



宮崎県の河川「大淀川」の環境調査と教材化

メタデータ	言語: jpn 出版者: 宮崎大学教育文化学部 公開日: 2008-03-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 境, 幸夫, 吉田, 幹, 日高, 保, 岩本, 俊孝, 柏田, 洋子, 流田, 勝夫, 恵下, 斂, 隈本, 幸一, Yoshida, Miki, Imamoto, Toshitaka, Kashiwada, Youko, Nagareda, Katsuo, Kumamoto, Kouichi メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10458/1384

宮崎県の河川「大淀川」の環境調査と教材化

境幸夫・吉田幹⁽¹⁾・日高保⁽²⁾・岩本俊孝・柏田洋子⁽³⁾・流田勝夫
恵下敏・隈本幸一⁽⁴⁾

**A Survey of Areas along the Oyodo River in Miyazaki Prefecture and
the Development of Teaching Materials on the Environment**

**Yukio SAKAI, Miki YOSHIDA, Tamotsu HIDAKA, Toshitaka IWAMOTO,
Youko KASHIWADA, Katsuo NAGAREDA, Osamu EGE,
and Kouichi KUMAMOTO**

要 旨

環境教育のための生きた教材として河川を見直し、身近な地域を流れる河川（ここでは宮崎県の一級河川である大淀川）の環境調査等を生徒や学生あるいは教員と共に行い実践的に教材化していく試みを模索した。河川の調査については、現地に生徒や学生等と共に入り、理科の4領域（化学・生物学・地学・物理学）から、多角的な調査を行い、それぞれの分析的結果をまとめて立体的に把握する試みを行った。4領域から見た自然環境の特徴とそれらの関連性・共通性等を明らかにしていくことで、環境教育のための有機的・立体的な教材化をはかるためのワンステップが得られた。

We chose the Oyodo River, which is a first-class river in Miyazaki, as a teaching resource for environmental education. Focussing on the geographic and physical features and the environmental conditions of this river, research was carried out by staff from four scientific fields (chemistry, biology, earth-science, and physics) and students of the Science Course at Miyazaki university. We integrated the results of our studies to obtain a more realistic and organized understanding of this river. It appeared that this attempt was successful in making the students have more interest in environmental problems. Therefore, this study gave us the first step to design useful teaching materials for environmental education in our university.

-
- (1) 教育学部特理課程化学教室 (H10年卒)
 - (2) 教育学部特理課程化学教室
 - (3) 教育学部特理課程生物学教室 (H6年卒)
 - (4) 宮崎市木花中学校

1. はじめに

近年、地球的環境破壊が進行する中で、環境教育の重要性が強く叫ばれている。環境教育を充実させるには、地球的規模での教育的取り組みが必要であるが、それと同時に、そのことを理解するためにも、まずは身近な地域の環境を知り、環境への関心を高めていくことが重要であると考えられる。教育的効果を高めるためにも、生徒や学生と共に調査あるいは作業を行うことで、環境に対する関心をより高める効果も追求すると同時に、それらの結果を総合して生きた形での（自分たちで作る）教材化をはかることができると考えられる。

ここでは地域として宮崎県を流れる一級河川の大淀川に注目して、その化学的・生物学的調査・分析等を行うとともに、地学や物理学からも裏付けの調査・作業等を行った。実際の調査にあたっては、生徒や学生等と共に現場に行き、必要な作業を共同で行った。これらの試みを教材としてまとめていくことは、地域の環境教育にとって大切なことであり、重要な意義があると考えられる。

教育のための実践的教材として河川を見直し、教材化していくことを模索しているが、これまでに地学、化学あるいは生物学がそれぞれ単独で調査することはあったとしても、物理学も加えて自然科学4領域の調査が連携して行われる機会はそれほどなかったと思われる。ここでは4領域の調査が合同で行われ、有機的立体的に研究する形をとっている。

2. 化学からのアプローチ

(1) 大淀川の水質分析

一見して同じように見える河川水も、化学成分には大きな違いがある。小中学校の教員をめざす学生に馴染みの少ない化学分析を実体験する事により、第一に少しでも化学実験に対する親しみを持ってもらい、第二に化学の眼鏡で河川水を見るとそれぞれの河川水は異なったものであることを実感してもらう事を目的として、大淀川本流と、支流の一つである境川の水質分析を計画した。

大淀川は都城盆地南部の山麓に源を發し、都城市を貫流し、高崎町、高城町、高岡町を経て宮崎市に入り、日向灘に注ぐ県の中心的河川である。流域の人口も多く、人間生活との関わりも深いだけに汚染されやすい環境にあるといえる。一方、境川は田野町、山之口町を経て高岡町で大淀川本流に合流する河川であり、山間部を流れるため、人的汚染の少ない河川の一つと考えられる。この二つの河川水を分析して、水質の違いを確認し、あわせてその原因について若干の考察を行った。

(2) 分析項目と分析法概説

今回の水質分析の目的は、異なる河川水の水質の違いを調べるのが主目的である。そこで分析項目として、誰にでも容易にかつ短時間に分析できるという観点から、電気伝導度、 H^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 及び Cl^- 、 NO_2^- を選定した。このうち水素イオンと電気伝導度は、採水現場で測定可能である。また、河川水の人的な汚染度を明らかにするため、亜硝酸イオン濃度の測定を行った。

○陽イオン； H^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} を分析する。

H^+ ；ガラス電極を用いる pH メーター測定法

特殊なガラス薄膜を隔てて、水素イオン濃度の異なる 2 つの溶液をおくと、水素イオン濃度差に応じた起電力が発生する現象を利用して水素イオン濃度を測定する。

Na^+ 、 K^+ ；炎分光分析法

炎中でそれぞれの元素から発せられる元素特有の波長の光の強度を測定することにより、濃度を決定する。

Mg^{2+} 、 Ca^{2+} ；原子吸光測定法

炎中で生成する Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 原子に、一定量の特定波長の光を当てると、その濃度に応じて吸収される光が多くなる現象を利用して濃度を決定する。

○陰イオン； 人的な汚染の尺度となる Cl^- と NO_2^- を分析する。

Cl^- ；塩化物イオン電極法

塩化銀の溶解度は溶液中の Cl^- 濃度によって変化する。この溶解度変化に伴う銀イオンの濃度変化を銀電極を用いて起電力の変化として測定することにより、間接的に塩化物イオン濃度を決定する。

NO_2^- ；GR 試薬（ α ナフチルアミン、スルファニル酸、酒石酸の混合粉末）を用いる分光分析法

亜硝酸イオン 1 個が特定の有機試薬と反応して、1 個のアゾ色素分子ができる反応を利用する。最終的に溶液の赤色の濃さを測定して亜硝酸イオン濃度を決定する。

○電気伝導度；電気伝導度計を用いる。

電解質を多く溶かしている水溶液ほど電気を導きやすく、伝導度を測定することにより電解質の濃度に比例した値が得られる。

これらの分析法は、いずれも機器分析であり標準溶液を準備しておけば短時間に分析することができる。また、水素イオン濃度（pH）と、電気伝導度は市販の安価な測定器を使い採水現場で測定できる。

