

第3章 洪水により逆級化層理ができるメカニズムを学ぶ授業の提案

3.1 はじめに

災害対策基本法は1961(昭和36)年11月15日に公布された。日本の災害対策に関する基本法であり、防災行政に関する国と地方公共団体および住民の一般的責務を第1条において「この法律は、国土並びに国民の生命、身体及び財産を災害から保護するため、防災に関し、国、地方公共団体及びその他の公共機関を通じて必要な体制を確立し、責任の所在を明確にする」と宣言したうえで、防災行政に関する組織、防災計画、災害予防、災害応急対策などについて詳細な規定を置いている。

災害対策の基本に関する総合的な立法の必要性は、1952(昭和27)年の十勝沖地震が発生した頃から提唱されはじめ、特に伊勢湾台風によって甚大な被害をもたらされたことから、全国的に災害対策基本法制定の動きが高まった。特に伊勢湾台風の被害が大であった要因としては、観測史上最高の高潮が発生したことによる。伊勢湾は、湾口が南に開き、かつ十分な広さを持っており、外洋の海水が流入しやすい平面地形であり、高潮の発生しやすい地域の典型であった。また、明治以降近代産業が集中したことにより、大工場立地のための干拓が進み、潜在的な水害危険地帯といえる海拔0m地帯が広がっていた。このように水害に対して極めて脆弱な低平地が、戦後の復興・発展の過程で防災対策が不十分なまま市街化され、そこに観測史上最大の高潮が暴風・暴浪とともに来襲した(中央防災会議、2008)ことに加え、情報の伝達不足、危険地帯の周知不徹底、不十分な防災体制のため、人的・物的共に大きな被害が拡大したことが挙げられたため、世論からは防災行政の再検討を要望する声が強まり、これを受けて作成された(防災行政研究会、2002)とされる。

表1-1に示すように1940～50年代は自然災害によって毎年のように数千人規模の死者が続いていた。まさに必要最低限の防災体制すらとられていなかったといえよう。その後の高度経済成長期に入り行政主体の防災対策が功を奏し、自然災害死者数は年間100人前後に激減した。今我々が取り組むべきはこの残り100人を限りなく0に近づけることである。

結論から言うと災害対策基本法が目的とする行政主体では0にできない。第七条で“住民等の責務”が規定されており、住民等は地域の防災に努めること

が求められているだけである。災害がまさに発生しようとしている時，“避難勧告”，あるいは“避難指示”が行政から発せられるのだ。都道府県，市町村，指定公共機関等の責務は「防災に関する計画の作成・実施，相互協力等」で，住民等の責務は「自らの災害への備え，自発的な防災活動への参加等」でしかない。これを片田(2012)は「自然災害に向かい合うのは行政で，行政の庇護の下に住民が居るという体制」と指摘している。その体制が年間 100 人の死者を 0 にできないとする。たとえば 100 年に 1 度の洪水対策として堤防を整備すると，それ以前の時代に発生していた小さな水害被害はなくなる。しかし同時に危険地域の情報や地域に受け継がれてきた災害に備える知恵といった「災害文化」も途絶えてしまう。そうして全くの無防備になったところに 100 年確率を超えた大水害が発生することとなる。住民は常日頃から防災に努める必要がある。家庭内でも初動体制の再確認，防災訓練等への積極的な参加などを通して，減災のための取り組みを各個人のできるのところから始めてみることも必要であろう。そのためには日常生活する土地の履歴・成り立ちに対する正しい情報の提供が急務である。

この視点に立って，本章では多くの日本の大都市が立地する沖積平野が繰り返す洪水によって成立したと理解できる学習プロセスを提案・実践し分析した。

3.2. 逆級化層理の教材化

京都府八幡市の木津川御幸橋下流の河川敷内に見られる洪水堆積物は，単層内において最下部が泥で上方に粗粒化し，最上部の粗粒砂もしくは礫混じりの極粗粒砂に漸移する逆級化成層構造を示すことを確認した。

この逆級化層理を呈する堆積物の堆積構造や含有物を調べ，堆積物の粒度分析を行った。またこれと比較するため増水時における木津川の流水中の浮遊土砂の採取や，増水前後の河川敷の堆積物の調査も行った。

