鉄に比べ化学的風化により溶脱さ

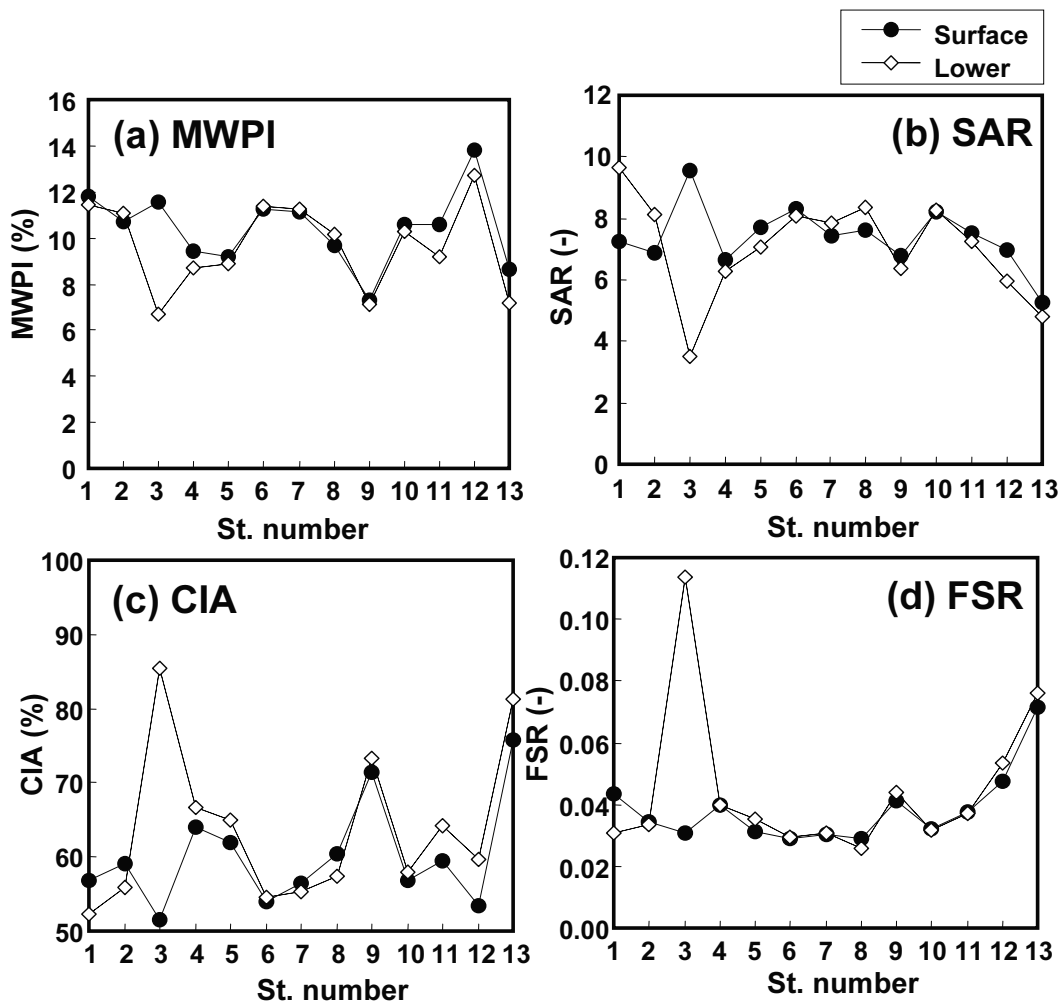


図 2-2-18 小櫃川流域土壌の化学的風化作用の進行度

れやすい。よって、MWPI 値が低いものほど化学的風化を受けていることになる。しかし、地理的要因や土地利用による要因による明確な違いは判定できなかった。一方、SAR 値を示す図 2-2-18-b をみると、上流から下流域に向けて SAR 値の増加傾向がみられた。SAR 値とは  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を基準にした場合の  $\text{SiO}_2$  の溶脱割合を示すものであり、化学的風化が進行すれば必ず鉱物中  $\text{SiO}_2$  も溶解すると定義できる。このことから上流域は SAR 値が低いことから化学的風化の進行が高いことがわかる。CIA 値 (図 2-2-18-c) は MWPI 値の逆の関係を示す。CIA 値も岩石の化学的風化度合を判断する目安となり、水が十分に供給され、鉱物中の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  イオンの大半が溶脱されれば CIA 値はほぼ 100% になる。典型がカオリナイト系粘土鉱物で、そこまで風化が進行していない粘土鉱物 (イライト, スメクタイト) は CIA 値が 75~85%, 風化前の造岩鉱物が 50% くらいとなる。このように典型的な鉱物の CIA 値で対応させると、源流地点 (St.13) の針葉樹林, St.9 の竹林, さらに St.3 のゴルフ場下層土には二次鉱物である 2:1 型層状ケイ酸塩粘土鉱物が含有している可能性が高い。それ以外の調査地はさほど風化が進んでいない。

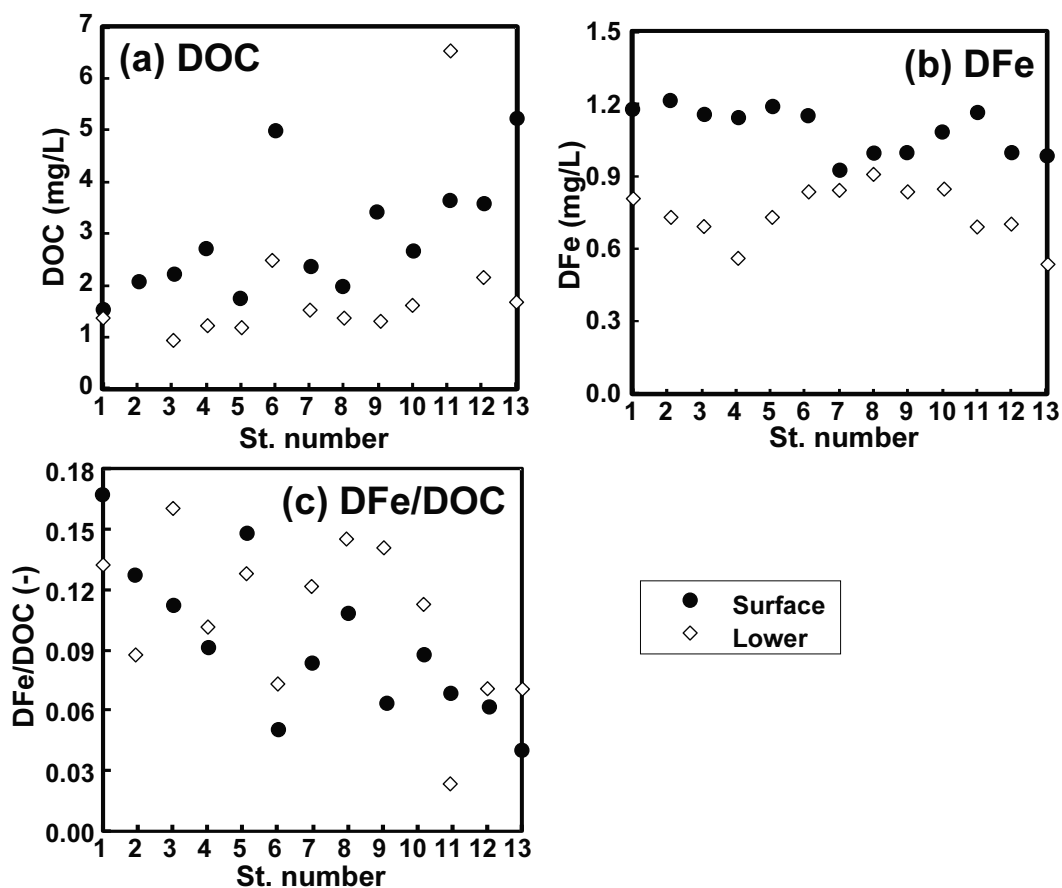


図 2-2-19 小櫃川流域土壌の浸出液中溶存有機炭素および鉄濃度

本研究では、土壌・鉱物層からの鉄の溶脱と河川への輸送機構について評価している。そこで化学的風化の進行度と関連が強い現存土壌中の鉄割合をケイ素基準（FSR：式（4））より求めた。

$$\text{FSR} = \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2 \quad (4)$$

FSR 値の結果は図 2-2-18-d に示す通りであり、調査地点に対する FSR 値の傾向は SAR 値の傾向の逆になった。このことから、より化学的風化が進行している上流域ほど鉄の含有量が高いことがわかり、今回対象とした小櫃川上流域の土壌・鉱物中の鉄は他の金属元素に比べ化学的風化を受け難い安定化合物であることが予測される。

－土壌浸出液中の DOC および DFe（図 2-2-19）－ 生の土壌試料に対して十分な純水を加え、浸出した液の DOC および DFe 濃度を図 2-2-19-a, b にそれぞれ示す。結果より DOC, DFe とともに下層土より表層土のほうが高く、調査地点に関して DOC は上流域ほど高い傾向を示し、DFe は下流域ほどわずかに高い傾向を示した。また、表層土と下層土の DFe の増減が対称的な傾向を示したことは興味深く、特に中流域 St.7 の広葉樹林表層土の DFe は調査地点の中で最も低く、逆に下層土は高かった。DFe がこのような結果になった理由は不明であるが、土壌・鉱物からの DOC の供給は上流域ほど高く、それにともない中・下流域に DFe を蓄積・輸送していることが考察される。これらの DOC, DFe の結果をもとに DFe/DOC モル比で表したのが図 2-2-19-c である。この解析値からも先の考察と同様、下流域に向かって DOC に対する DFe の取り込みが高くなることが判明した。

### ⑤ 小櫃川流域の土壌と河川水との関係

小櫃川流域の土壌と河川水との間に直接的、もしくは間接的にどのようなつながりがあるのか、(3) ③で示した図 2-2-7-f, g の河川水質 DOC, DFe の結果（8月）と(4) ④で示した図 2-2-19-a, b の土壌浸出液 DOC, DFe の結果（8月）から検討した。その土壌と河川水の DFe/DOC モル比との関係を図 2-2-20 に示す。全体的には強い相関はみられないものの、上流から下流域に向かって土壌浸出液と河川水の DFe/DOC は高くなることがわかった。このことから、流域土壌と河川は相互関係があることが考察され、上流域で生産された土壌有機物の一部は降雨とともに河川に溶解・流出し、下流域の河床もしくは河川周辺の土壌・鉱物の鉄を溶出・蓄積しながら海域に輸送する。さらに詳細に結果をみみると、土壌浸出液 DFe/DOC に対し、約 1.25 倍程度河川水の DFe/DOC は高い傾向がある。つまり、河川周辺土壌・鉱物からの寄与率を 100% と考えると、25% は河床やそれ以外の起源から鉄が寄与していることがわかる。

次にフルボ酸を指標として小櫃川流域の土壌と河川水との関連を考察する。(3) ⑤と同様に土壌浸出液に対して三次元蛍光スペクトル解析を行ない、その結果を図 2-2-15 に示す。土壌採取時（8月）の河川水のスペクトルを比較として掲載した。なお、表示された相対蛍光強度は河川水が最大 3.0 QSU、土壌浸出液が最大 2.0 QSU としてある。河川水と比べ土壌浸出液のスペクトルは様々であり、土壌系フルボ酸に帰属される二峰性ピーク ( $E_x240 \text{ nm}/E_m$



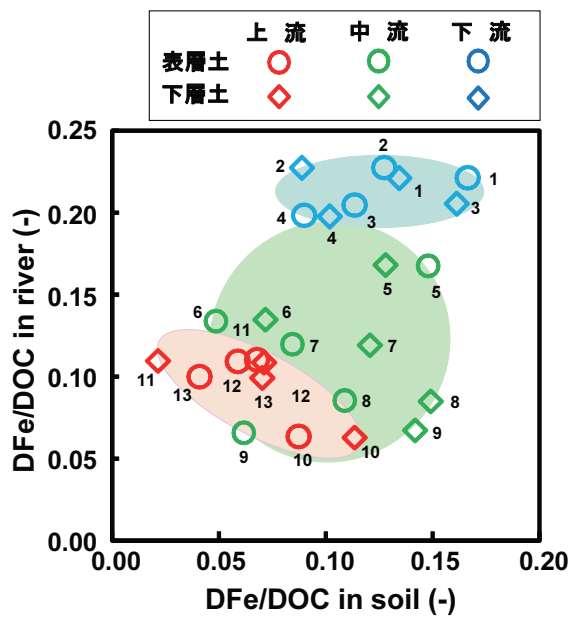


図 2-2-20 小櫃川流域土壌浸出液と河川水の DFe/DOC 比による関係

440 nm と  $E_x325 \text{ nm}/E_m 435 \text{ nm}$ ) の他にタンパク質・アミノ酸類に帰属されるピーク ( $E_x220-280 \text{ nm}/E_m 280-360 \text{ nm}$ ) とフミン酸・糖類に帰属されるピーク ( $E_x430-470 \text{ nm}/E_m 480-570 \text{ nm}$ ) が明瞭に出現する調査地点がいくつかみられた。大部分は下層土に比べ表層土のほうがフルボ酸ピークの相対蛍光強度は高かったが、St.6 の草地土壌は逆の結果となった。河川水の場合、DOC とフルボ酸ピーク強度との間に強い相関があったものの、土壌浸出液にはみられなかった。つまり、土壌中の DOC 中には様々な水溶性有機物が含まれるものの、河川に供給されるまでの過程において易分解性有機物は消失し、また、フミン酸のような高分子は土壌中に沈着・残存し、その結果、河川水中の DOC は大部分フルボ酸であることがわかる。土地利用を含めた土壌環境の違いから評価すると、干潟ヨシ原 (St.1) は表層・下層土の差がなくフルボ酸が主であり、草地 (St.6) は前述の通り表層土のフルボ酸が稀で下層土が主、畑 (St.5) と水田 (St.8) はフルボ酸が主であるが少であり、広葉樹林 (St.7, St.11)・針葉樹林 (St.10, St.12, St.13)・竹林 (St.2, St.9) はフルボ酸が多であるが他の有機成分を含み、ゴルフ場 (St.3, St.4) は下層土のフルボ酸は希で表層土は主、とそれぞれ特徴があった。

## (5) Landsat 衛星データおよび流出モデルを利用した地形・水文・土地利用解析

### ① 解析データおよび流出モデル

流出モデルは、ICHARM(水災害・リスクマネジメント国際センター)が開発した Integrated Flood Analysis System (IFAS, フリーソフト) を用いた。このモデルは、衛星データをもとに地形解析を行うことで標高分布図と土地利用図をセル分布として決定され、これらの分布パラメーターから落水線を定めることができる。これにより対象とする流域の河道が決まり、所望の河川地点 (流量出力地点) 毎の流域を一つ一つのタンクと見立てて分割する

ことができる（タンクモデル）。対象流域のモデル構築が完成したら、求めたい日時の気象データ（降水量）をモデルに入力することで所望地点の流量を経時的に出力することができる。このモデルの概略を図 2-2-21 に示す。

地形データは、GTOPO30 (<http://www1.gsi.go.jp/geowww/globalmap-gsi/gtopo30/gtopo30.html>) を用いた。GTOPO30 による数値標高モデル (DEM : Digital Elevation Model) は 30 秒, 約 1 km<sup>2</sup> のメッシュデータであるが, IFAS による処理で 0.5 km<sup>2</sup> に再分割した。このとき各データは距離重み付けによる補間が行われている。土地利用には, GLOBAL LAND COVER CHARACTERIZATION (GLCC : <http://edc2.usgs.gov/glcc/>) を用いた。降水量は, 気象庁より千葉県内の観測所のデータを使用して, Thiessen 法により補間した。このモデルでは, ダム運用にともなう貯水・排水の変化量も導入して, より正確な値を出力することは可能である。本研究で対象とする小櫃川流域の亀山・片倉ダムでは, その管理事務ホームページにて「亀山ダムでは, 上流からの流入が毎秒 200 t に達するまではダムの下流で 30 分間に 50 cm 以上の水位上昇が起こらないように少しずつ流出する」とあったため, 降水量があまり多くない期間についてはダム無で計算した。