(3) 結果と考察

境川と大淀川本流の轟ダム及び高岡町花見橋付近の 3 カ所で 1997 年 11 月 8 日と 11 月 15 日に採水し分析をおこなった。轟ダムは境川と大淀川の合流地点の上流に、花見橋は下流に位置する。具体的な取水地点（地名）は 4. 地学からのアプローチの図 4-1 (3) 中に示してある。結果を表 2-1 に示す。

本流 2 カ所の分析値はほぼ同じ値を示しているが、境川の分析値とは明らかに異なっているのが分かる。伝導度は境川が $146 \mu s/cm$ あるのに対して、本流はいずれも $210 \mu s/cm$ と境川に比べて大きな値を示し、本流の電解質濃度が大きいことを示唆している。実際各イオンの

表2-1：轟ダム、境川、花見橋での採水と分析

	pH	伝導度	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₂ ⁻
轟ダム	7.2	210	4.9	12.0	7.9	5.5	8.3	0.086
境川	8.4	146	2.4	10.4	6.9	3.9	6.4	0.001
花見橋	7.6	210	4.7	11.9	3.9	5.8	7.9	0.060

分析値を見ると、いずれの値も境川より本流で高い値を示し、伝導度の結果を裏付けている。塩化物イオン濃度は、人的汚染の示す指標イオンの一つと考えられるが、境川が6.4ppmであるのに対し、本流は約8ppmと幾分高い値を示している。亜硝酸イオンは、アンモニアが酸化される過程で生成するイオンであり、汚染度を示すイオンの一つと考えられるが、境川が0.001ppmであるのに対し、轟ダムでは0.086ppm、花見橋では0.060ppmと明らかに高い値を示している。流域人口の差、あるいは河川の利用度の差が亜硝酸イオン、塩化物イオンの濃度差として現れたものと推察できる。

この点を明らかにするためには、これらの河川の上流から下流にかけての一連のサンプリング（採水）と分析が必要である。表2-2は、大淀川源流に近い鹿児島県の郷と都城市上流の今町、都城市内の松元町、平江町及び都城市下流の王子橋で採水し（図4-1（3））、分析した結果である。

表2-2：南の郷、その他の地点での採水と分析

	pH	伝導度	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₂ ⁻
南の郷	7.2	85	4.3	8.0	3.7	2.1	5.0	0.002
今町	7.6	179	4.8	10.0	4.3	2.4	6.5	0.056
松元町	7.3	180	5.3	14.4	5.3	3.0	11.3	0.069
平江町	7.6	177	4.3	10.7	7.9	4.0	11.9	0.042
王子橋	7.2	190	4.8	12.6	6.2	4.4	9.7	0.064

電気伝導度の単位は $\mu\text{s}/\text{cm}$ 、各イオンの濃度は河水水1ℓあたりに含まれるmg（ppm）である。

南の郷と今町の結果を見比べると、伝導度は倍増、亜硝酸イオン濃度は約30倍増加しており、大淀川の水質は源流に近い地点で早くも悪化している事を窺わせている。都城市内（松元町、平江町）に入り、ナトリウムイオンや塩化物イオン濃度が急増する。この原因もおそらく生活排水等の汚染によりのものであろう。

すべてのイオン中、カリウムイオン濃度だけが源流から高い値を示しており、カリウムイオンが境川との本質的な違いを示す元素と考えられるが、その原因（河床を形成する地質、岩石の違い等）については現段階では不明である。

短時間に多くの個所で採水、分析そしてデータの解析をする事は不可能であるが、河川水が同じように見えてもそれぞれの河川には、自然環境の違い、人間との関わりの違いを反映して化学成分がそれぞれ異なっていることを確認するだけでも意義のあることと思われる。

3. 生物学からのアプローチ

(1) はじめに

大淀川は宮崎県の2市、都城市と小林市の生活・企業廃水を集め、最後には宮崎市を通過する。かつては、九州の一般河川の中でワースト2に入ると言われるほど、有機汚染が進んでいた。現在は多少改善されているようだが、いぜん下流部で水遊びをしようという気持ちは湧かないほどの汚れである。この大淀川の水質が今後改善されるか否かは、流域住民・行政の意識にかかっているが、その意識をおおいに改革する必要がある。宮崎市も大淀学習館などを建て、意識改革につとめている。

教員養成系学部の卒業生は、将来教師となり、環境の大切さ・保護の重要性を次の世代に直接伝える現場で働く。その意味で、学部学生の環境保護への意識を高め、汚染や破壊の程度を比較的簡単に測定できる方法論を身につけさせておくことは、環境教育上、大変重要な鍵である。その方法論は将来教育現場で生かされることになる。

その点、河川汚染に関しては良い教材がある。特別な機器や道具を使わず、生物を調べて汚染の実態を知る手段である。これを生物指標と呼ぶが、河川の場合は特に水生昆虫相がそれに当たる。水生昆虫とは、幼虫期に河川で生活する昆虫類を総称するが、狭義にはカゲロウやカワゲラの仲間を指す。従来、これらの仲間はすみわけの研究で注目されて来たのであるが、最近では汚染への弱さを利用して、汚染指標生物として重要視されるようになってきた。

このような中、本研究でも、教員養成教育の一環として、大淀川の汚染と水生昆虫相との関係を調べたので、ここに報告する。

(2) 調査方法

調査は1994年4月中旬に行われた。大淀川の源流部から下流部に渡って9地点の水質及び水生昆虫のサンプリングを行った(図3-1)。調査地点の物理的・化学的特性として、水温、流速、塩分濃度、導電率、濁度、容存酸素量、化学的酸素要求量、PH、アンモニウムイオン濃度などを調べた。水生昆虫のサンプリングは、底面42cm×30cm、高さ20cmの金網採集用具を使い、底面の面積に相当する河床部分の砂礫を集めて、その中の水生昆虫をすべて採集するという方法で行った。昆虫類は3%ホルマリン溶液に保存し、研究室に持ち帰って同定した(川合禎次、1985)。

水生昆虫の多さは、総個体数、種数、森下の β 指数、パントル・バックの汚濁指数、バック・ツグの生物指数(津田松苗、1962)で評価された。 β 指数は以下の式で示される。

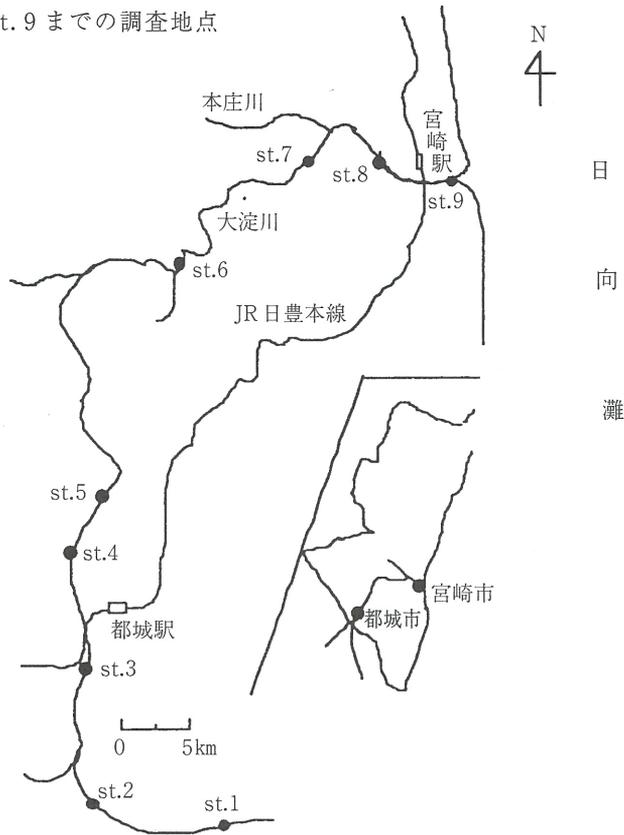
$$\beta = 1 / \lambda, \quad \lambda = \sum n_i (n_i - 1) / [N(N - 1)]$$

ここでNは各地点で発見された全個体数、 n_i はi種の個体数である。 β 指数は群集の複雑さの度合いを示すのに使われる。汚濁指数は次の式で表される。

$$S = \sum (s_i / h_i) / \sum h_i$$

s_i は汚濁階級で、各種について4段階評価された値が与えられる。 h_i は各種の出現頻度でこれも4段階評価される。 $S < 1.5$ 以下は清冽、 $1.5 \leq S < 2.5$ は β 中腐水性、 $2.5 \leq S < 3.5$ は α 中

図3-1: st.1 - st.9までの調査地点



腐水性、 $3.5 \leq S$ は強腐水性と判断される。

生物指数は $2A + B$ で与えられる。ここで、 A は汚濁に耐えられない種数、 B は汚濁に耐える種数を示し、指数が $20 \leq 2A + B$ では貧腐水性、 $10 \leq 2A + B < 20$ では β 中腐水性、 $5 \leq 2A + B < 10$ では α 中腐水性、 $2A + B < 5$ 以下は強腐水性と判断される。

(3) 結果

表3-1に得られた全測定値を示す。流速は上流部で速い。塩分濃度はst.9で0.04%と測定された。導電率は下流部ほど上がり、st.9で最高値を示した。濁度も下流部ほど上がる。特に河川改修工事のため、st.8が最も濁っていた。容存酸素量は下流部より中流部で低い。微生物による低酸素化が進んでいる。化学的酸素要求量は、有機物の化学的酸化に必要な酸素量であるが、st.8を除いて下流部で高くなる。有機物の絶対量は下流部で増えている。

水生昆虫の総個体数、種数ともに下流部にいくに従って減少する。特にst.5からの減少が著しい。それは都城市の下流に当たる。 β 指数はst.4、5付近で有機汚染のため一旦落ちるものの、st.6、7辺りで再度増加する。これは、野尻側からの支流との合流が影響している可能性がある。汚濁指数はst.4、5付近で一旦増加し、少し減少した後、st.9で再び急に高くなる。逆に、生物指数はst.3、5で一旦大きく下がり、st.6で持ち直した後、st.7-9へと急に減少する。

表3-1: 大淀川水質及び水性昆虫調査の結果

調査地点	調査開始時刻	水温 ℃	流速 m/s	塩分濃度 %	導電率 μ	濁度 度	容存酸素 mg/l	COD ppm	pH	NH ₄ -N ppm	総個体数	種数	β 指数	汚濁 指数	生物 指数
st.1	9:40	12.7	0.78	0	0.06	4.0	8.7	0	7.0	0	98	13	5.08	1.20	24
st.2	11:30	14.5	0.53	0	0.08	5.0	8.2	0	6.9	0.5	114	12	4.31	1.33	20
st.3	13:50	10.2	0.53	0	0.11	10.5	8.3	0	6.8	0.5	86	8	2.77	1.46	11
st.4	14:50	17.1	0.55	0	0.11	19.0	8.5	0	6.8	0.3	100	12	3.19	1.41	17
st.5	11:40	14.3	0.41	0	0.11	19.0	8.1	3	6.7	0.3	54	6	2.59	1.56	8
st.6	15:20	14.8	0.28	0	0.11	23.5	8.2	3	7.0	0.3	35	10	5.00	1.46	16
st.7	16:25	16.0	0.45	0	0.13	49.5	9.4	7	6.8	0.3	15	6	5.00	1.29	10
st.8	8:45	14.9	0.11	0	0.13	54.0	8.9	0	7.0	0.3	20	3	1.24	1.25	5
st.9	10:15	17.0	-0.44	0.04	1.04	35.0	8.3	10	7.1	0.3	3	2	3.00	1.50	3

(4) 考察

これらの結果を総合すると、大淀川について以下のような汚染の実態が明らかになる。下流部の有機汚染は仕方がないにしても、都城市を過ぎてからの有機汚染がかなり明確で、溶存酸素量の低さ、β指数で代表される水生昆虫相の貧弱さ、汚濁指数の上昇、生物指数の減少などが相関して現れている。特に都城市を通過した後のst.4、5付近の水質がとくに良くない。都城市を通過した後、大淀川は急流となり、平野部に出る寸前に野尻側からの水系と合流する。この付近には畜産関係の施設が多く廃水にも有機物が混ざるが、急流などのせいで水生生物の生息環境は多少改善される。高岡町付近のst.6、7では水生昆虫相もある程度複雑になる。しかし、st.8、9は再び悪化する。もちろん、st.9には海水の影響が現れる。

物理的・化学的特性と生物相との間の相関関係を調べた所、高い値を示したのは次のペアであった。総個体数と濁度-0.857、種数と流速0.841、生物指標と流速0.828、総個体数と流速0.815、種数と濁度-0.772、総個体数とCOD-0.759、生物指標と濁度-0.728、汚濁指数と容存酸素-0.726。とくに総個体数が物理的・化学的特性と高い相関を示す。種数も流速や濁度などと相関が高い。逆に、物理的・化学的特性で生物指標とよく相関するのは濁度と流速である。大淀川の場合、濁りは有機物の濁りを意味する。また流速が速くなると生物相は多様になることが分かった。今後、生物相へ真の圧迫を表すのはどの生物的指標か、またそれと強い相関を示す物理的・化学的特性はどれかなどについての研究が必要である。

また、教材との関連では、物理・地学分野での流速や砂礫のサイズなどと生物相との関係を今後詰めて行く必要がある。化学分野とは、容存酸素、COD、アンモニウムイオン濃度のより正確な測定値を得るための協力、さらにそれぞれの水質の化学的測定値が実際に生物の生活のどの部分に影響しているのか、などを知るための共同研究が必要である。