一連の衛星データ等の入手および解析は(株)ハイドロソフト技術研究所に全て依頼した。

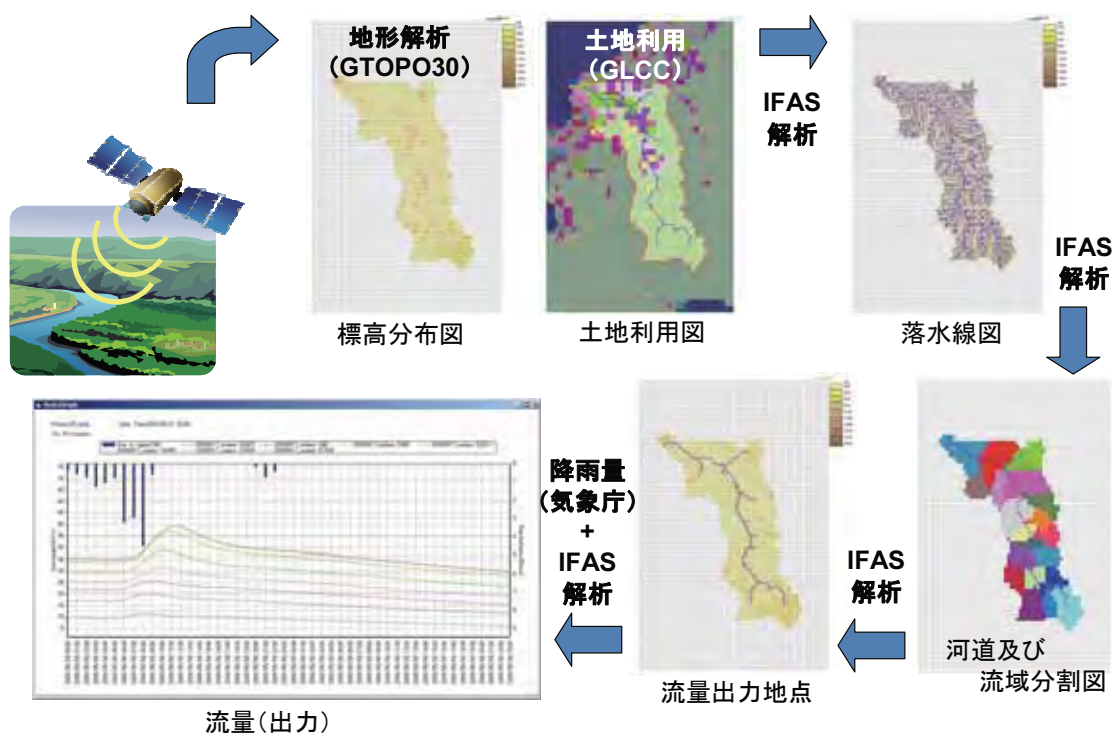


図 2-2-21 IFAS 流出モデルによる解析の流れ

## ② 小櫃川流域の河道・流域面積と土地利用解析

IFAS 流出モデルにより, 小櫃川流域の落水・河道線および土地利用分布を 0.5 km<sup>2</sup> セルで解析した結果を図 2-2-22-a に示す。概ね, 小櫃川本流の河道は IFAS モデルで出力されたも

のと合致し、8つの支流河道も本出力データから読みとることができた。0.5 km<sup>2</sup>セルであるため多少落水線は粗いものの、水脈がどのように連続しているか解明することができた。小櫃川流域の土地利用は全体の約65%が森林地であり、次いで市街地15%、畑地10%、水田地5%、ゴルフ場3%、そして干潟・湿地2%、総流域面積273 km<sup>2</sup>となる。地図より源流のSt.13から中流のSt.6までの河道近辺は森林地であるものの、それより下流では畑地、市街地、水田地に挟まれている。

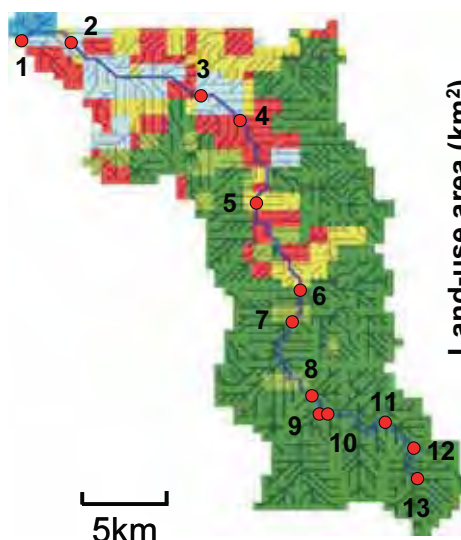
この結果をもとに各調査地点の流域面積ならびに土地利用面積を求め、水は上流域から下流域に集水・累積することを前提に積算したグラフを図2-2-22-bに示す。流域積算面積は上流から下流に向けて対数状に増加し、St.10, St.7, St.5, St.4, St.3, St.2の各地点の増加が著しい。つまり、これらの地点上流において支流が合流しているからである。

### ③ 小櫃川流量の算出と実測値の補間補正

小櫃川流域のIFASモデルに対し、5月8・9日調査時以前の降水量を入力して各調査地点の河川流量を求めた。その出力結果を図2-2-23-aに示す。この調査時以前1週間の降水量は、上流域で121 mm、下流域で104 mmを観測し、その前後は明確な降雨は観測されなかった。下から上へと源流地点(St.13)から河口地点(St.1)の流量となり、定常的にはSt.13で1.0~1.5 m<sup>3</sup>/s、St.1で30~35 m<sup>3</sup>/sと源流地点と河口点との間に20~35倍の流量差があった。当然のことながらこの違いは流域積算面積(図2-2-22-b)によるものであり、St.13とSt.1では約27倍違う。また、前夜22時からの微弱な降雨は5月8日9時まで観測されており、河川の最大流量到達時間の源流地点と河口地点との間に約4時間のタイムラグがあった。平均時速に変換すると約18 km/hである。

次に、IFAS出力流量と各地点で計測した実測流量とを比較した(図2-2-23-b)。図2-2-23-a

(a) 落水線および土地利用マップ



(b) 流域および土地利用面積(積算)

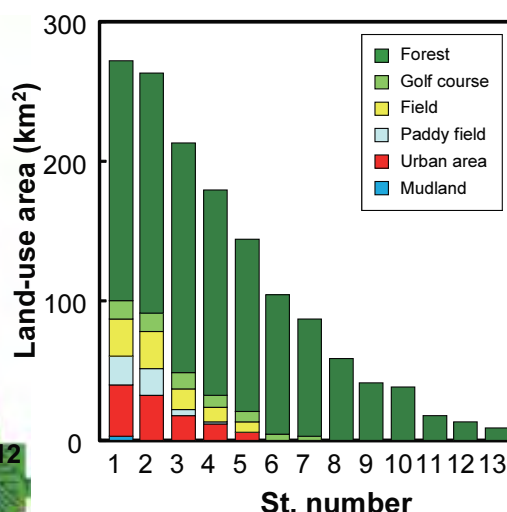
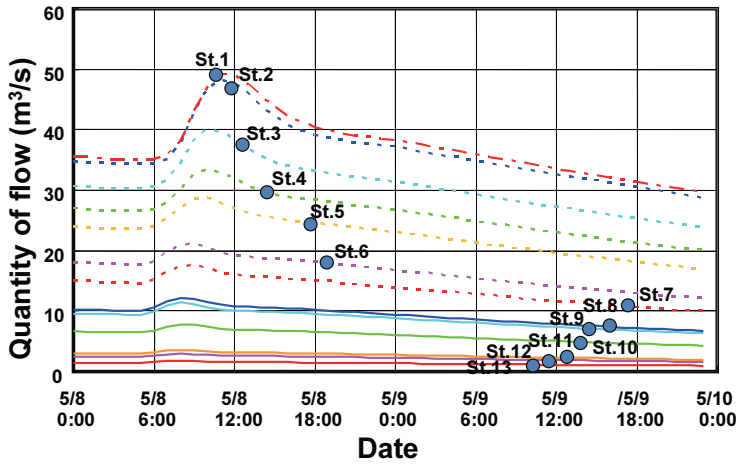
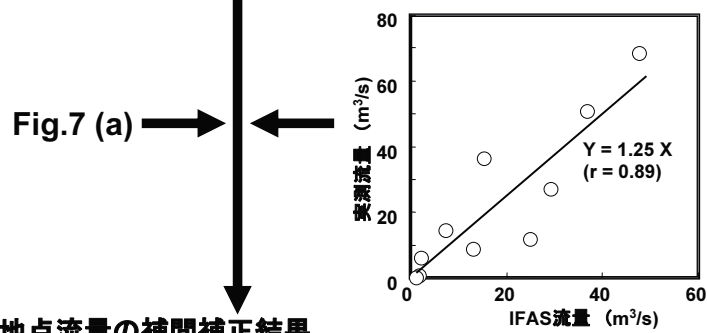


図2-2-22 IFAS 流出モデルによる小櫃川流域の落水線，流域積算面積，土地利用

(a) IFASプログラムによる各Siteの流量解析結果



(b) IFAS解析と実測流量との関係



(c) 各調査地点流量の補間補正結果

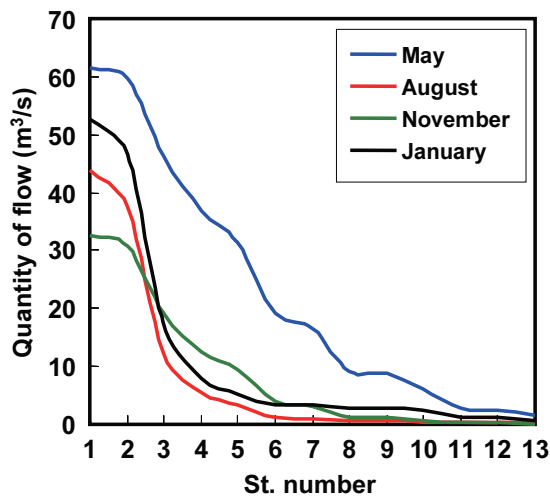


図 2-2-23 IFAS 流量解析結果と実測値からの各調査地点流量の補間補正

に示す●点が各調査地点の計測時間である。結果より、IFAS モデルで求めた流量は実測流量と強い相関 ( $r = 0.89$ ) をもち、解析結果の信頼性が高いことがわかる。しかし、IFAS 流量に対し実測流量は 1.25 倍高い値を示した。これらの関係を考慮して、図 2-2-7-a の実測流量について補間補正した。その結果が図 2-2-23-c である。

## (6) 小櫃川流域の正味物質生産量と養老川流域との比較

### ① 小櫃川流域の正味物質生産量

(3) で示した小櫃川流域の水質データは生・化学的平衡に対する濃度依存性を(環境基準・指針値として)論じる場合には有効であるけれど、各季節(時間)・各地点(場所)を単に並列したものであり、小櫃川流域の物質生産量(もしくは供給量)を示すものではない。例えば、上流地点 A と下流地点 B の河川中に含まれる物質 X の濃度を仮にそれぞれ 1, 10 g/m<sup>3</sup> とする。つまり、地点 A より地点 B は物質 X 濃度が 10 倍高いこととなる。次に、両地点の流量は地点 A が 1 m<sup>3</sup>/s, 地点 B が 10 m<sup>3</sup>/s と仮定すると、その積はそれぞれ 1, 100 g/s となる。一般的にこの値を負荷量といい、地点 A に比べ地点 B は物質 X に対する負荷量が 100 倍高いこととなる。“河川の流量は流域面積の累積により成立する”ことを前提にした場合(あくまでも流域における蒸発散はないと仮定した場合)、その負荷量は単に流域積算面積に依存することになる。そこで、地点 A と地点 B の流域積算面積をそれぞれ 1, 100 km<sup>2</sup> と仮定すると、その比はいずれも 1 g・km<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>) となり、単位時間・単位面積あたりの物質 X 量は両地点とも同じになる。本研究では、これを正味物質生産量(もしくは供給量)とし、まとめると式(5)となる。

$$\begin{aligned} \text{正味物質生産量 (t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}) \\ &= [\text{濃度 (t} \cdot \text{m}^{-3}) \times \text{流量 (m}^3 \cdot \text{y}^{-1})] / [\text{流域積算面積 (km}^2)] \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、濃度は図 2-2-7-f~k, 流量は図 2-2-23-c, 流域積算面積は図 2-2-22-b を各調査地点、各調査時に対応させ、年間量に換算した。その結果を図 2-2-24 に示す。各物質の正味生産量 (t・km<sup>-2</sup>・y<sup>-1</sup>) は、DSi (33.6±25.0) が最も高く、ついで DOC (10.6±10.2), TN (2.29±2.42), PO<sub>4</sub>-P (0.652±0.560), DFe (0.642±0.781), そして Chl.a (0.00737±0.01155) となる。正味 DOC 生産量を季節間で比較すると、春季の 5 月は最も高い値を示し、かつ上流・下流の差はなかった。夏季の 8 月は源流 St.13 から中流 St.8 まではわずかに減少し、それより下流では約 10 倍増加した。秋季の 11 月は上流で最も低く、下流に向かって増加した。冬季の 1 月は上流域において生産量が高く、中流域で減少した後に下流で再び増加した。このように各季節により正味 DOC 生産量の変化は異なり、全体的には下流域における DOC の生産量(供給量)が予想に反して高い値を示した。つまり、小櫃川流域の DOC の生産は上流域の森林地より下流域の農耕地・市街地による影響が大きい。ただし、夏と冬季は上流域による DOC 生産が示唆される。植物プランクトンにとって必須元素である DFe, DSi, TN, PO<sub>4</sub>-P の正味生産量を比較すると、季節・調査地点での変化傾向は DOC と類似した。一方、植物プランクトンの指標である正味 Chl.a 生産量はいずれも上流から下流にむけて増加し、春季の 5 月が他の時季に比べ高かった。以上のことから、正味物質生産量は春季 5 月が最も高く、それにより Chl.a の生産量も高くなったことが示唆された。

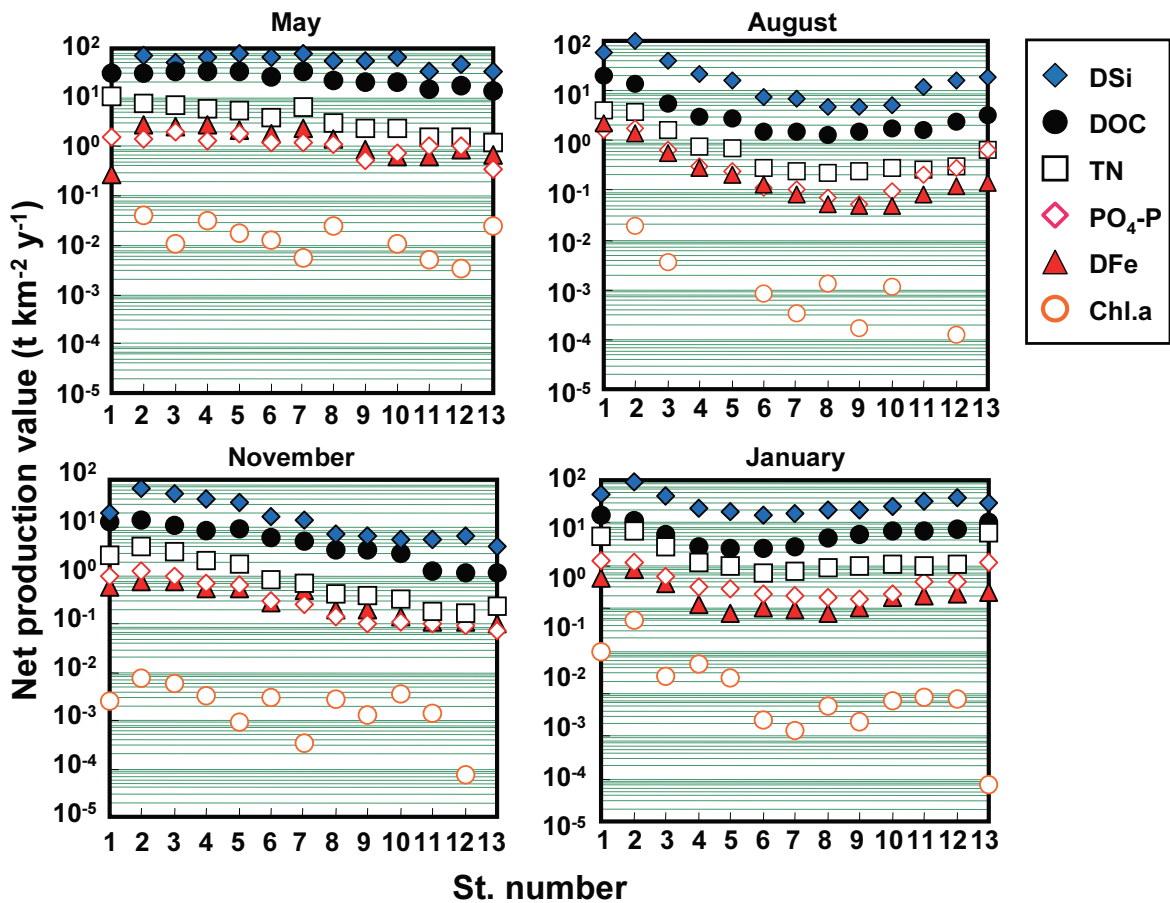


図 2-2-24 小櫃川流域の各調査時における正味物質生産量

## ② 小櫃川流域の溶存有機物，栄養塩および植物プランクトンとの関係

土壌で生産されたフルボ酸などの溶存有機物は栄養塩を取り込みながら河川に供給され、その栄養塩を利用して植物プランクトンが増殖するという概念に対し、(6)①で示した各々の正味物質生産量との間の関係（相関係数：表 2-2-5）から論証する。これら正味物質生産量には強い相関がみられ、特に、正味 DOC 生産量と正味栄養塩（鉄、ケイ素、窒素、リン酸態リン）生産量との間に相関係数 0.78~0.88 と高い関係がみられた。そこで正味 DOC 生産量に対して各栄養塩の正味生産量をグラフにすると図 2-2-25 のようになる。正味 DFe 生産量は 4 種の栄養塩のなかで最も線形的比例関係をもち、DOC の生産・供給が河川への安定した DFe 生産・供給に直接的につながることを意味する。特に、春季 5 月が高く、夏・秋・冬季と季節の遷移ともない低くなるのがわかる。結果より、正味 DOC 生産量の正味 DFe 生産量への重量基準寄与率は関係式より 6.8%であった。ついで、相関性が高いのは正味  $PO_4\text{-P}$  生産量（寄与率 4.8%）、正味 TN 生産量（寄与率 20%）、正味 DSi 生産量（寄与率 191%）であった。正味 DOC 生産量に対する正味 TN 生産量の関係は別の解釈ができ、その傾きは溶存有機物の状態 (C/N) を意味する。つまり、傾きが低いものほど C/N が大き