(5) 文献

- [1] 川合禎次 (1985) 日本産水生昆虫検索図説。東海大学出版社、1-409。
- [2] 津田松苗 (1962) 水生昆虫学。北隆館、1-269。

4. 地学からのアプローチ

(1) はじめに

地球規模、あるいは、それよりも小さいが種々のスケールでの局所的な気候・地殻変動と連動して、その時代・時代の陸地を形成している地質分布を、その場所に発達した河川（氷河）が浸食・運搬・堆積という三つの作用を複雑に絡み合わせて行うことによって、その当時の主たる地形が形成される。このため、現時点での地形が、どれほどの期間を遡った過去の地形を引きずった形で、作り上げられてきたかという問題は、分布している地質や、被った気候と地殻の変動などを十分に検討しないかぎり、その解答を見いだし得ない。

しかしながら、局所的な地形がそこに分布する地質構造をかなりの程度に忠実に反映している場合や、現在の河川が、数十万年のオーダーのそう遠くない過去から現在までの間に、流域地形を作り上げてきたという単純な仮定を行こなえる場合には、流域地形の特徴を詳細に調査し、その結果から逆に、大雑把ではあるが、調査地域の地質構造やそこを流れる河川作用の変遷過程を類推することができるであろう。こうして、我々が生活している身近な周辺の地形環境が、人間活動の期間に比べてはるかに長い時間をかけて、ゆっくりと作り上げられてきたこと、および、そのために、地形、地質、気象などの環境、とりわけ、地形環境の激変を緩和する働きを持った生物環境などに逆らわないで、これらの環境の下に適応した人間活動を営んでいく必要性を知ることが、環境教育の第一段階を形成することになるであろう。

このことを行うためには、諸処の地形環境を調査し、それらを比較検討して、可能ならばそれらを時系列の順に並べ、どのような原因や機構の下で地形環境の変遷が行われるかを明らか

図4-1(1)：大淀川水系図とその分布する1/50,000地形図の名称



図4-1(2)：大淀川水系図とその領域内および境界に位置する代表的な山峰



にする必要が生じる。比較検討を行うためには、先ず、現在の地形を数量的にも視覚的にも正確に把握する必要があり、そのための手法を修得することがその第一歩となるであろう。この場合、一つの河川の水系が有する河川の3作用が総合的に働いて地形を変化させるので、水域の流域地形を一つの地形単位として捉えた方が理解がしやすいと考えられる。

参考のために、図4-1には、1/50,000の地形図を基に作成した大淀川水系の全図が掲げられている。

図4-2には、その支流である境川に対して、1/50,000の地形図を基に作成した集水域図および境川とその支流とに注ぎ込む発達した谷々から成る水系図を与えている。水系図によると、支流に注ぐ小谷の発達、境川の西側の地域に密に発達しており、樹枝を広げる形でより小さな谷を次々に分岐させている。これらの発達パターンは、県内部の多くの泥岩質の山地で発達している谷の系の様相と類似している。一方、境川の東側の田野地区ではかなりの程度に開析が進んだ広い谷幅を持つ谷々が発達し、阿蘇外輪山の山麓に発達する火砕流堆積台地に特有な谷のパターンに類似している。しかも、そのパターンから、谷々が広い火砕流の堆積原面をより小さな面積の台地へと分割・縮小しつつあることが窺える。

図4-1(3)：大淀川水系図内の主な支流の名称と集水域境界の代表的な高度(m) および、本文中の「化学からのアプローチ」のサンプル取水地点

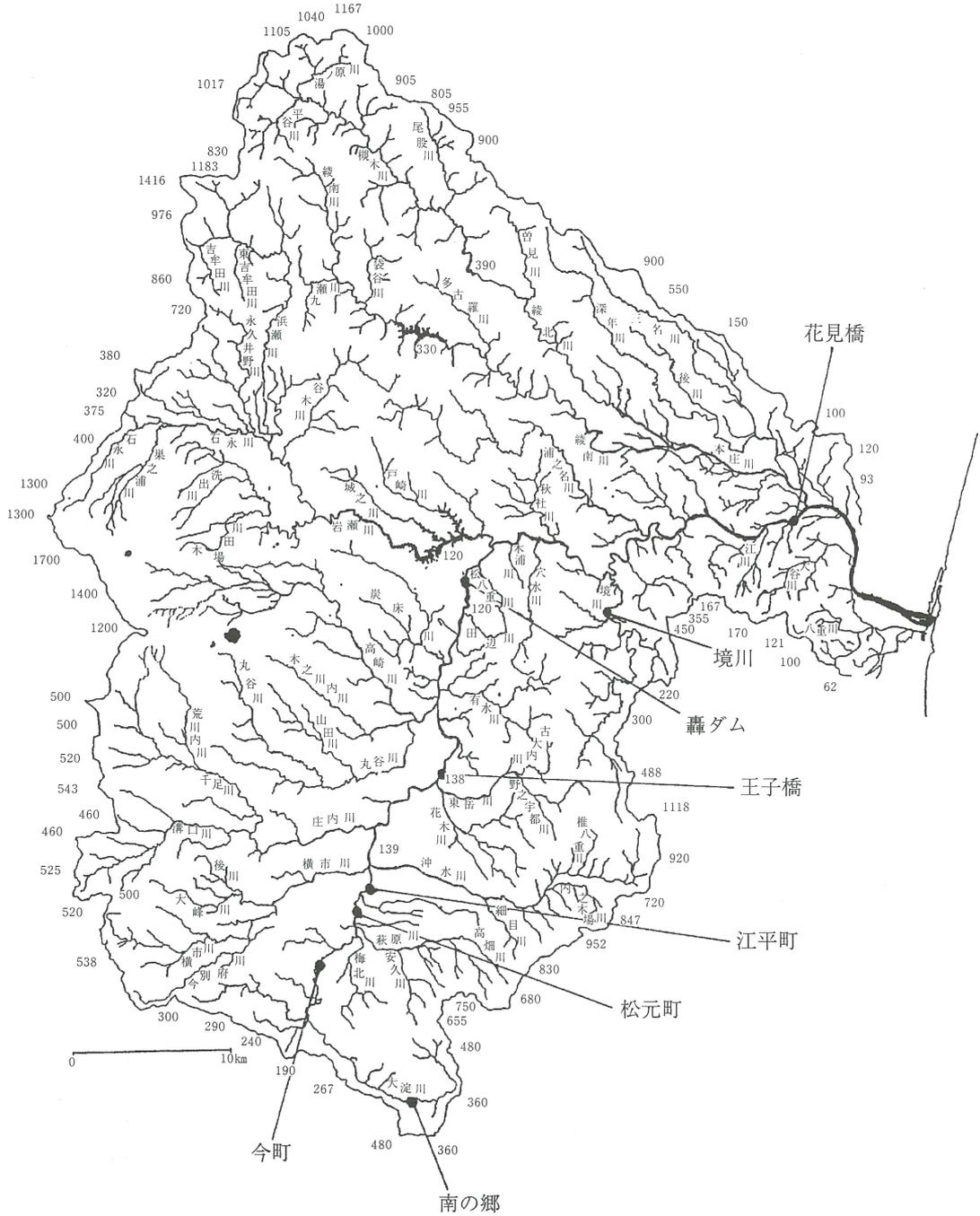


図4-2：境川の集水域図



(2) 縦断曲線と河床勾配曲線

図4-3には、1/25,000地形図を用いて描いた、境川とこれに注ぎ込む主な支流河川の縦断曲線とその河床勾配曲線とを与えている。境川は北諸県郡三股町の天神山(907m)と雪が峰(853.1m)との間に位置する小峰(810m)の近くを源流地点とし、大淀川に向かってほぼ北流する。この間、山之口町青井岳集落から下流では、角張った形状で半波長が約1km前後で1km弱の振幅の蛇行流路といくつかの蛇行頂部での強い曲流とを示し、このため源流地点から大淀川への合流地点までほぼ17kmの直線距離を約27kmに及ぶ長い流路長を有するようになっている。しかも、境川に流れ込む小さな支流や比較的大きな谷々は境川の中流部以降に集中しており、蛇行頂部に注ぎ込む傾向を有している。しかしながら、この蛇行の原因調査は行っていない。

また、縦断曲線図によると、最上流部と最下流の大淀川への合流部との高度差は約550mであり、境川の平均勾配は 1.17° となる。さらに、河床勾配曲線図から、その縦断曲線には数多くの遷移点が存在し、特に最上流部から4kmまでの流路長の部分には際立った遷移点が4カ所、9kmの位置に1カ所が見いだせる。加えて、この下流側には小さな勾配変化を示す遷移点がほぼ4km間隔の周期で4カ所に存在する。こうして、下刻作用に関して、境川は十分に安定化した川床

には未だなっていないことが判る。さらに、下流部の縦断曲線の大略的な振る舞いはほぼ直線的であり、河川の3つの作用が河川として平衡の状態である場合に対応する指数関数的な減少曲線では近似できない。つまり、境川自身は、全体として、浸食作用とその碎屑物を運ぶ運搬作用が主に行われていると考えられる。

図4-3(1): 境川の縦断曲線図

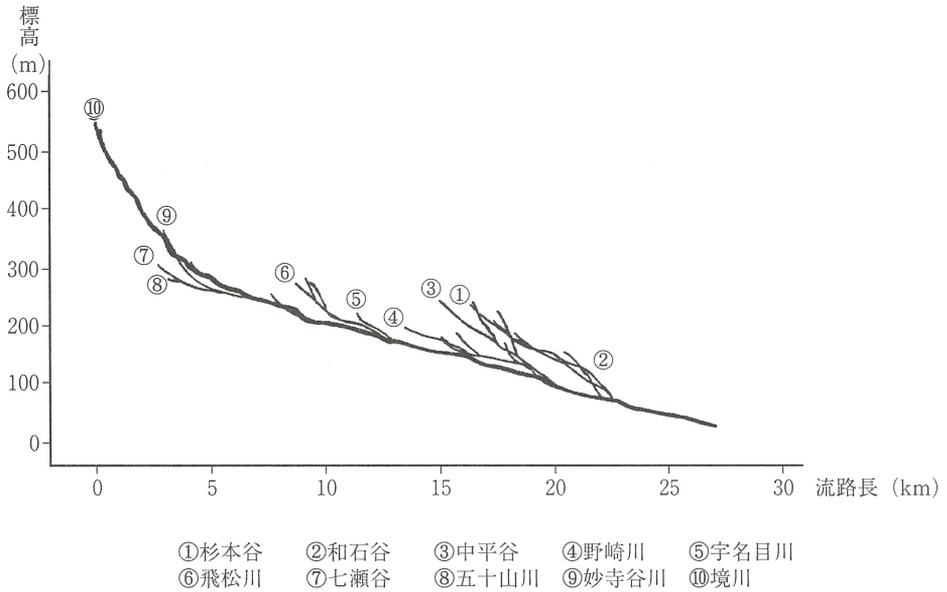
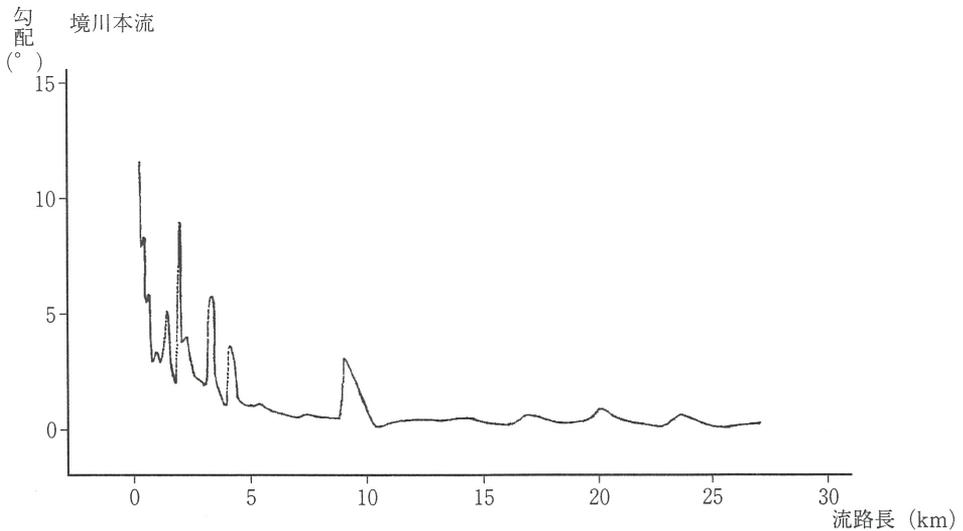


図4-3(2): 境川の河床勾配曲線図



上流側に注ぎ込む支流の五十山川と妙寺谷川の縦断曲線は、境川の縦断曲線よりも低く位置する特徴を持つ。これは、この2つの支流河川および境川の西側から浸食する大淀川本流の源流に近い東岳川と古大内川との河川が、共同して東西両側から強い浸食作用を行い、それらの分水嶺である尾根筋の高度をかなり低くしてしまったためであると考えられる。

(3) 傾斜区分図

図4-4(文末に添付)には境川集水域の地形全体の傾斜区分図を与えている。1/25,000地形図上に描かれた等高線の群に対して、地形の傾斜 θ を、① $\theta < 3^\circ$ (赤色)、② $3^\circ < \theta < 8^\circ$ (橙色)、③ $8^\circ < \theta < 15^\circ$ (黄色)、④ $15^\circ < \theta < 20^\circ$ (黄緑色)、⑤ $20^\circ < \theta < 30^\circ$ (モスグリーン)、⑥ $30^\circ < \theta < 40^\circ$ (緑色)、⑦ $40^\circ < \theta$ (濃紺色)の7つに区分し、それぞれの区分地域に疑似カラーを付与した。