く腐植化（貧栄養有機物）の進行が高く、逆に傾きが高いものほど C/N が小さく腐植化があまり進行していないことを意味する。春季の 5 月は四季のなかで最も溶存有機物が腐植化し、冬季の 1 月は腐植化していない。いずれにせよ、生産された DOC は流域の土壌・鉱物中の栄養塩を河川に生産することが結論づけられた。

次に、正味 DOC 生産量および正味栄養塩量が流域の内部一次生産量（正味 Chl.a 生産量）にどのくらい影響を及ぼすか論じる。表 2-2-5 の相関係数より正味 DSi 生産量、正味 TN 生産量におおよその相関性はあった。河川水中に生息する植物プランクトンは環境遷移に対応しながら生物多様性を有し、ある種のプランクトンは一つの栄養塩に対し敏感に応答するもの（制限要素）もあれば、他のプランクトンでは応答しない、もしくは複数の栄養塩の共存で応答するなど様々である。実際、小櫃川流域で観測された植物プランクトン（主に珪藻類）の SEM 像をいくつか図

表 2-2-5 各正味物質生産量間の相関係

	DOC	DFe	DSi	TN	PO <sub>4</sub> -P	Chl.a
DOC	1.00					
DFe	0.88	1.00				
DSi	0.78	0.76	1.00			
TN	0.85	0.70	0.73	1.00		
PO <sub>4</sub> -P	0.86	0.80	0.82	0.87	1.00	
Chl.a	0.59	0.65	0.70	0.69	0.57	1.00

2-2-26 に紹介する。上流域で頻繁に確認された

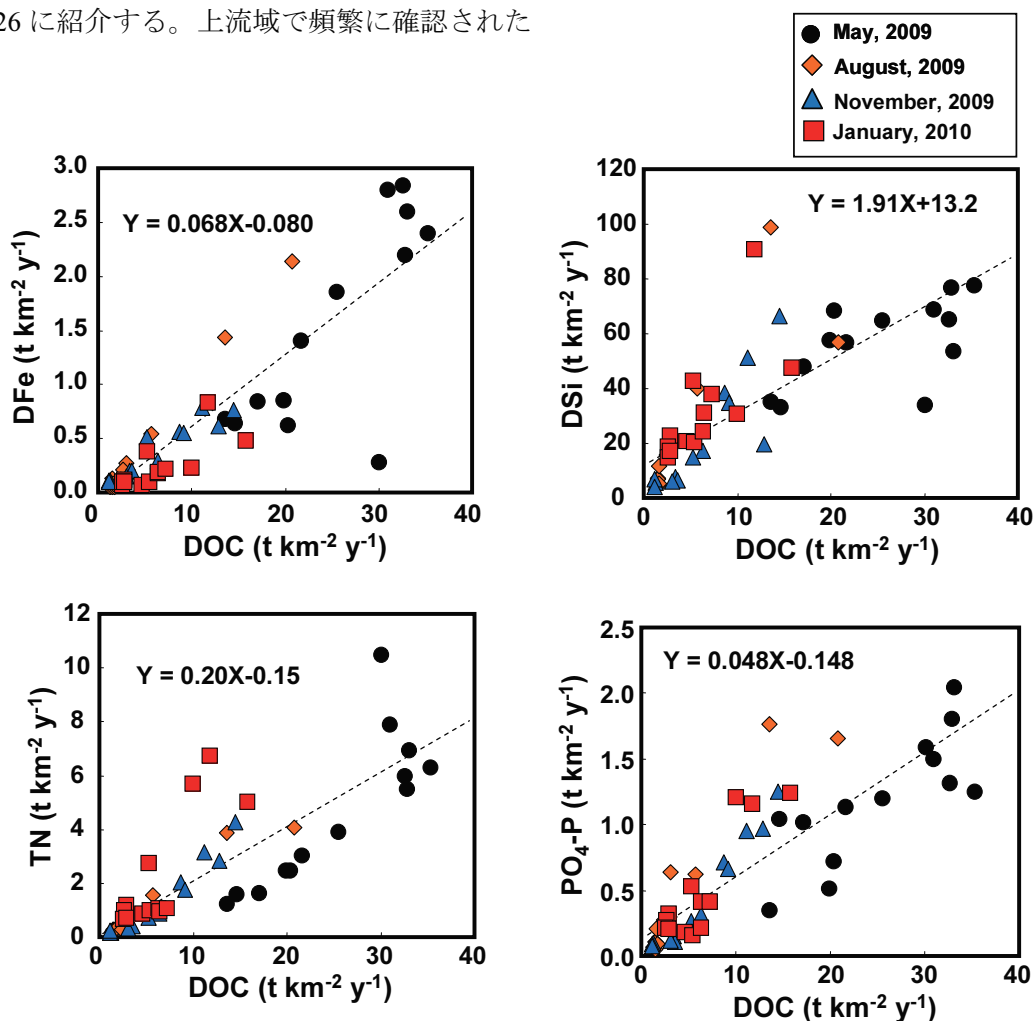


図 2-2-25 正味溶存有機炭素生産量と 4 種の正味栄養塩生産量との関係

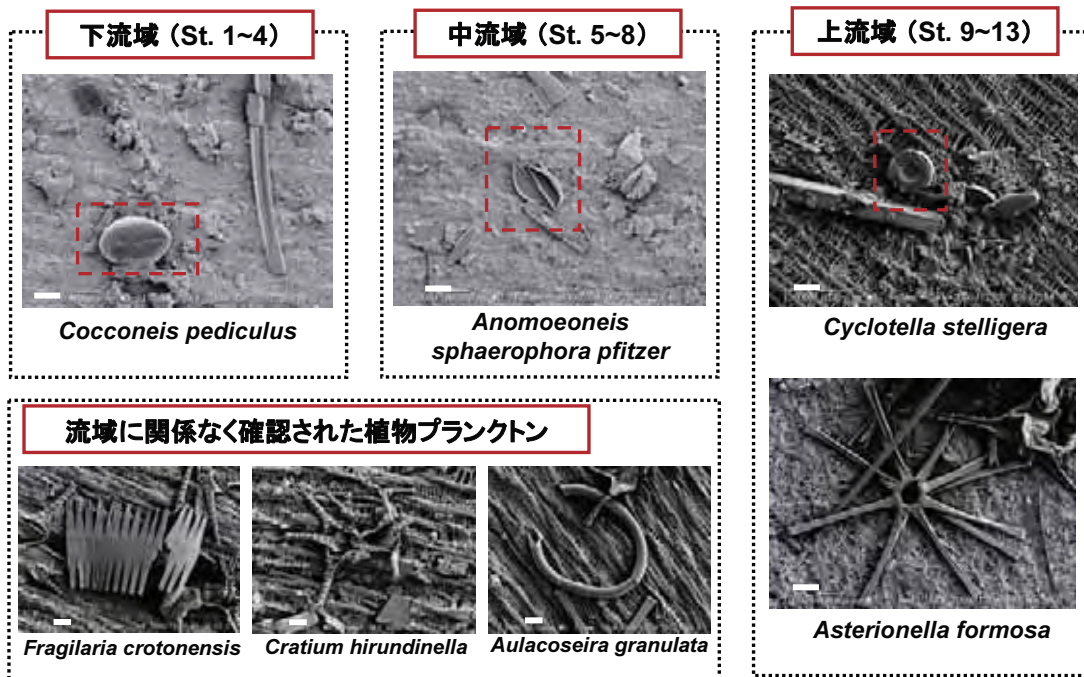


図 2-2-26 小櫃川流域河川水中に生息確認された植物プランクトン(スケール:10 μm)

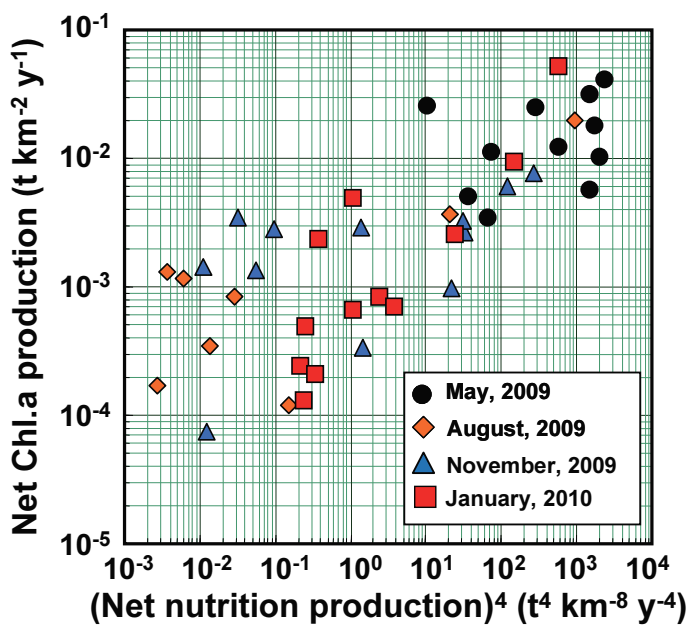


図 2-2-27 正味栄養塩生産量の積と正味クロロフィル生産量との関係



のが *Cyclotella stelligera* と *Asterionella formosa*, 中流域では *Anomoeoneis sphaerophora pfitzer*, 下流域では *Cocconeis pediculus* であった。小櫃川流域地点に関係なく頻繁にみられた種は *Fragilaria crotonensis*, *Cratium hirundinella*, *Aulacoseira granulata* の3種であった。そこで、正味DOC生産量を除く4種の正味栄養塩生産量の積と正味Chl.a生産量との関係を図2-2-27に示す。概ね正の相関がみられ、フルボ酸を含むDOCにより生産された栄養塩(DFe, DSi, TN, PO<sub>4</sub>-P)は植物プランクトンの生産に寄与していることが本研究より実証された。

### ③ 小櫃川流域と養老川流域との比較

本研究で調査した小櫃川流域は、昨年度に調査した養老川流域の南に位置し、多くの点で共通している(図2-2-28)。いずれも清澄山系が源流となり、小櫃川の総延長が88 km(流域面積273 km<sup>2</sup>)、養老川が73 km(246 km<sup>2</sup>)の二級河川で、流域傾度も類似している。流域の地質は、上流から下流に向かって河道に垂直走向しながら三浦層群、上総層群、下総層群の順に移り変わる(図2-2-3)。いずれの地質も海底堆積層であるため河川の作用により著しく浸食し、河道は激しく蛇行している。特に上流域においては深い渓谷を形成し、下流域ではこれらの土砂が堆積した広大な沖積平野を形成している。気候は両河川ともほぼ同様と考えられ、(3)①に記述の通りである。相違点としてダム湖の位置があげられ、小櫃川では上流域(図2-2-28-a, St.9・10)、養老川では中流域(図2-2-28-b, St.6・7)にある。また、森川海のつながりで最も重要な役割を担っていると考えられるのが干潟の存在であるが、養老川は工場立地のための埋立工事や護岸工事を行ったため自然干潟は確認されないが、小櫃川は現在も広大な盤洲干潟が残されている(図2-2-4)。土地利用積算面積(流域積算面積)について両河川を比較すると(図2-2-28)、森林面積は小櫃川が約65%、養老川が約50%を占めており、養老川のほうが中流域からの農地化が進んでいる一方、小櫃川は下流域に市街地が目立って多くなっている。また、総延長と流域面積ともに小櫃川のほうが大きい。本流河川に対しての流域幅が養老川より広い。そのため、本流河川に対する水質は河道付近の土地利用からの影響(汚染・浄化)が大きいと考え、小櫃川より養老川のほうが流域土地利用の影響を受けやすいと予測される。

図2-2-28に2008年10月の養老川と2009年11月の小櫃川の正味物質生産量をそれぞれ示す。単位は図2-2-24と異なり毎秒あたりの生産量であり、養老川はDSiの計測は行っていない。調査時が異なるので比べることは難しいが、概ね正味物質生産量の傾向は似ていた。正味DOC生産量について、養老川は源流から河口への増加幅が大きく、河口での値は小櫃川の10倍にも達する。しかし、正味栄養塩(DFe, DSi, TN, PO<sub>4</sub>-P)生産量はいずれも小櫃川上流域の値が高く、河口域まで安定生産(供給)していることがわかる。これらの影響が正味Chl.a生産量にも影響し、小櫃川流域は上流から下流への物質生産・供給・輸送が安定していることが確認された。

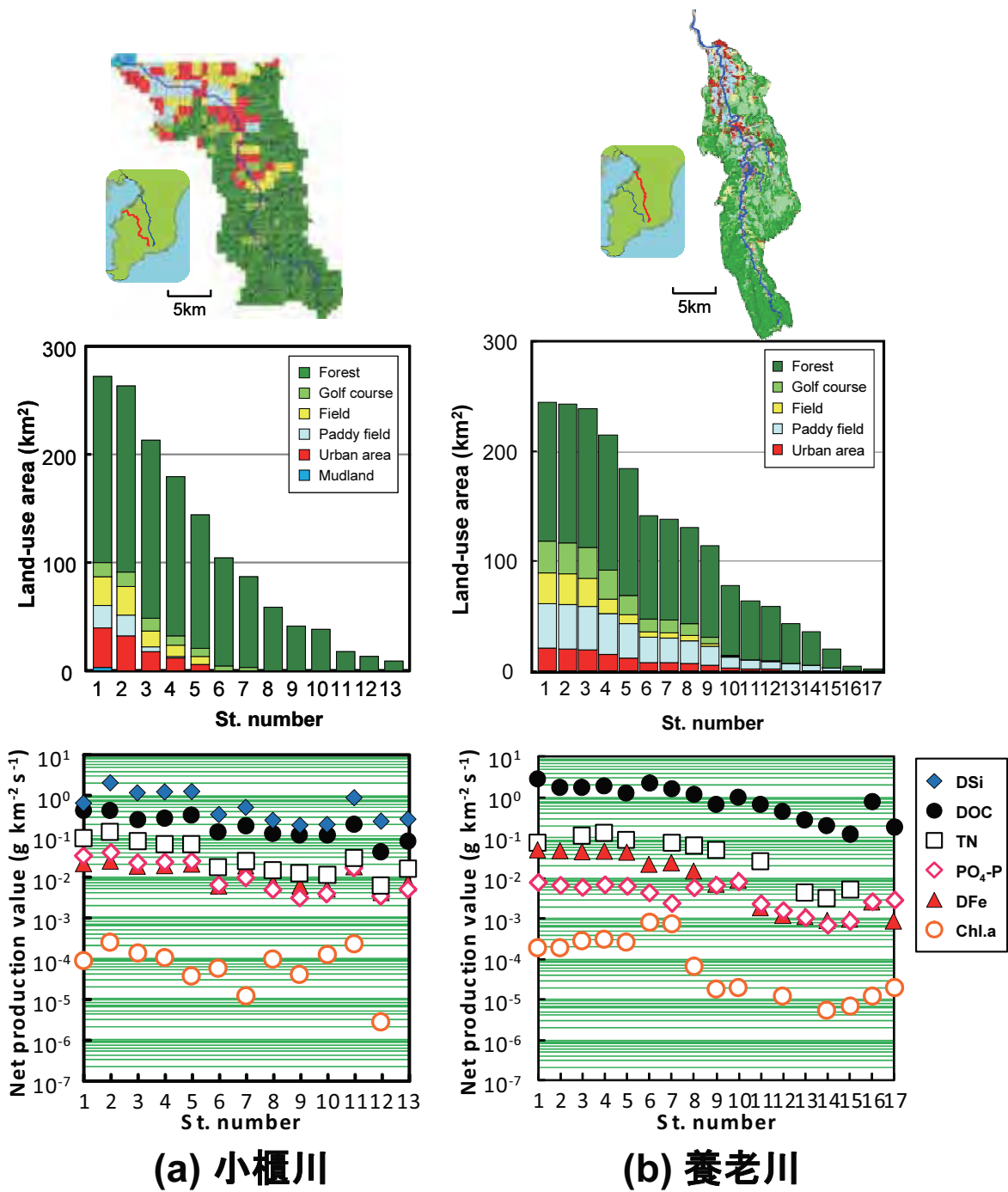


図 2-2-28 小櫃川流域と養老川流域の土地利用と正味物質生産量における比較

(7) まとめ

小櫃川流域を例とした、里山（流域圏）と里海（海域）のつながりを科学的手法により検証した。得られた成果・結論を以下にまとめる。

- 小櫃川流域の特徴：小櫃川流域の流出モデルを構築し、地形より落水線を求めることができた。落水線より小櫃川本流は多岐かつ広域な水脈網から成り立っており、各水脈の原点（支流源流）は全て森林地とつながっている。流域面積の約 65%が森林地であり、小櫃川河川水質への影響は高いと評価された。また、小櫃川流域の上・中流では太古の海底堆積層からな地質のため、浸食が激しく、その風化産物が下流域の肥沃な沖積層を形成している。よって下流域では水田が多い。さらに小櫃川流域より供給・輸送された土砂や栄養塩は河口域に到達し、1,400 ha の広大な自然盤洲干潟を形成し、ヨシ原を中心に豊かな生態系が構築されている。
- 小櫃川流域の水質：小櫃川全域アルカリ性を示し、特に上流域の pH は高かった。電気伝導度も高く、ミネラルの豊富さを意味する。溶存酸素濃度は水圏生態系に影響のない高い値を推移し、特に、生物活動の低い冬季は全域高い値を示した。溶存有機炭素、栄養塩（鉄、ケイ素、窒素、リン酸態リン）、そしてクロロフィル濃度はいずれも時季・場所によっての特殊すべき傾向はなかった。
- 小櫃川流域のフルボ酸・鉄指標：三次元蛍光スペクトルによる新しい解析法を用いて、フルボ酸およびフルボ酸－鉄錯体の総合的評価を行った。秋季の上流域と夏季の下流域は溶存有機炭素濃度および土壌系フルボ酸に帰属される相対蛍光強度が高く、かつフルボ酸－鉄形態の割合が高いことから、フルボ酸－鉄の生産は気温、土地利用の他に流域における水の滞留時間の影響が大きいことが判明した。
- 小櫃川流域の湧水および土壌による影響：湧水は、久留里湧水と亀山温泉の二箇所確認され、前者の水質は付近の小櫃川水質と大差なく、季節によって濃度変化がみられることから表層水とのつながりが大きく、後者は河川水に比べ物質濃度がいずれも高く、季節変化がないことから表層河川水とは全く異なる起源であることが判明した。土壌有機物について、表層土より下層土のほうが腐植化しており、特に、上流域の森林地は高く、下流域の農耕地は低かった。土壌無機物について表層・下層土に大きな違いなかったが、上流域ほど化学的風化が進行しており粘土鉱物の生成も推測された。一方で鉄金属元素の割合も高かった。流域土壌中の水溶性有機物と鉄について河川水との関係性を評価した結果、上流から下流にむけての有機物による鉄の取り込み傾向が同様にみられ、河川周辺土壌・鉱物からの寄与率を 100%とすると、25%は河床やそれ以外の起源から鉄が寄与していることがわかった。さらに土壌浸出液の蛍光スペクトル特性より、土壌中には様々な水溶性有機物が含まれるものの、河川に供給されるまでの過程において易分解性有機物は消失し、また、フミン酸のような高分子は土壌中に沈着・残存し、その結果、河川水中の水溶性有機物の大部分はフルボ酸であることがわかった。
- 正味物質生産量が植物プランクトンの生産量に及ぼす影響：各地点濃度、流量および流域積算面積より各物質の正味生産量 ( $t \cdot km^2 \cdot y^{-1}$ ) を求めた結果、溶存有機炭素 10.6, 溶存鉄 0.642, 溶存ケイ素 33.6, 全窒素 2.29, リン酸態リン 0.652, そしてクロロフィル

0.00737 となった。正味溶存有機炭素生産量と正味栄養塩生産量との間に強い相関性 (0.78~0.88) がみられたことから、流域により生産された溶存有機物は流域土壌・鉱物中の栄養塩を河川に生産・供給することがわかった。また、フルボ酸を含む溶存有機物により生産された栄養塩は植物プランクトンの生産に寄与していることが実証された。

- 小櫃川流域と養老川流域との比較：両河川流域ともに地形、地質、気候などは非常に近いものの、ダム湖の位置、自然干潟の有無、土地利用面積などに違いがあった。正味物質生産量の傾向は似ていたものの、小櫃川流域のほうが上流域からの栄養塩を河口域まで安定生産（供給）しており、クロロフィル生産量にも影響していることがわかった。

以上のことから流域圏から海域への物質輸送の役割として、森林や農地で生産されるフルボ酸が重要な物質であることが小櫃川流域を実例に証明できた。また、流域圏を通して多量の物質や植物プランクトンを生産し、海域に供給していることが確認できた。しかし、今回の科学的根拠に従った現況評価からでは、流域圏と海域との一体的管理の必要性を提案することはできず、未だ不確定因子が多すぎるような気がする。その理由に、①短期間の調査では公共事業要因によるものか、環境変動要因によるものか区別がつかない、②流域圏が複数の自治体管理政策にまたがり、分けられていることで科学的論証の結果が場合によって害となる、③基盤となる自然環境で構築された生活社会と教育社会との密接な関係が崩壊している、などあげられる。例えば、都心に流れる河川や河口周辺では集合住宅やイベント会場建設など公共工事が目まぐるしく行われ、自然との断絶を自ら選択し、河川水質はより悪化している。にもかかわらず、人は川辺の住宅や公園に集住し、川や流域圏の「安全なる癒し」をよりいっそう探求している。当然、このような流域圏の健全性を科学的根拠に従ったデータから評価したら低評価となるが、人と流域圏との共存と活性を考えると必ずしも不健全とはいえない。今回、小櫃川流域の実地調査を計4回（8日間）行ってきたが、人と流域圏との共存・活性を実感することができなかった。上流域では源流地点の清澄寺参拝者、亀山ダム湖での釣り人、中・下流域では久留里城・湧水への来訪者、広大な水田地帯で働く農家、河口域では広大な盤洲干潟での潮干狩りなど観光や季節名所としての人の来訪はあるものの、小櫃川全域において川辺で遊ぶ子供の声はなく、流域住人も生活用水として河川水を利用せず、小櫃川流域の自然と人々との交流が疎遠にあると感じられた。本調査において深く言及しなかったが、小櫃川流域の生活排水は未だ浄化槽を通さずに河川へ垂れ流している箇所がいくつか確認された。千葉県でも「水質汚濁防止法」を制定し、生活排水対策についての行政・住民の責務や計画的・総合的推進のための枠組を定め、本研究で調査した小櫃川流域（袖ヶ浦市、木更津市、君津市）を重点地域として平成6年度に指定されている。しかし、公共下水道等の普及率は未だ40%に達しておらず、このような現状も人々の疎遠につながっているといえよう。

以上の成果と課題をもとに、今後、短期間で流域圏と海域との一体的管理の必要性を提案するためには「小櫃川河口の盤洲干潟（図 2-2-4）」が適当と考える。流域圏の里山からは多量のフルボ酸が植物プランクトンの生産に必要な栄養塩を海域に輸送・供給している（本研究の結論）。その結果、海域の生態系と海洋資源を豊かにしている。しかし一方では、人々の生活が豊かになり、里山である必要性が失われた結果、里山からの物質の自然供給は途絶え、代わりに人為的物質の過剰供給がはじまり、海洋資源の衰退と富栄養汚染が顕在化されてきている。小櫃川流域と養老川流域の決定的な違いは自然干潟の存在の有無であると考えられる。小櫃川には 1,400 ha もの広大な三角州型の盤洲干潟がある。一方、かつての養老川も小櫃川と同様に広大な干潟があったと考えられるが、工業地帯としての開拓によりほとんど全て埋め立てられた。それは 1960～1970 年代にかけて東京湾に流れ込む河口域全てに適用され、習志野市にある谷津干潟（国指定谷津鳥獣保護区、ラムサール条約登録地）もかつて江戸川河口域に形成された広大な三番瀬干潟であったが、現在は閉鎖的水域となっている。小櫃川河口の盤洲干潟は東京湾唯一の自然干潟である。図 2-2-29 に盤洲干潟の航空写真を示す。流域圏里山からの物質供給が小櫃川を通して海域に流入し、肥沃な土砂が堆積し、干潟を形成している。そのまま海域に物質供給する流れと干潟を通過して海域に物質供給する流れの 2 本ある。この河口三角州となっている干潟にはヨシ原が繁殖し、塩生植物、底生動物、それを餌食とする渡り鳥など種多様性の干潟生態系を成り立たせている。ヨシはイネ科植物であることから、既往研究で実証したフルボ酸による生理活性の関与も無視できず、流域圏から供給されるフルボ酸の影響も評価すべきである。ヨシの繁殖は大気中の二酸化炭素と流域圏から供給された栄養塩を固定・浄化し、やがて秋から冬季にかけて枯死し、干潟に堆積する。干潟は嫌気環境であるので堆積有機物は腐植化し、フミン酸やフルボ酸を生成、再び海域にフルボ酸供給される。関東地方の各地で地下水湧水が黒色を呈するのも、東京湾浅瀬に繁茂した海藻類やヨシなどが起源と考えられる。フルボ酸は汽水域の干潟に堆積した鉄を再溶解し、フルボ酸-鉄錯体として海域に供給される。ヨシは伝統的に簾や屋根葺き材料、燃料等に利用されていたが、近年、水田の土地改良工事での暗渠の目詰まり防止材としてや肥料として流域圏に還元されている。また、干潟の豊かな生態系に集まる渡り鳥は森-川-海に加えて空をつなげる役割を担っており、栄養塩を再び流域圏に輸送・還元していると考えられる。

最後に、本調査に協力してくれた多数の学生に感謝するとともに、「自然をみる」ことの大切さを少しでも実感してくれたことに、もう一つの成果としてここに記す。

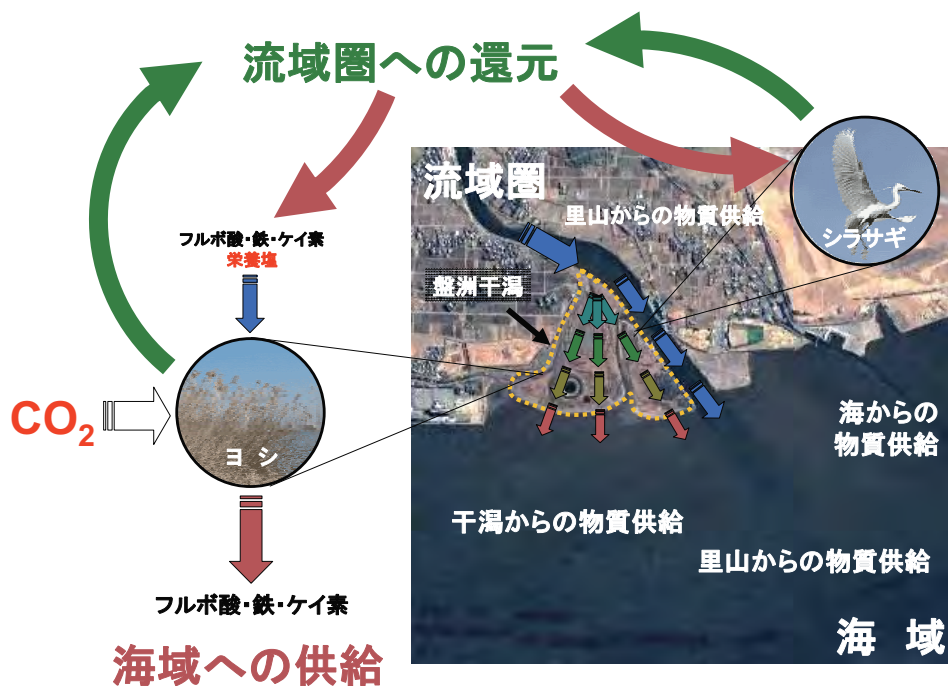


図 2-2-29 干潟における流域圏と海域との一体的管理を目指した構想概念

#### 参考文献

- ・ 長尾誠也・鈴木康弘・中口 譲・妹尾宗明・平木敬三 (1997) : 三次分光蛍光光度計による天然水腐植物質の蛍光特性の直接測定法. 分析化学, 46(5), 335-342.
- ・ 長坂晶子・河内香織・柳井清治 (2008) : 河川・沿岸域への森林有機物の供給過程 (II-5), In 山下 洋・田中 克 編 : 森川海のつながりと河口・沿岸域の生物生産, pp.59-73, 恒星社厚生閣.
- ・ 関 陽児 (1998) : 土壌・風化帯の形成と水質変化. 地質調査所月報, 49(12), 639-667.
- ・ 盤洲干潟をまもる会 (2006) : 小櫃川流域の自然調査報告 (水質, 河岸の植物, 鳥, 水生昆虫, 魚類, その他), 日本科学協会.
- ・ 福島武彦・中島俊之・今井章雄・松重一夫・尾崎則篤 (2001) : EEMS による水中溶存有機物の特性解析. 水環境学会誌, 24(10), 686-692.
- ・ 矢沢勇樹 (2009) : 養老川におけるフルボ酸を例とした森と海の間に関する研究 (3-3), In 海洋政策研究財団監修 : 平成 20 年度「海域と流域圏の一体的な管理方法の調査研究」報告書. pp.44-63, 日本財団.
- ・ Waite, T.D. and Morel, F.M. (1984) : Ligand exchange and fluorescence quenching studies of the fulvic acid-iron interaction. Anal. Chim. Acta., 162, 263-274.
- ・ Yazawa, Y., Mikouchi, T. and Takeda, H. (2009) : Available resources and energy sources from Mars rock and soil (Chapter 17), In Badescu, V. ed. "Mars – Prospective Energy and Material Resources. pp.483-516, Springer.

## 外部研究報告

- ・ 藤山里香・上平田和久・武田 弘・矢沢勇樹 (2009) : 房総里山から供給されるフルボ酸の鉄の物質輸送と生態系との関連 1—フルボ酸連続供給による黒雲母層からの鉄のリーチング効果—, 日本海水学会第 60 回年会 (東京, 6 月).
- ・ 藤山里香・上平田和久・武田 弘・矢沢勇樹 (2009) : 房総里山から供給されるフルボ酸の鉄の物質輸送と生態系との関連 2—養老川における土地利用と水質データとの関連—, 日本海水学会第 60 回年会 (東京, 6 月).
- ・ 濱田綾子・吉田達也・佐々木恒治・藤山里香・矢沢勇樹 (2010) : 房総半島の里山から里海へのつながり 1—小櫃川と養老川の比較—, 日本海水学会会若手会第 1 回学生発表会 (千葉, 3 月).
- ・ 吉田達也・佐々木恒治・濱田綾子・藤山里香・矢沢勇樹 (2010) : 房総半島の里山から里海へのつながり 2—土壌から河川への鉄輸送機構—, 日本海水学会会若手会第 1 回学生発表会 (千葉, 3 月).
- ・ 藤山里香, 武田 弘, 矢沢勇樹 (2010) : フルボ酸による鉄含有土壌から河川への物質輸送機構の解明, 日本水環境学会第 44 回年会 (福岡, 3 月).
- ・ 矢沢勇樹・藤山里香・濱田綾子・吉田達也・佐々木恒治 (2010) : 房総半島における里山から里海へのつながり—小櫃川流域のフルボ酸による鉄輸送評価—, 日本海水学会第 61 回年会 (宮城, 6 月).
- ・ Fujiyama, R. Takeda, H. and Yazawa, Y. (2010) : The chemical link of forest and sea by river: Materials supply from land-used soil and transport by river with reference to fulvic-Fe complex, 19th World Congress of Soil Science (Brisbane,Australia, August).