従来、山地には茶色系の濃淡色でもって、しかも、高度の値の異なる隣接した2つの等高線の間を等高線に直角な方向の傾斜を測定し、ある適当な広さの領域での傾斜の平均値でもってその領域の地形の傾斜を表示することが多く行われてきた。このため、地形図上に茶色で疎らに色付けされた傾斜区分図でもって、そこでの地形を推測することは非常に困難である。特に山地や台地の付近では水系が描き込まれていないので、そこでの河川や谷々の発達形態が不明であるという欠点を持っていた。しかしながら、大きな河川の河口部の平野を除けば、九州に分布する比較的緩い傾斜地である台地には古い時代の扇状地起源のものや火山堆積物起源のものが多く、それらは畑地に利用されている場合が多い。他方、山地は比較的急傾斜であり、(活動的な火山の山体を除けば)殆どが森林に覆われている。このため、傾斜が緩やかである台地には傾斜の度合いに応じて暖色系の列(赤、橙、黄、黄緑)を示す色を、山地など傾斜がより急であるほどより寒色系の列(モスグリーン、緑、濃紺)を付加するようにし、視覚化に際して現実の台地や山地とのイメージの対応を捉えやすくした。

さらに、この傾斜区分図の作成にあたっては、地形とは地表を覆う複雑な曲面であり、一般に曲面の勾配は互いに直交する方向の二つの微係数で表現できることに注意して、主要な尾根に沿った方向の傾斜と、それに直交する山腹斜面の傾斜とに分けて傾斜区分を行った。このとき、尾根に沿って伸長している個々の等高線の末端部の曲率の度合いに応じて、尾根幅の広さを表現するようにした。さらに、山腹斜面に関しては、尾根近くまで発達する小さな谷を含めて一般に樹枝状の形態を示す個々の谷の系が、河川流路に注ぎ込むまでの状況を残しておき、谷を挟んで両側にあるそれぞれの山腹斜面の傾きの度合いを区別できるようにした。この手法による傾斜区分図の作成によって、主要な尾根の伸長方向やそれに沿う尾根幅の変化、谷の系の発達状況、谷が形作る斜面勾配の分布状況、小さな尾根の末端の山体形状、および尾根に沿って高い場所にある緩斜面(古い時代の山麓面の痕跡)、とりわけ、緩く傾斜した砂岩泥岩互層の浸食地形が作り出すケスタ・タイプの地形や浸食に弱いために特徴的な樹枝状形態を呈する火砕流堆積物台地などが判読でき、地形に関する衛星画像あるいは航空写真が与える印象にかなり近い描画像が得られた。作成した傾斜区分図は、衛星画像よりも小さな縮尺であるために、より詳細な地形が判読できる。さらに、航空写真による立体視ほどは高度差が際立たないために、より実視に近い俯瞰的な地形が認識できる。

ここで作成した傾斜区分図によって大雑把な地質構造を推測できるが、当然のことながら、地層境界の正確な位置および地層を構成する岩相などは、現地での地質調査を行わなければなら

ない。

この傾斜区分図作成の詳細な手法を述べておく。

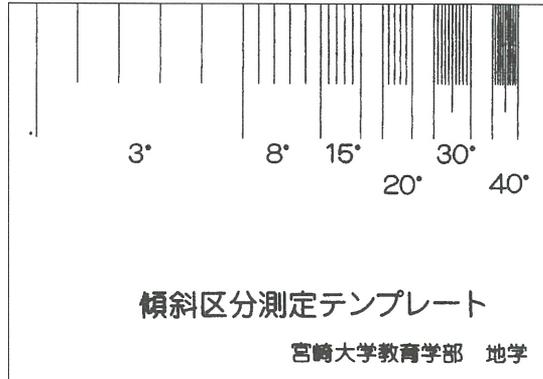
傾斜区分図作成の前段階として、集水域図と谷系図を作成しておくことにより、本区分図の作成作業の進行速度を早めることができる。図の作成は、地形図の等高線の群の上の相隣る2つの等高線の間隔に専用の傾斜区分テンプレートを滑らしながら当てがい、その間隔に対して傾斜区分ごとの色を地形図に付加してゆくことによって行われる。このテンプレートは、厚さ0.25mmの合成樹脂のフィルムに、傾斜区分に対応する間隔に並べられた等高線を写真として焼き付けたものである。(図4-5)

集水域の境界は個々の河川の下流側末端を除けば、尾根を連ねたもので形成されているので、

まず、これらの尾根を連ねた方向に沿って尾根筋の傾斜を測定し、傾斜区分に対応する色を付加する。次に、集水域の境界の大きな尾根から分岐する複数の小さな尾根に対して、同じように傾斜区分を行い色付けをする。このとき、それぞれの尾根の末端では等高線に直交する形で色付けを行う。この際、先に述べた手法で、それぞれの尾根の幅を考えて色付けしておくことが肝要である。以下同じようにして、全ての尾根に対する色付けを行う。最後に、発達している個々の小さな谷の系までを全て残す形で、個々の尾根の両脇の山腹斜面に対して、そこに発達する谷に沿った等高線の群の傾斜区分を測定しながら対応する色付けを行う。この場合、山腹斜面では、尾根に近い山腹側から始めて谷の流下する方向に沿って、等高線の群を斜断するように色付けを行うとよい。谷頭は折れ曲がった等高線として地形図上で明確に表現されているが、高度が減少すると共に谷の形状が等高線として判別し難くなる場合があり、谷出口から色付けを行ってゆく場合に比べて、後の修正が少なく済むからである。

作成した境川流域の傾斜区分図から判読される大まかな結論を述べておこう。境川の流域近くを占める大略的な地質分布は、砂岩レンズや層の形状を留めている断裂した砂岩レンズ列をときに含む頁岩状泥岩優勢層および砂岩優勢層であり、非熔結から強熔結までを含む入戸熔結凝灰岩層が各所でそれらを覆っている。図では、赤色、橙色、黄色などの暖色で描かれた広い面積の領域(境川の大淀川との合流地点から上流に直線距離で約1 km強以内の兩岸、野崎集落、八重集落、野崎集落から南南西方向に中河内集落を経て青井岳集落までの境川の兩岸など)は、入戸火砕流の堆積原面を残した緩やかな傾斜の台地である。また、暖色系の色が紐状に細く連なる領域は尾根である。境川集水域の尾根は比較的瘦せた尾根で作られているのが窺える。比較的長い尾根の両側に繋がる黄緑色、モスグリーン、濃紺色などの寒色系の領域は山腹斜面である。また、色抜き部分が河川と谷の流路である。それぞれの発達パターンは異なるが樹枝状に発達する多くの谷々によって、集水域内の殆どの山腹斜面が細かく切断されているのが見出される。狭い範囲の領域内で、この分断された小さな斜面の集団が示す形状(斜面の長さや幅および傾斜、互いの斜面が発達する方向など)は、集水域中の場所場所によって異なっているのが

図4-5：傾斜区分測定傾斜テンプレート



見受けられる。さらに、集水域の北西部では、おおむね東西方向に走る支流河川の両側の山腹斜面で、南面する斜面は北面する斜面に比べて傾斜が緩やかであることが見出される。また、一般に、高度の低下と共に、暖色系の色から徐々に寒色系の色へと変化する場合に、幅広く緩やかな勾配の斜面を形成しその末端で急傾斜する場所では、その原因はいろいろと考えられ得るが、その斜面方向に傾斜した厚い砂岩の層(または砂岩優勢互層)が存在するか、あるいは、地滑り地の場合であることが多い。例えば、青井岳南西で妙寺谷川に面する斜面は、おおむね西に傾く砂岩層に対応している。