### 第3章 まとめ

本研究では、海域と流域圏のつながりを科学的検証により定量的に解明することで、今後の森川海の一体的管理に関する施策立案に資することを目的としている。

そのため第一に、小櫃川・多摩川河口域の生物を対象として調査を実施し、森川海のつながりが河口・沿岸域の生物にどのくらい影響を与えているのかをあきらかにした。具体的には、多摩川と小櫃川の河口ヨシ帯の内側と外側の干潟域で採集された生物や底泥などの炭素・窒素の安定同位体比を計測し、小櫃川ではタイドプールと滞筋の魚類相研究を行った。その結果、1) 一次生産者である底生微細藻類と植物プランクトンの  $\delta^{15}\text{N}$  は、両方とも小櫃川の方が高く、窒素の起源が両河川で異なる可能性が示唆された。2) 多摩川ではヨシ帯の内外で堆積有機物の安定同位体比にあまり差がないのに対して、小櫃川では外側の干潟で高いことから小櫃川のヨシ帯は陸域起源の有機物を堆積させる働きをしていると考えられた。3) 小櫃川のヨシ帯の内外に出現した堆積有機物食者 4 種を比較したところ、3 種では各々の生息場所で摂餌していると考えられたが、アシハラガニでは外側の個体も内側の堆積有機物を摂餌していることが示唆された。4) 多摩川におけるマサゴハゼの生息密度と底泥の安定同位体比の関係を調べたところ、安定同位体比が低い場所ほど生息密度が高い傾向が認められた。5) 小櫃川のアシハラガニがタイドプールと滞筋をどのように利用しているのかを明らかにし、とくにマサゴハゼについては干潟のタイドプールを選択的に生息場所としていることが判明した。

第二に、河口域の盤洲干潟において、森・川・海をつなぐ物質として注目されているフルボ酸を指標に、里山から里海への栄養塩の物質輸送を調査した。本流は多岐かつ広域な水脈網から成り立ち、各水脈の支流原点は全て森林地（流域面積の約 65%）とつながっており、森林地による小櫃川河川水質への影響は高いことが示唆された。河川水質への物質供給源として土壌について詳細に分析した結果、上流から下流にむけての有機物による鉄の取り込み傾向が同様にみられたことから、河川周辺土壌からの物質供給が非常に大きいことが確認された。また、正味溶存有機物生産量と正味栄養塩生産量、正味栄養塩生産量と正味クロロフィル生産量との間に強い相関性がみられたことから、フルボ酸を含む溶存有機物により生産された栄養塩は植物プランクトンの生産に寄与し、特に、秋季の上流域と夏季の下流域は溶存有機物量および土壌系フルボ酸に帰属される相対蛍光強度が高く、かつフルボ酸-鉄形態の割合が高いことから、流域圏の森林土壌からのフルボ酸が河川を通して海域に物質供給していることが判明した。

以上の結果から、森からの供給物質が河口域の生物へ影響を与えていること、流域圏の里山からは多量のフルボ酸が植物プランクトンの生産に必要な栄養塩を海域に輸送・供給し、海域の生態系と海洋資源を豊かにしていること等が確認できた。今後は、流域圏と海域との一体的管理の必要性を提案するために、流域圏から供給されるフルボ酸のヨシへの影響評価を実施すべきである。小櫃川河口には、里山から小櫃川を通して海域に流出した肥沃な土



砂が堆積し、盤洲干潟が形成されている。河口三角州となっている干潟にはヨシ原が繁殖し、塩生植物、底生動物、それを餌食とする渡り鳥など種多様性の干潟生態系を成り立たせている。ヨシはイネ科植物であることから、既往研究で実証したフルボ酸による生理活性の関与も無視できず、流域圏から供給されるフルボ酸の影響を評価することで、海域と流域圏のつながりを科学的検証することができる。これらのつながりを定量的に解明し、今後の森川海の一体的管理に関する施策立案に役立てるべきと考える。

## 付 属 資 料

## 委 員 会 発 表 資 料

海域と流域圏の相互作用の調査研究 第1回委員会発表資料

海域と流域圏の相互作用の調査研究 第3回委員会発表資料

# 海域と流域圏の相互作用の調査研究 第1回委員会発表資料

小櫃川・多摩川河口域における川と海のつながりの解明に関する研究（東京海洋大学 河野博教授 研究計画）

小櫃川・多摩川河口域における川と海のつながりの解明に関する研究  
河野博（東京大学）・高橋光樹（国産大）・李 彦俊（東大PO）

1) マサゴハゼの生息量と産卵の経路との関係  
予測される結果：陸由来の産卵の場所には多くのマサゴハゼが生息  
→ 川とのつながりが必要な海の生物がいます！

2) 海と川を行き来する魚種（+α）の安定同位体比  
予測される結果：種が海産から陸産源に移行する  
→ 川と海とのつながりを明らかにする（+αの方が重要かもしれません）

○ヨシ帯の調査  
ヨシ帯とその内外の産卵、生物群集についての研究

1) マサゴハゼの生息量と産卵の経路との関係  
予測される結果：陸由来の産卵の場所には多くのマサゴハゼが生息  
→ 川とのつながりが必要な海の生物がいます！

マサゴハゼ

La mer 48: 49-54

干潮のタイドプール

多摩川 明三空海

採集された魚類

種名	個体数
マサゴハゼ	681
マハゼ	365
アベハゼ	101
エドハゼ	15
アシシロハゼ	10
ミズマシハゼ spp.	8
ピラゴンゴ	2
ヒモハゼ	1

全体の98%

マサゴハゼ 71%  
マハゼ 25%  
アベハゼ 1%  
エドハゼ 1%  
アシシロハゼ 1%  
その他 1%

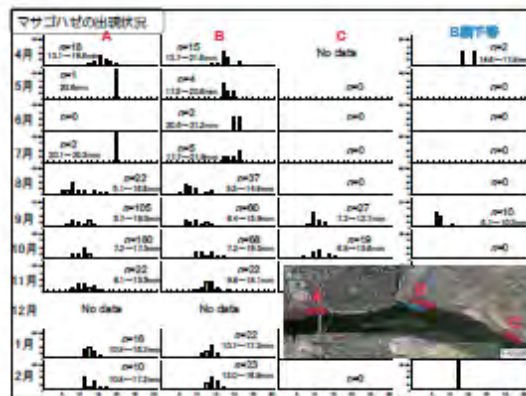
マサゴハゼ n=681  
5.1~21.5mm  
稚魚期から成魚期

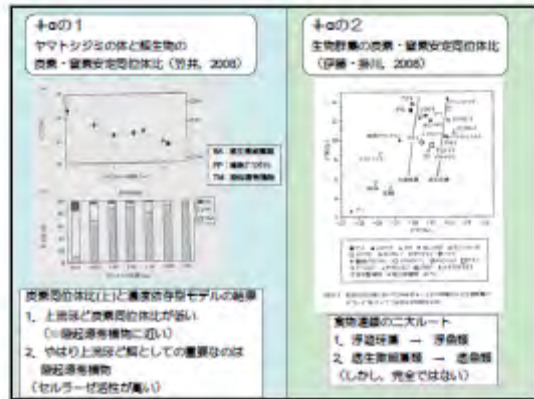
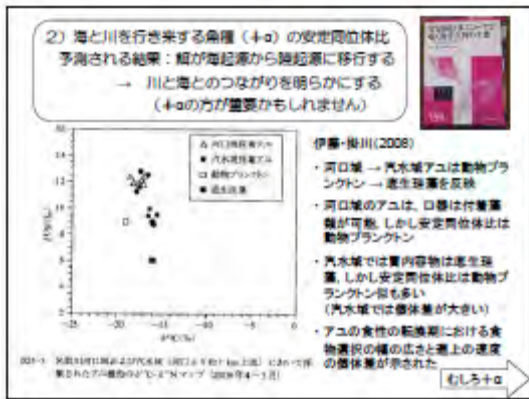
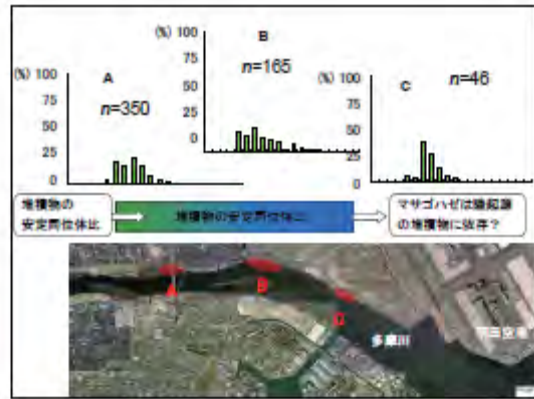
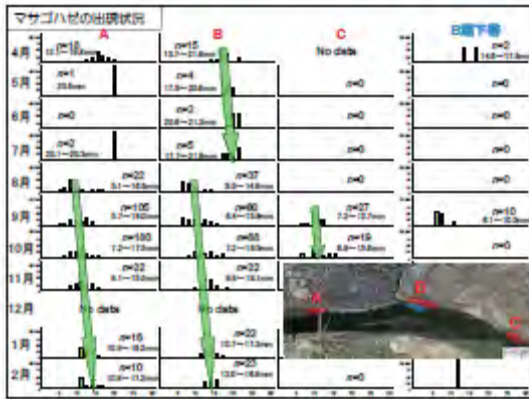
マハゼ n=365  
14.1~53.6mm  
稚魚期から成魚期

アベハゼ n=101  
5.9~32.2mm  
稚魚期から成魚期

エドハゼ n=15  
15.5~22.5mm  
若魚期

アシシロハゼ n=10  
19.3~59.9mm  
若魚期から成魚期





1) マサゴハゼの生態圏と産卵の経路との関係

予測される結果: 陸由来の産卵の場所には多くのマサゴハゼが生態  
→ 川とのつながりが必要な海の生物がいます!  
【陸由来の青藻類なしでは生態できない海産希少生物がいます!】

2) 海と川を行き来する魚種 (4-a) の安定同位体比

予測される結果: 餌が陸起源から陸起源に移行する  
→ 川と海とのつながりを明らかにする  
【川を渡る魚は、当然ですが、海から陸起源の餌の転換します】  
【1)とも共通するような、何らかの種がいるかもしれません】  
【食物網の起点に海・陸起源のあることが分かるかもしれません】

ヨシササギの調査 (ヨシササギとその内外の生態、生物群集の調査)

- ヨシササギの生態圏に陸起源産卵物が重要かどうか?
- ヨシササギに生態する生物が陸起源産卵物を餌として利用しているか  
→ ヨシササギ生態にとって、ヨシササギが餌源なのではなく、陸起源産卵物も必要!

小櫃川流域のフルボ酸の影響評価に関する調査研究（千葉工業大学 矢沢勇樹准教授 研究計画）



### Background

- 森林では落葉した葉が林床に貯まり徐々に腐植化し、フルボ酸が生産される。
- 房総半島は地下に多くのフルボ酸を含む古代海水(かん水)を大量に蓄えられている。

Fig.1 かん水の成り立ち

### Background

フルボ酸は河川などで鉄と錯体を形成し、安定性の高いフルボ酸鉄となる。

↓

植物プランクトンが鉄を吸収しやすくなる

Fig.2 鉄の物質輸送

### Purpose

小櫃川で水質調査を行い物質輸送を調べ、その土地からどのような影響を受けているかを調べる。また、養老川との比較もすることを目的とする。

Fig.3 千葉県の地形・地盤

出典: ジオテック株式会社「千葉県地形・地盤」  
[http://www.jtan.co.jp/kanakawa/kokuhwa/dihsa/kan\\_chiba.htm](http://www.jtan.co.jp/kanakawa/kokuhwa/dihsa/kan_chiba.htm)

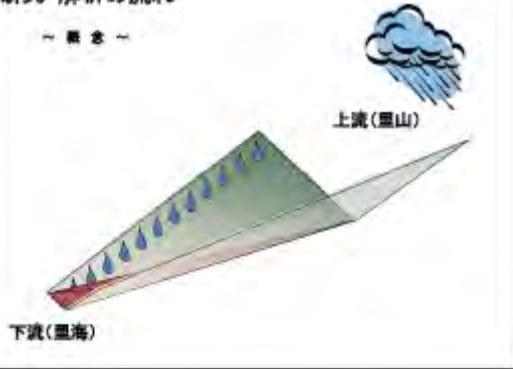
緑色: 森林  
 薄ピンク色: 市街地  
 青色: 水田

Fig.4 千葉県

Fig.5 小櫃川各採水地点 (Googleマップより)

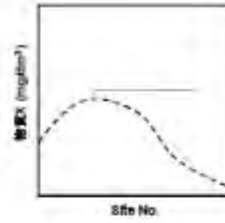
研究・解析の流れ

～概念～



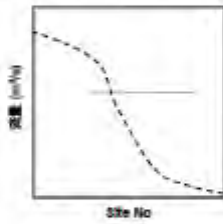
研究・解析の流れ

例)



研究・解析の流れ

例) 流量=水深×川幅×流速



研究・解析の流れ

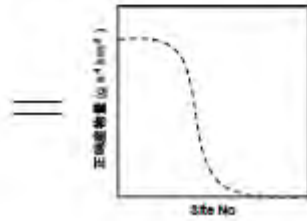
例)



研究・解析の流れ

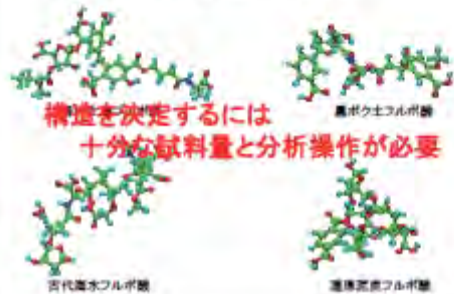
～ 点と点、時間、そして面と面 (正確な物質の算出) ～

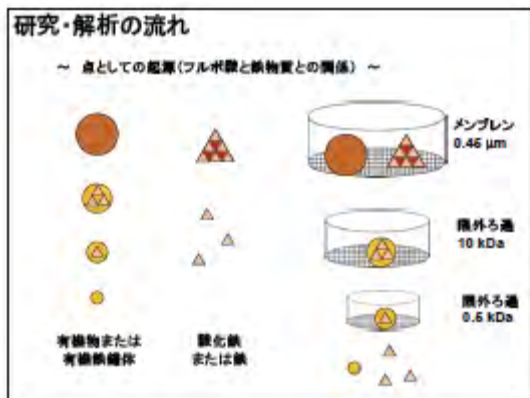
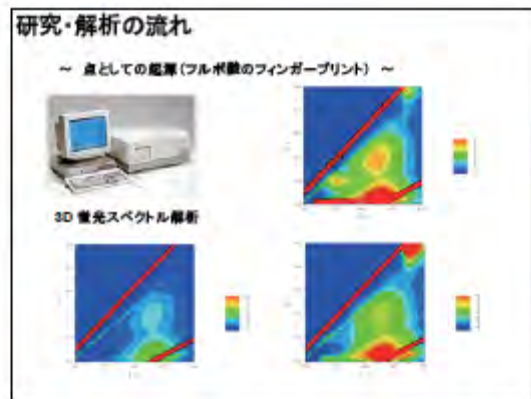
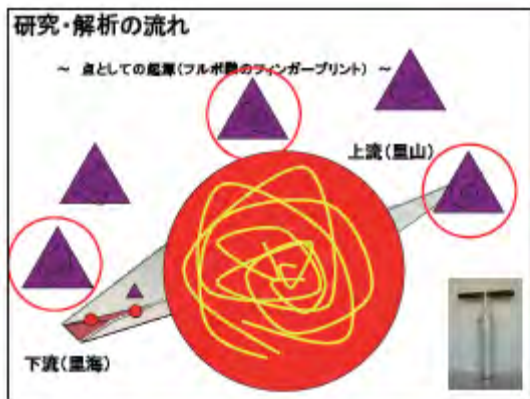
例)



研究・解析の流れ

～ 点としての結果 (フルボ酸のフィンガープリント) ～









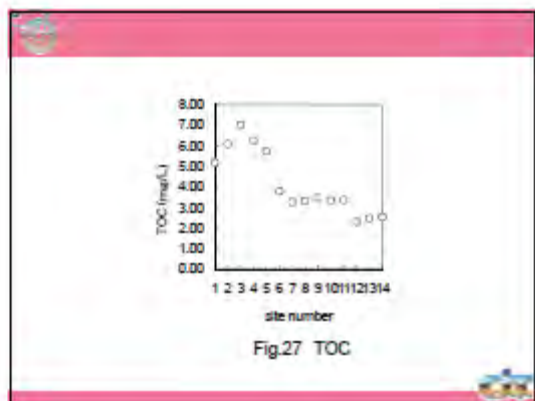
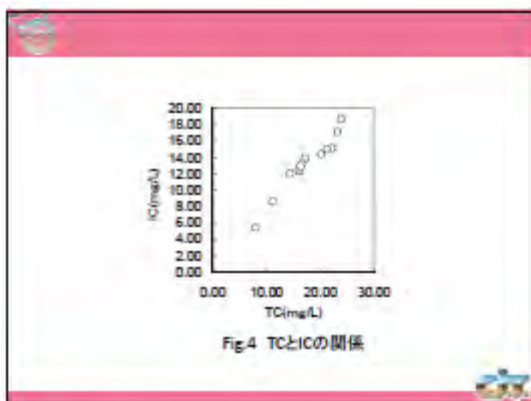
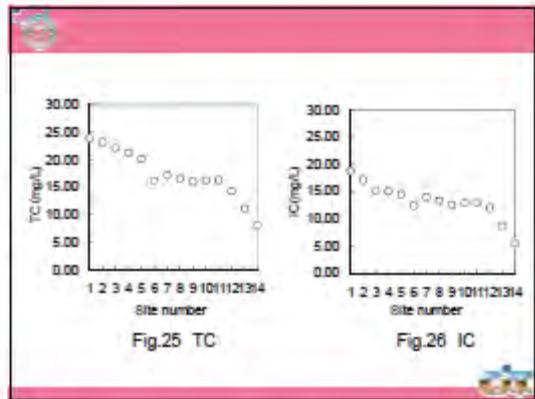
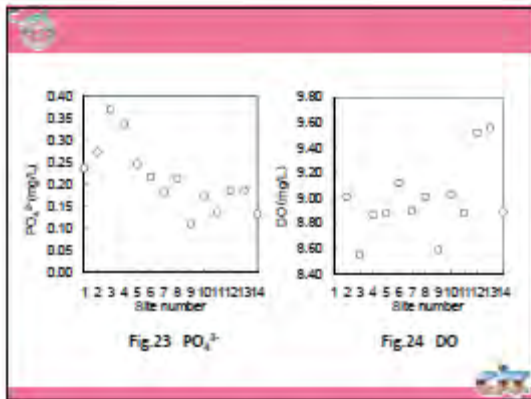
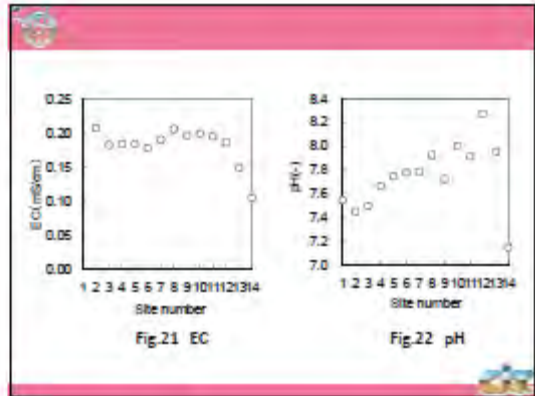




採水日: 2009年5月8~9日  
 Table.1 採水日1週間前からの小瀬川流域における降雨量

日付	木更津 降水量(mm)
5月1日	0.0
2日	0.0
3日	0.0
4日	0.0
5日	46.0
6日	26.5
7日	4.5
8日	27.0
9日	0.0

(東京都環境局)

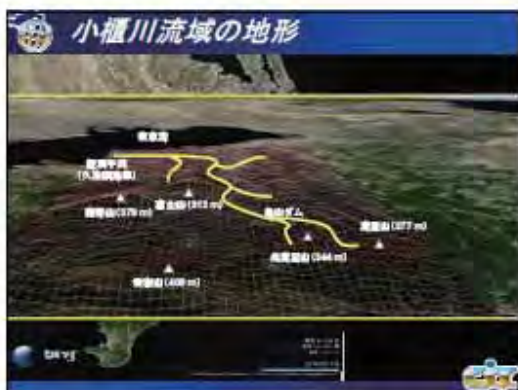
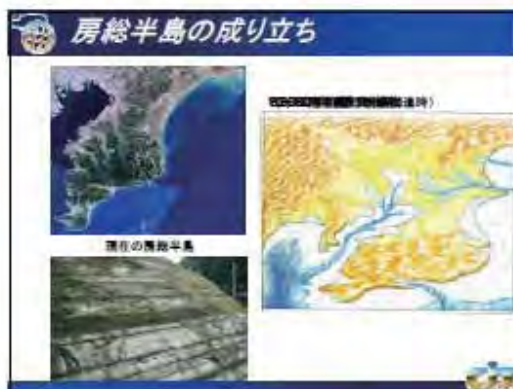
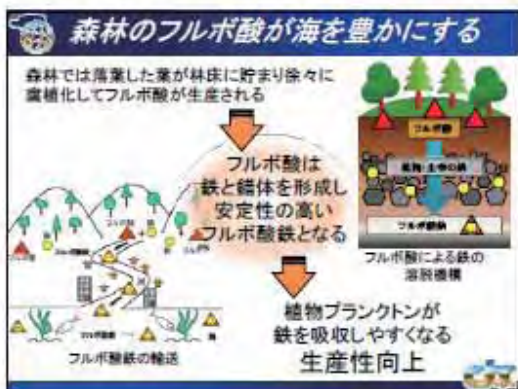


## 海域と流域圏の相互作用の調査研究 第3回委員会発表資料

小櫃川流域のフルボ酸の影響評価に関する調査研究（千葉工業大学 矢沢勇樹准教授 研究報告）



- はじめに
- 小櫃川の水質調査
- 小櫃川流域周辺の湧水・土壌調査
- Landsat衛星画像及び流出モデルを利用した地形・水文・土地利用解析
- 美老川の既存データを用いて小櫃川との比較分析

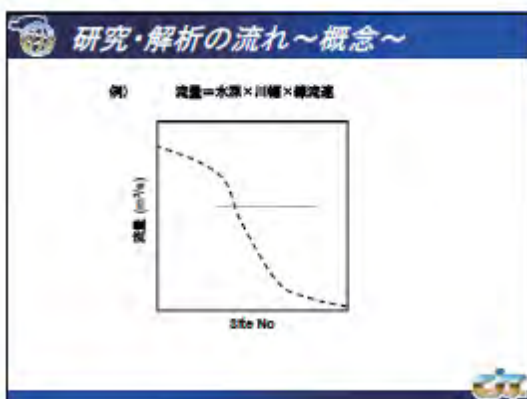
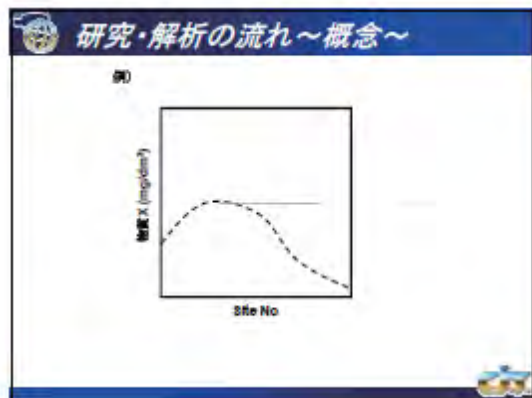
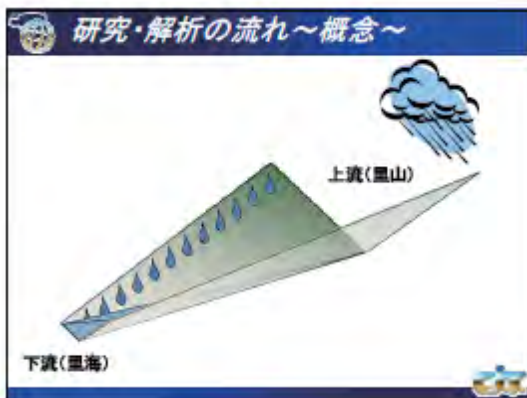


### 本研究の目的

流域圏と海域のつながりに関する科学的な検証を行い、一体的管理の必要性を明らかにして、海域の持続可能な利用と健全性の確保のための施策立案に資することを目的に、生物化学手法を用いて、ローカルな物質循環の視点から、海域と流域圏のつながりを定量的に解明することを目的とする。

フルが糖をトレーサーとして...

- はじめに
- 小櫃川の水質調査
- 小櫃川流域周辺の湧水・土壌調査
- Landsat衛星画像及び流出モデルを利用した地形・水文・土地利用解析
- 美老川の既存データを用いて小櫃川との比較分析



### 採水日

採水日と当日の天気

採水日	天気	水深	川幅	線流速	流量
2016年 5 月 9 日	曇り時々晴れ	4.0	24.0	0.0	0.0
5 月 24 日	晴れ	25.0	24.0	0.0	0.0
11 月 9 日	晴れ	7.0	24.0	0.0	0.0
2016年 1 月 9 日	晴れ	7.0	24.0	0.0	0.0

水深: 2.0m  
水深10m深さ: 20.0m  
水深15m深さ: 15.0m  
水深20m深さ: 10.0m  
水深25m深さ: 5.0m

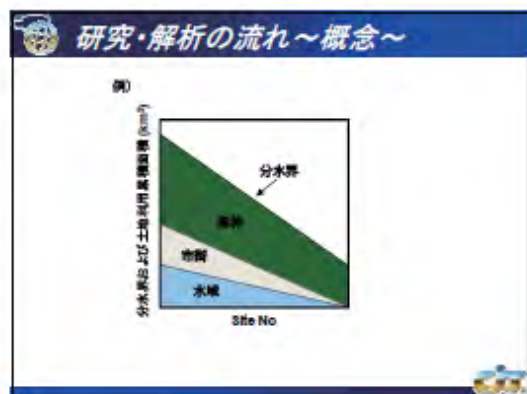
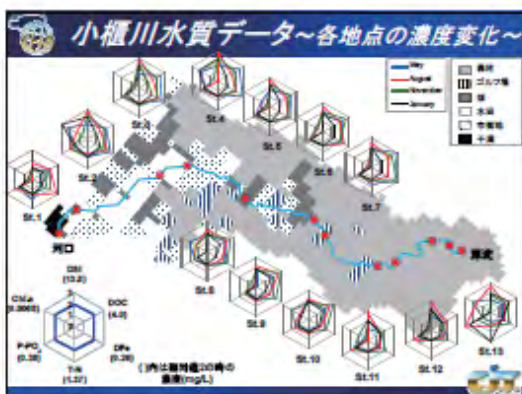
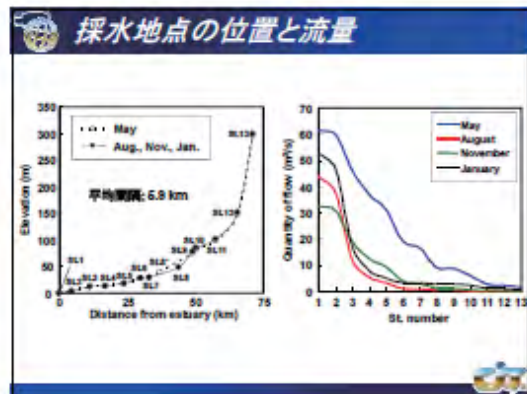
流量: 2.0m<sup>3</sup>/s  
流量10m深さ: 20.0m<sup>3</sup>/s  
流量15m深さ: 15.0m<sup>3</sup>/s  
流量20m深さ: 10.0m<sup>3</sup>/s  
流量25m深さ: 5.0m<sup>3</sup>/s

採水日と調査期間からの河川流域における降雨量

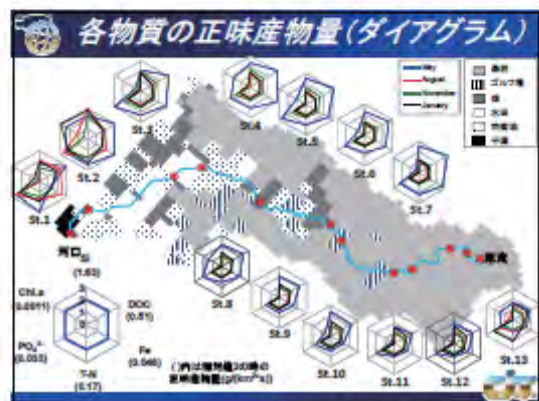
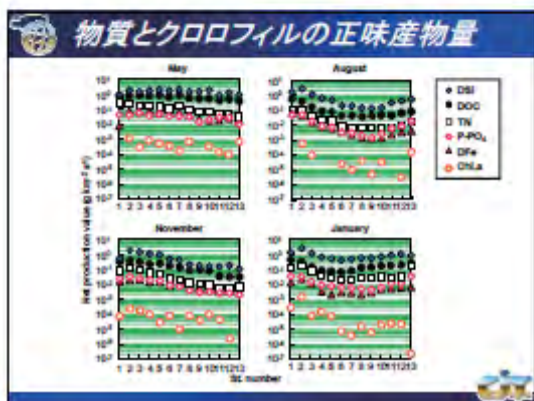
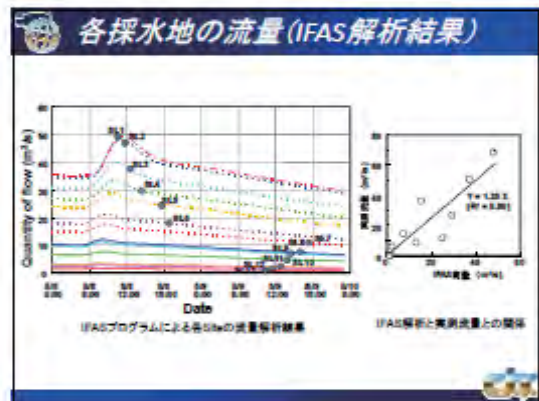
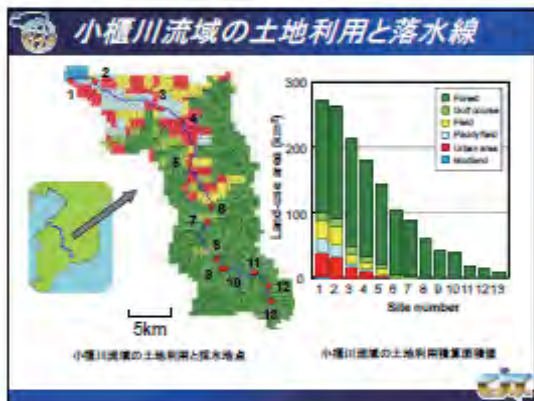
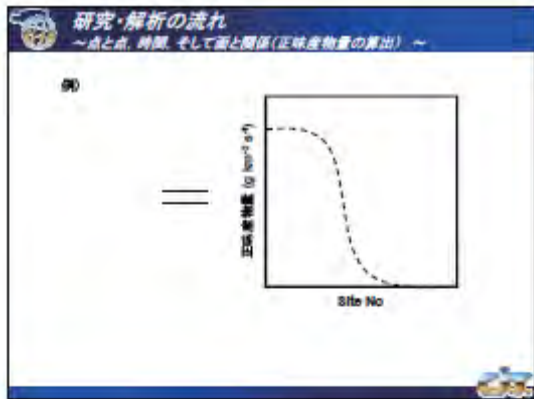
河川	水深	川幅	線流速	流量	水深	川幅	線流速	流量	
3月14日	0.0	0.0	0.0	0.0	10月20日	2.0	0.0	0.0	
2	0.0	0.0	1.0	0.0	21	0.0	0.0	0.0	
3	0.0	0.0	1.0	0.0	11月1日	20.0	20.0	1月1日	0.0
4	0.0	0.0	2.0	0.0	2	3.0	0.0	2	
5	40.0	01.5	21	0.0	3	1.5	0.0	3	
6	30.0	35.5	23	0.0	4	3.0	0.0	4	
7	4.5	12.5	23	0.0	5	3.0	0.0	5	
8	17.0	12.0	24	17.0	25	0.0	0.0	8	
9	0.0	0.0	25	0.0	26	0.0	0.0	9	