境川に沿って青井岳集落から無頭子までの右岸、支流の五十山川の両岸、和石、野崎、八重などの集落近くで、谷の上流部まで広い谷底平野を形成している部分は、通称“シラス”と呼ばれている火砕流堆積物の非熔結部が浸食された地形である。一方、境川自身の流域沿いで急崖を形成している部分は、熔結した火砕流堆積物が浸食された地形である。

また、野崎集落の東側の分水嶺近くに見出される緩い傾斜から急傾斜への移行部の直線的な配置は、高岡断層線との対応を示している。

境川の河川堆積作用が顕著に見出される領域は、流路に沿って川岸に狭く分布する小さい起伏の沖積層氾濫堆積物である。縦断曲線図での議論とから、浸食作用によって境川集水域から剝された碎屑物は、その径の大きなものは、洪水などによって運搬され、その途中で破碎・円摩され、川岸に一時的に氾濫堆積物として堆積される。繰り返される洪水によって、洪水の激しさの度合いに応じて礫はより小さな径の礫へと破碎されながら、細粒の碎屑物と共に大淀川に運び出されると考えられる。

(4) 結論

さほど大きくはない河川の集水域では、その水系が少数の地層の群単位を浸食することが多い。このため、集水域を1つの地形単位とし、ここに掲げた形で数量化や視覚化しておく、地形単位の中での浸食地形の特徴的な姿(台地の広さや形、山腹斜面の形や勾配、大きな尾根から分岐する小さな尾根の分岐角やその尾根の長さ、その伸長の方角および尾根末端の形状)やその変化を、地質の分布との対応によって、判読しやすくなる。また、集水域を地形単位とすることにより、流路に沿って3つの河川作用の働きの度合いや合流する支流ごとでの違いも明らかになる。それと共に、河川流路の変化とその力学的・地質学的関連を明確化できる。さらに、特徴的な地形パターンの判別へのこのような手法での習熟を行えば、地形の判読および現地での実際の地形との対応は、等高線だけで描かれた地形図だけの場合よりも、明確に、かつ、一層容易になると考えられる。

さらには、地形単位とそこに生存する生態系との関係、あるいは、地形単位に含まれる地質学的要因と河川水質に与える化学的な関連などの調査を行えば、ある流域環境が成立しているメカニズムの解明および流域での人間生活の営みがどうあるべきかの一層の知見が得られ、環境教育を行う際により定量的な議論の上に立った教材化の手だてが得られるであろう。

5. 物理学からのアプローチ

古くから生活の場や遊びの場として、人は様々な形で河川と係わりを持ち、利用もしてきた。しかし、河川はまた時として人々に災害をもたらすこともあった。そのため、「河川をいかに治

めるか」が、これまで人類にとって歴史的にも重要な課題であったということが出来る。近年では、水害に備えて広く護岸工事が行われるようになり、そのため河川を生息の場としている生物にとって大きな影響がでているだけでなく、生活用廃水等による河川の汚染もしだいに深刻になってきている。そういった状況の中で、教育の場においても、河川を教材として積極的に取り上げていくことが重要になってきたといえる。教材としては化学的あるいは生物学的なアプローチも重要であるが、ここでは地学的内容も含んで、物理学的な面から一つの基本的なアプローチを試みた。具体的には、「河川における石の大きさの分布（粒度分布）」を、簡単な計算とシミュレーション実験によって考察した。

まずそのことに先だて、小中から高等学校までの理科の教科書で、河川についてどのような取り扱いがなされているか見てみる。小学校4年生の理科において、盛り上げた砂の上から水を注いで、実際にミニチュア河川を作ってみるという試みがある。そこでは、多少遊びを含ませた形で教材化がなされていて、特に川の蛇行に注目させるような工夫がとり入れられている [5-1]。中学校理科2分野（下）においては、河川上流域における浸食作用と下流域での土砂の堆積が水の流速に関連させて述べられている [5-2]。高校地学の教科書では、流速の大きい上流の方が浸食が激しいことについて、上流ほど流速が大きく、浸食作用は流速の2乗に依存するとして、エネルギー的な観点から説明がなされている [5-3]。物理学の教科書では、衝突問題のところで多少関連性がある程度で、川についての具体的なアプローチ例はほとんどない。

地学でいう「浸食・運搬・堆積」の三つの作用を、ここでは、「流される一流されない」の関係として中心的に取り上げ、言うならば「微小表面効果」として説明する試みを紹介する。

一つの川を下流から上流に移動しながら、流域（場所）の変化とともに岩礫砂（川に存在する大小の石）の大きさがどう変化するかを見ていくと、ほとんどの河川で共通な展開があることに気づく。まず下流域においては平坦で開けたところに砂泥の堆積した状況が見られ、中流域に至ると、はじめは小粒のものから次第に大粒の礫が多くなってきて、さらに上流に向かうにしたがって、（礫よりも大きい）岩が多くなり、もっと上流域に至ると（川幅が狭くなると同時に谷も深くなり）、さらに大きな岩が目立ってくる。

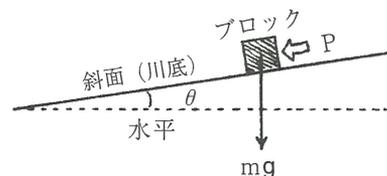
このように、流域のちがいでによって、存在する石の大きさがちがうのが普通であり、石の大きさは一般に下流域では小さく、上流域では大きいということが出来る。このことを「流される一流されない」という力関係から、①計算（実際の系をかなり単純化したモデルで数式的に考える）と、②実験（小規模河川に見立てて作製した簡単な実験道具を用いてシミュレーション的検証をした）の二つの方法によりアプローチした。