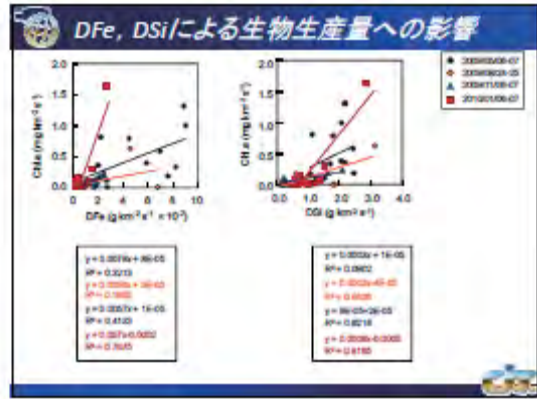
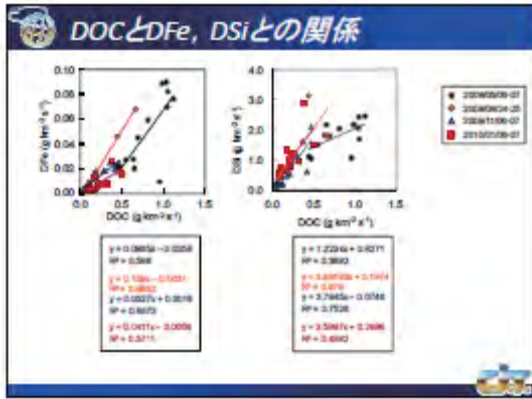
(黒瀬川)



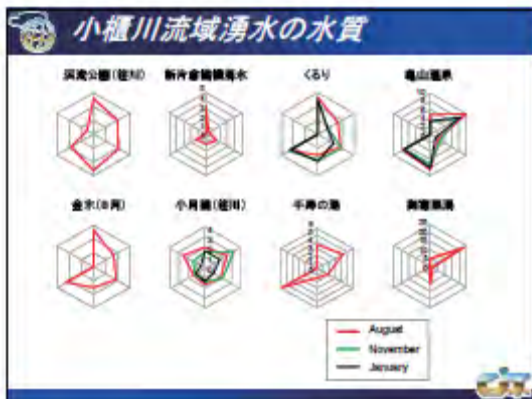
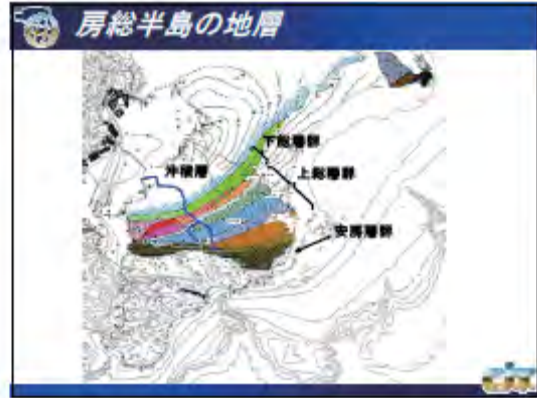


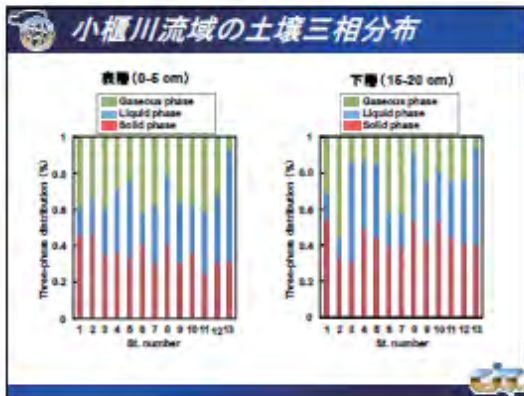
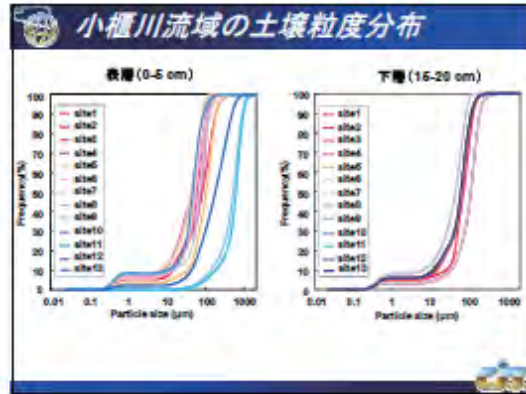
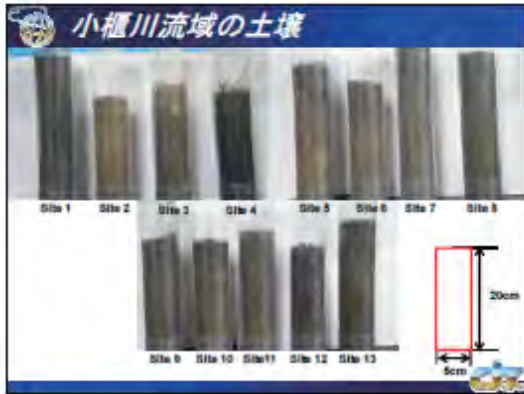






- はじめに
- 小櫃川の水質調査
- 小櫃川流域周辺の湧水・土壌調査
- Landsat衛星画像及び流出モデルを利用した地形・水文・土地利用解析
- 養老川の既存データを用いて小櫃川との比較分析





### 小櫃川流域の土壌元素組成 (表層)

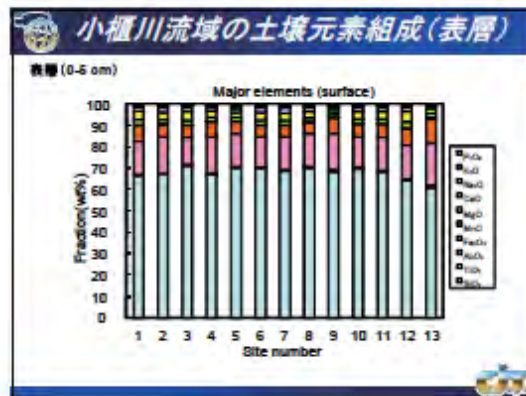
表層 (0-5 cm)

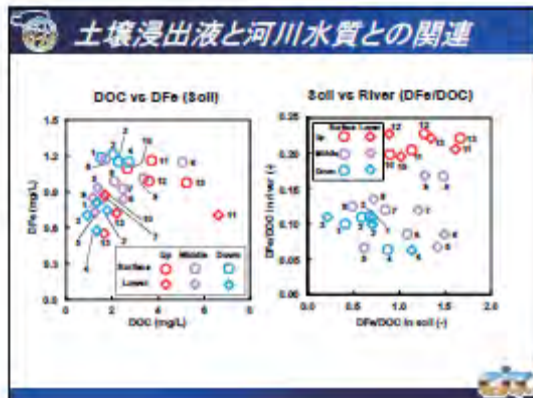
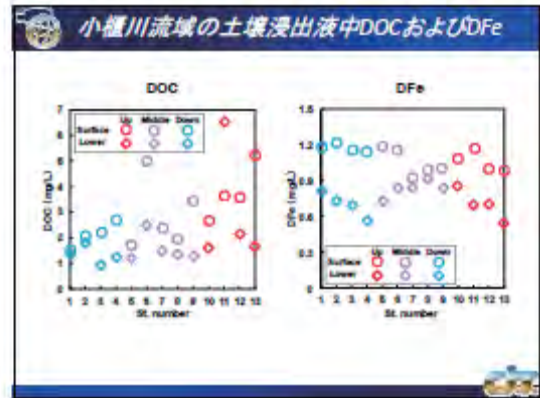
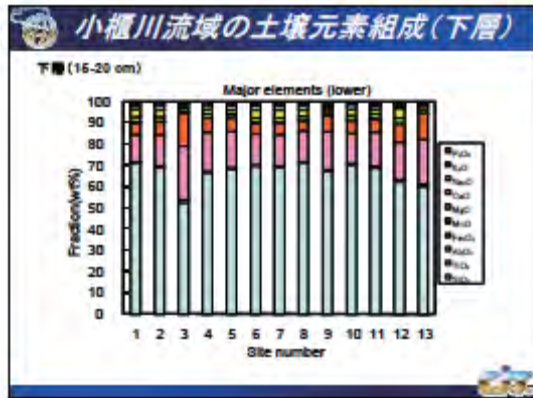
Site number	Elementary analysis (%)(d.a.f.)					Ash (%) (d.b.)	CFC	IWC	CIV
	H	C	N	O					
1	8.91	23.84	2.02	68.83	96.93	2.19	2.80	13.87	
2	7.99	17.93	1.82	72.86	97.70	3.95	5.08	12.93	
3	6.77	25.44	2.05	65.74	96.94	1.94	3.19	14.46	
4	6.31	20.25	1.71	71.73	96.26	2.86	3.74	13.83	
5	7.49	21.31	1.55	69.64	97.51	2.45	4.22	16.00	
6	6.42	17.76	1.79	74.04	96.11	3.13	4.34	11.83	
7	7.05	26.85	2.46	63.64	97.19	1.78	3.15	12.72	
8	7.82	18.28	1.80	74.21	97.83	3.43	3.88	11.83	
9	7.16	24.26	1.92	66.65	96.15	2.65	3.53	14.76	
10	6.97	27.30	2.62	63.11	97.02	1.74	3.06	12.17	
11	6.98	31.73	1.83	59.33	96.43	1.40	2.54	16.16	
12	6.54	35.03	1.81	56.82	96.19	1.22	2.34	27.06	
13	6.54	19.96	1.73	69.97	96.86	2.83	3.82	13.49	

### 小櫃川流域の土壌元素組成 (下層)

下層 (15-20 cm)

Site number	Elementary analysis (%)(d.a.f.)					Ash (%) (d.b.)	CFC	IWC	CIV
	H	C	N	O					
1	7.21	20.43	3.95	62.41	96.38	2.29	4.24	2.40	
2	7.57	15.82	1.87	77.04	97.88	4.28	6.73	8.44	
3	6.86	20.50	3.25	67.29	96.74	2.46	5.19	7.14	
4	7.43	13.78	2.58	76.20	96.43	4.15	6.48	6.22	
5	3.92	12.34	4.81	78.94	96.25	4.80	3.81	3.06	
6	2.27	12.26	14.14	71.33	96.30	4.37	2.23	1.91	
7	7.53	24.34	3.95	64.19	96.49	1.98	3.71	7.19	
8	8.07	13.71	4.11	74.11	96.61	4.96	7.07	3.89	
9	8.98	17.23	3.53	70.56	96.42	3.97	6.66	5.69	
10	10.42	16.28	5.99	65.30	96.61	2.65	6.65	3.56	
11	7.12	19.56	2.99	70.33	96.23	2.70	4.27	7.63	
12	8.01	21.43	3.10	67.46	96.21	2.36	4.49	8.07	
13	12.19	15.16	4.83	68.02	96.49	3.27	9.65	3.82	



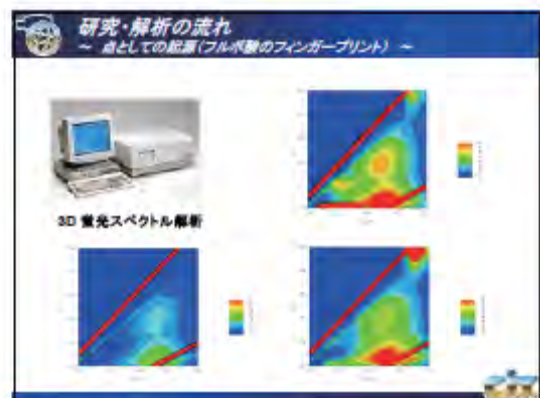
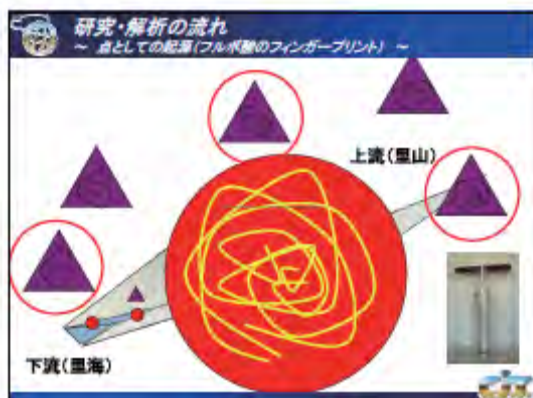


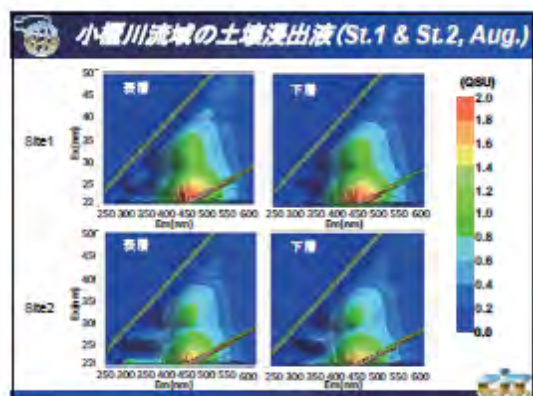
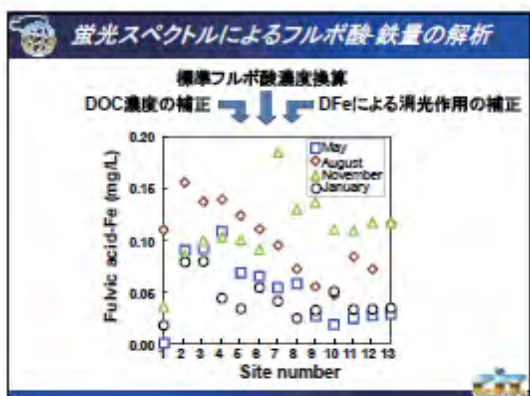
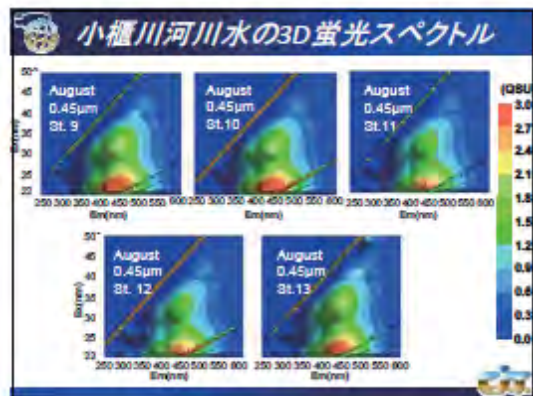
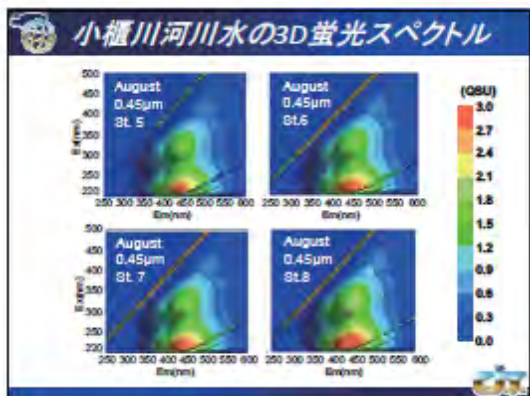
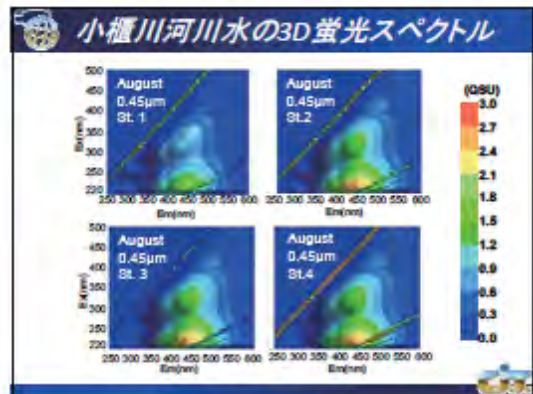
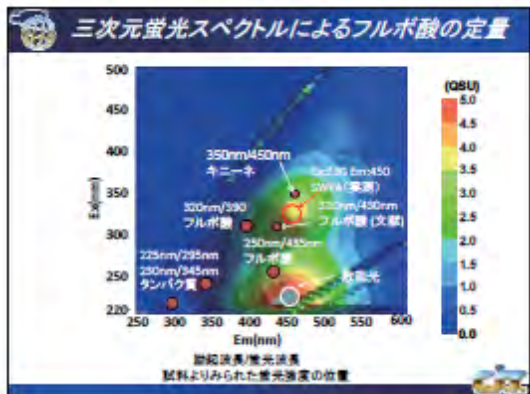
### 研究・解析の流れ

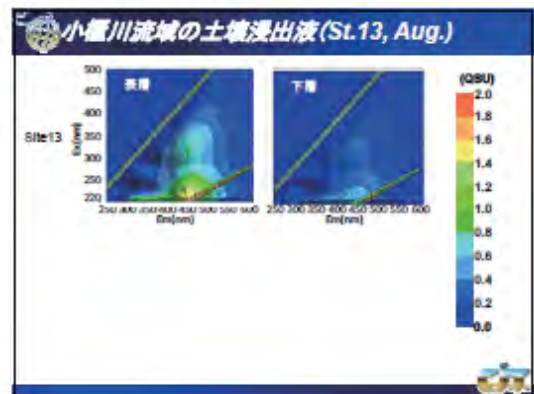
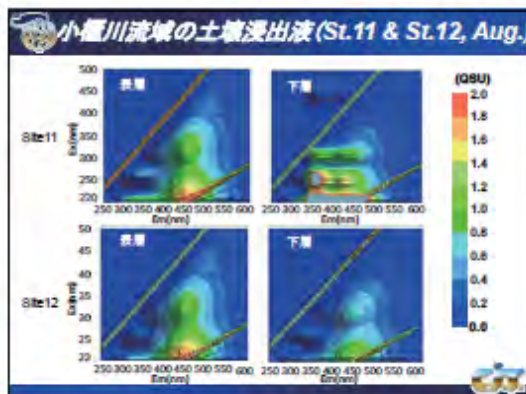
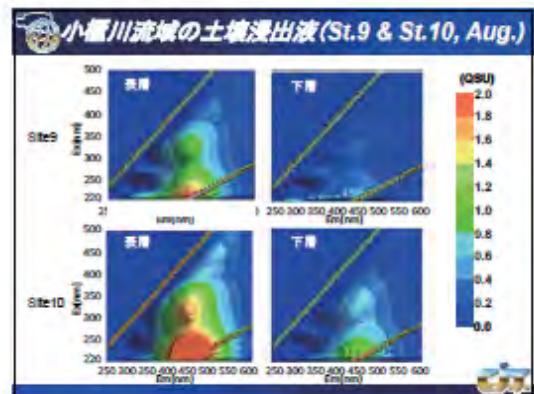
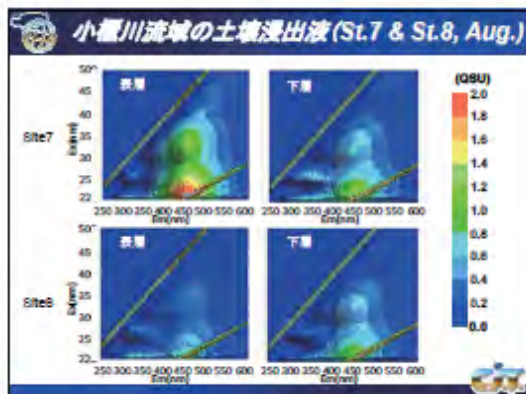
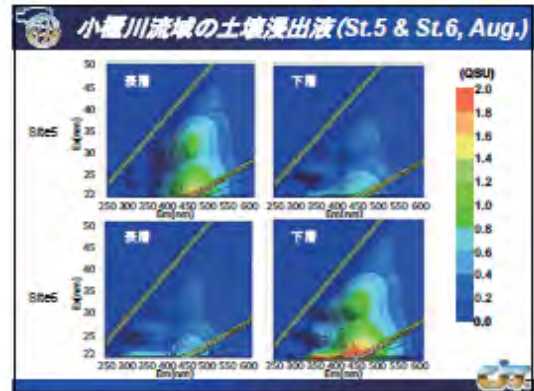
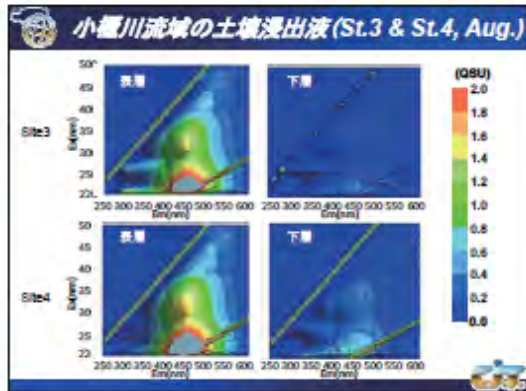
～ 点としての起源 (フルボ酸のフィンガープリント) ～

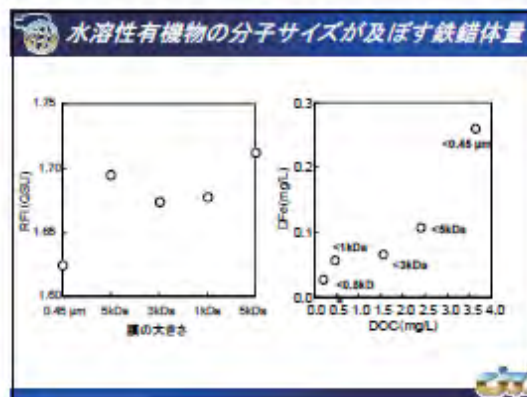
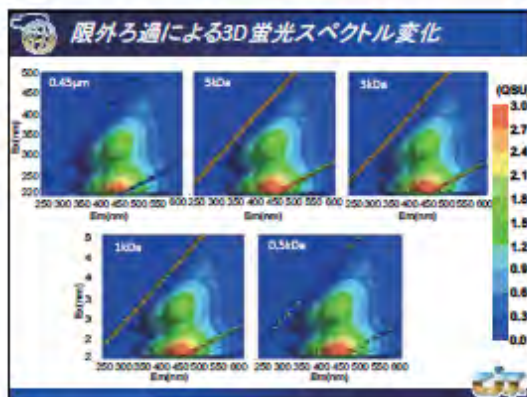
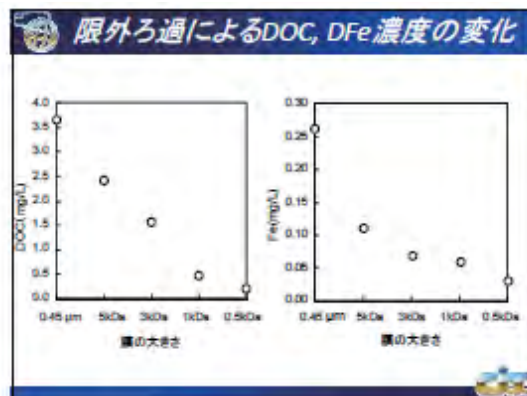
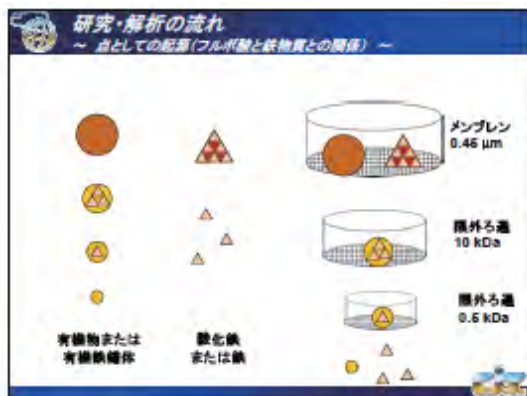
構造を決定するには  
十分な試料量と分析操作が必要

黒ボク土フルボ酸  
遷移泥炭フルボ酸

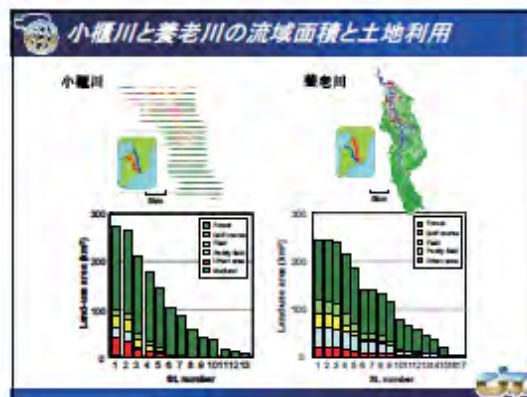


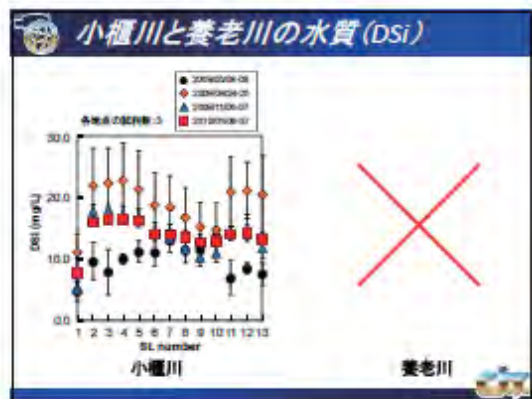
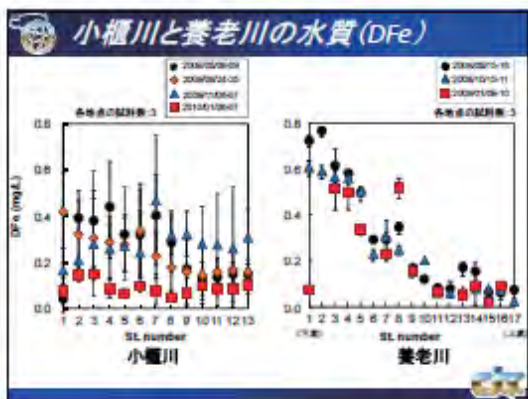
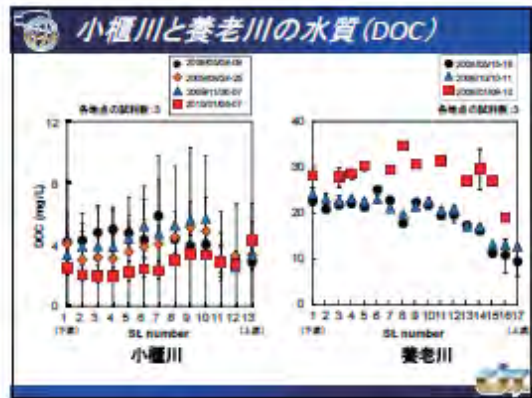
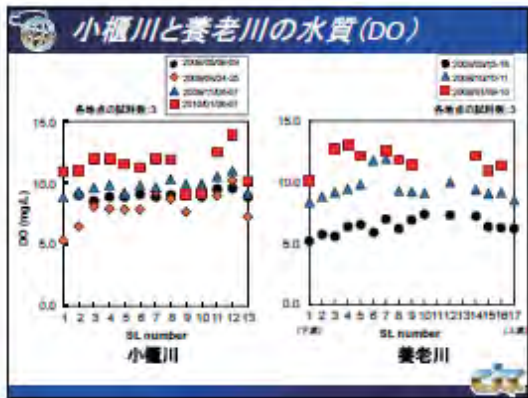
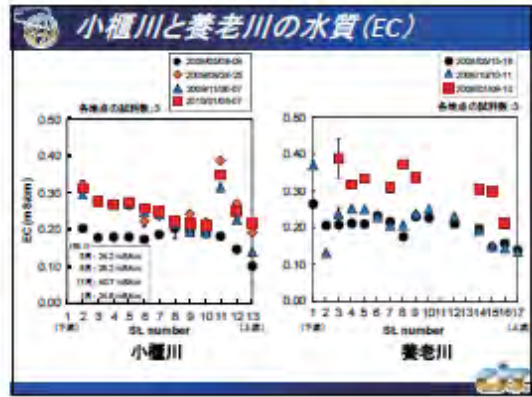
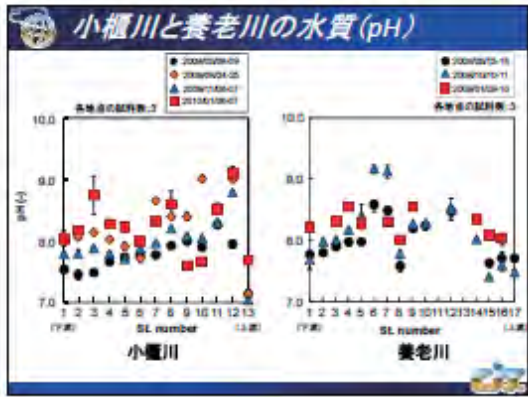




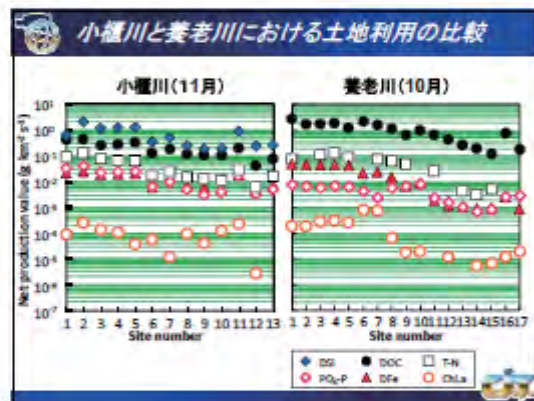
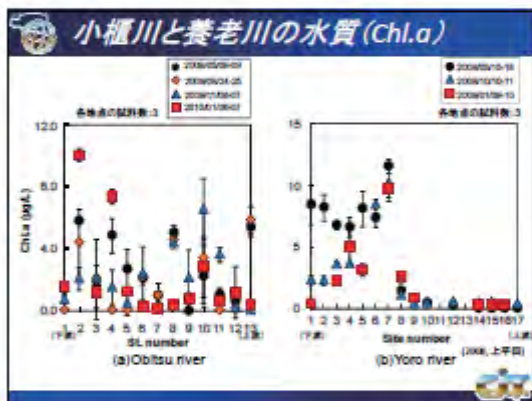
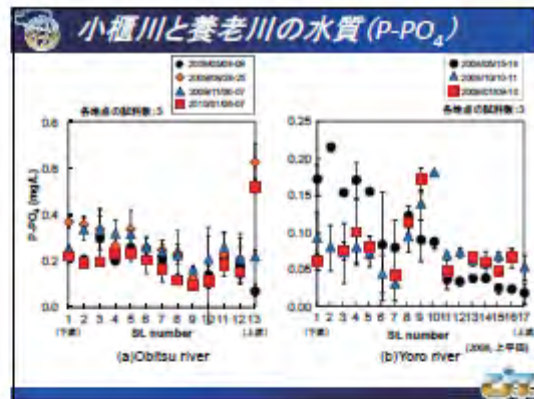
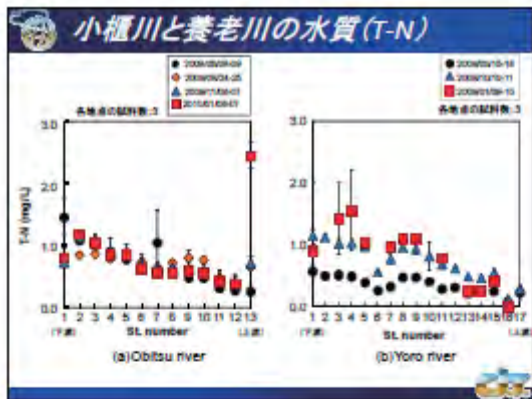


- はじめに
- 小櫃川の水質調査
- 小櫃川流域周辺の湧水・土壌調査
- Landsat衛星画像及び流出モデルを利用した地形・水文・土地利用解析
- 養老川の既存データを用いて小櫃川との比較分析









#### まとめ

- ・小櫃川流域の水質データ, 流出モデルより, 四季の物質およびクロロフィルの正味産物量を求めることができた。
- ・森林土壌で生産されたフルボ酸が鉄や珪素を溶解し, 特に秋季から冬季に顕著であった。
- ・小櫃川の正味物質生産量は養老川と同様の傾向があり, 森林域から多量の有機物(フルボ酸)と栄養塩を内湾に供給していることが示唆された。





平成 2 1 年度 海域と流域圏の相互作用に関する調査研究報告書

平成 2 2 年 3 月 発行

発行 海洋政策研究財団（財団法人シップ・アント・オーシャン財団）

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-15-16 海洋船舶ビル

TEL 03-3502-1828 FAX 03-3502-2033

<http://www.sof.or.jp> E-mail : [info@sof.or.jp](mailto:info@sof.or.jp)

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。ISBN978-4-88404-236-3