(1) 計算

現実の系はふつう複雑な要素を含んでいるが、ここでは、もっとも重要と思われる要素だけ残し、他の複雑な要素を無視して、系を単純化した上で、解析的な方法を用いた。

図5-1に示すように、石を1辺が x [m]で質量 m [kg]の立方体のブロックと仮定し、それが傾斜角 θ の斜面に沿って置かれている系を考える。

図5-1：傾斜に置かれたブロックと水圧 P



このブロックに、斜面上方から水流による圧力 P [N/m²] が加わったとし、その水圧による「流そうとする力」を F_1 [N] とし、それに対して、抗力（重力から浮力を差し引いた力の斜面に垂直な成分の反作用）に基づく摩擦抵抗すなわち「流されまいとする力」を F_2 [N] とする。 F_1 と F_2 の大小関係が「流される－流されない」を決定することになるが、 x の変化によって（ブロックの大きさのちがいで）、この大小関係がどのように変化するかについて考察する。ブロックの一つの側面の面積は x^2 であり、その体積は x^3 であり、石の密度を ρ [10³kg/m³] とすると質量 m は ρx^3 となる。水の流れによる圧力を P 、重力加速度を g [m/s²] とすると、重力の斜面方向成分は $mg \sin \theta$ となるが、（地学からのアプローチにもあるように、川の平均的勾配は非常に小さいので）、ここでは簡単のために傾斜がほとんど 0 と考えて $\sin \theta$ を近似的に 0 とみなすと、「流そうとする力」 F_1 は

$$F_1 = Px^2 + mg \sin \theta \cong Px^2 \dots\dots\dots (5-1)$$

となる。

「流されまいとする力」 F_2 は、前述のように、重力 mg から水による浮力分 x^3g を差し引いた力の斜面に垂直な成分（すなわち抗力）に基づいているので、摩擦係数を μ とし、傾斜が 0 に近い場合には $\cos \theta$ が近似的に 1 であるとして、

$$F_2 = \mu (mg - x^3g) \cos \theta = \mu (\rho x^3g - x^3g) \cos \theta \cong \mu g (\rho - 1) x^3 \dots\dots\dots (5-2)$$

となる。ここで、 $\rho - 1$ については、水の密度を 1 [10³kg/m³] とし、岩石の密度を ρ としているが、 ρ は約 2.5 [10³kg/m³] であることが分かっているので、近似的に $\rho - 1 \cong 1.5$ である。

ここで、 $\mu g (\rho - 1) = Q$ とおくと、 $F_2 \cong Qx^3$ となり、 F_1 が F_2 よりも大きい ($F_1 > F_2$) 場合に「流される」ことになるので、流される条件は、

$$Px^2 > Qx^3 \dots\dots\dots (5-3)$$

となる。

$y = Px^2$ と $y = Qx^3$ のグラフを単純化して図 5-2 に示しているが、この 2 曲線の交わる場所は

$$x = \frac{P}{Q} \dots\dots\dots (5-4)$$

のところである。

P, Q は正の定数なので、(5-3) 式が成り立つ範囲（流される石の大きさ）は

$$0 < x < \frac{P}{Q} \dots\dots\dots (5-5)$$

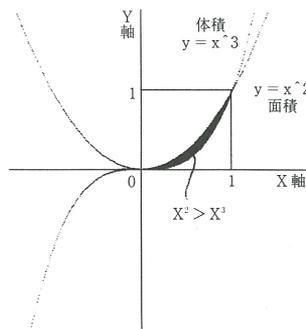
の範囲となり、したがって、 $\frac{P}{Q}$ よりも小さい石は「流される」が、 $\frac{P}{Q}$ よりも大きい石は「流されない」ことがわかる。すなわち、小さいものほどよく「流される」ということができる。

$F_1 = F_2$ となる場所、すなわち「流される－流されない」の境目（クリティカルポイント）は (5-4) 式であったが、そのときの Q を具体的に書くと、

$$x = \frac{P}{\mu g (\rho - 1)} \dots\dots\dots (5-6)$$

となる。これがクリティカルなブロックのサイズであるということが出来る。

図 5-2 : x^2 と x^3 のグラフ

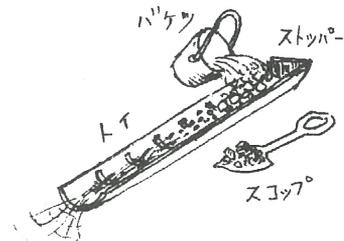


P と Q については、ここでは荒く近似して、川の傾斜がほとんど0であるとしたが、傾斜が急な上流では P が大きくなり、逆に Q は小さくなる。このことは、4.地学からのアプローチの中にも浸食作用として出てくる。したがって、(5-6)式から x がより大きくなるので、上流では、大きい岩でも流されることを物語っている。

(2) 実験

まず実験道具として実際の川床に似せたシミュレーション用の模型を製作した(図5-3)。具体的には、適当な長さの塩化ビニールのパイプを縦に半分に切ったもの、つまりトイを用意し、次にトイの端から小さい幅(1.5cm程度)に切り出したものを数本用意し、これを流れに対する川床の抵抗に見立てて、一定間隔でトイの内側に取り付けている。さらに、トイの一端は半円の板(ストッパー)で閉じている。

図5-3：河川のシミュレーション



これを河原に持っていき、適当な流速(圧力 P に関係)を得るために、ストッパーを上端にして斜めに傾けて置き、河原の土砂(大小の礫砂を含む)をスコップですくってトイの上端に乗せて、バケツで川の水を土砂の上にそそぎ込む。これを適当に繰り返すと、図5-3に見られるように大きい石は上方ののこり、小さいもの(砂)は下方にどんどん流れていって、理論で予想されたように、実際の河川に似た礫砂の分布が得られた。

(3) 結果について

現実の川における岩石の大きさとそれらがどのように分布するかについて、計算とシミュレーションで一応示すことができた。ここでは一つの見方だけで論理を進めてきたが、実際には石の転がりや石の衝突など複雑な要素も存在する。水の流れについても、一樣であるとはかぎらず、ほとんどの場合に乱れをとまなうことが予想される。そして、水の粘性等、そういう複雑な要素はここでは考慮していない。しかしこのように系を単純化してみても、基本的なところは説明できるように思われる。

(4) 文献

- [1] 永野重史 他, 新版理科4上(文部省検定済教科書), 教育出版1995
- [2] 栗田一良 他, 新版中学理科2分野下(文部省検定済教科書), 教育出版, p97, 1995
- [3] 高等学校地学新訂版(文部省検定済教科書), (改訂前のもの), 啓林館

6. まとめ

学際的研究という言葉があるが、ここでの取り組みはミニ学際と見ることもできる。今回はそれぞれからのアプローチを並記している感が強いが、それでも地学的に見て傾斜(勾配)のゆるやかなところ、すなわち物理学で見てほとんど石砂泥が流れていかないところで、化学的に見て人的汚染が強まり、生物学的に見て生物相が貧弱になっているといった、学問領域間の

有機的立体性が見てとれるるように思われる。このように、今回の取り組みは、化学と生物学の相関性、またそれらと川の傾斜など地学との関連性、また三作用に関係する川の流れなど物理学との関係が模索され、さらにそれらを実際に生徒・学生等と一緒に取り組むことで、地域環境についての有機的立体的な生きた形の教材化を踏むという、今後への一つの指針を与えるものであったといえることができる。

しかし、まだそれぞれの分野における記述がそれぞれの域を出ない（十分に有機的・立体的とはいえない）といった側面もあり、まだ十分に目的を達しているとはいえない。しかし、高い完成度は得られなかったものの、はじめての試みでもあるので、このような有機的立体的な取り組みを何度も繰り返すことによって、さらにこの取り組みを意義深いものにしていくことができるものと思われる。

謝 辞

恵下研究室および流田研究室の学生諸氏には調査あるいは図作成に関しての協力をいただき、感謝いたします。

(1999年4月30日受理)

図4-4：境川集水域の地形傾斜区分