その結果，逆級化層理を呈する堆積物の成因とその堆積日時の推定に関して次のような知見を得た。

河川水の増水初期には水中の懸濁物質の量が極めて多く，大量の細粒物が運搬され堆積する。その後，次第に流量及び水位が増大するが懸濁物の量はむしろ低下する。一方流速の増大に従い，より粗粒な物質が運搬されてきて増水初

期に堆積した細粒物の上位に堆積することにより、逆級化構造が形成される。この時様々な「ゴミ」を含んで堆積することから、その製造年月日等の記録と水位観測の記録より、逆級化層理を呈する地層の形成日時の推定を行った。

さらに、逆級化層理の形成主因が、従来言われている急激な出水と緩やかな減水という水理特性のみによっているのではなく、自然状態であっても日本のような変動帯での起伏に富んだ激しい地形に流路を限定された河川という”河川形態”も重要な役割を果たしていることが想定された。

3.2.1 逆級化層理の研究史

河川勾配が急で、水源から河口に至る経路の短い日本の河川においては、現在数多くのダムが建設されているとはいえ、降水と河川の増水はほとんど同時とあってよい短時日で生じる。本調査地の木津川でも数m程度の水位上昇であっても一旦増水すれば、その水流は流路・河畔・中州の区別なく川幅一杯に広がり、川底の泥・砂・礫等を浮遊・掃引物質として運搬し、河畔や中州上に再堆積させ新たな堆積体を形成する。

この時、比較的明瞭な基底面をもった泥に始まり砂（稀に礫質）へ漸移する構造、すなわち単層内においてその堆積物の構成粒子の粒径が上方へ粗粒化する堆積構造（本研究では逆級化層理構造と称する、他に逆級化成層；**Reverse graded bedding** とか **upward coarsening structure** とも言われる）が形成されることが、伊勢屋(1982)、伊勢屋・増田(1985)、鈴木(1993)などにより明らかにされてきた。逆級化層理構造の形成に関する研究は少なく、具体的な河川流速、河川運搬物、河川形態及び堆積場との関連について議論された例はほとんどない。

現世河川については 1960 年代初頭からミシシッピー川、インダス川、ブラマプトラ川等の外国河川の研究があるが、逆級化層理の報告は無い。わずかに、オーストラリアの河川において逆級化成層の報告がなされている（**Taylor and Woodyer, 1978**）。

河川堆積物の構成物質の粒度については上方細粒化の報告が主であり、下部から上部に次第に流れが弱くなることを示す水理条件での堆積物が議論されているのみである（例えば **Pettijohn, Potter and Siever, 1972** や **Costello and**

Roger, 1972 など).

日本の急流な河川と上記のような大陸地域の長大な大河とでは堆積場や年間を通じての気候変化、ひいては増水から減水に至る時間の長さや水位の変化量をはじめとする様々な要因に違いがあり、大陸の大河川では日本で観察されるような逆級化層理構造が生じていないものと考えられる。

単層内で基底から上方に向かって粒径が増大する逆級化層理の成因については従来、木村他(1973)に代表されるように河川堆積物との関連は指摘されていなかった。すなわち礫波の往復運動のように篩を振動させると、粗い粒子ほど表面に競り上がる「バグノールド効果」や崖錘性堆積物の粒径による安息角の差、水中に堆積する火山砕屑物の場合、粒径は大きいが多孔質な浮石が緩やかに沈降することで形成されるとされていた。

ところが伊勢屋(1982)は現世の河川堆積物中に逆級化層理を発見し、伊勢屋・増田(1985)は河川の自然堤防における洪水氾濫堆積物の指標堆積構造であるとした。さらに鈴木ほか(1993)や鈴木(1994)によれば逆級化層理が「一級河川から自宅裏山の小河川まで」どこでも形成されていることが明らかになった。

その結果、1990年代以降は河川堆積物の場合は洪水堆積物の指標であるという認識が定着した。すなわち、洪水初期における多量の懸濁物質が最高水位時には少なくなる一方、流速の増大により大きな粒子がボイルで巻き上げられ下流の自然堤防の後背湿地側や氾濫原に堆積する。その後の減水時には氾濫原から急速に水が引くため堆積構造は形成されないことで逆級化層理が保存される(地学団体研究会, 1996 や堆積学研究会, 1998)とした。

3.2.2 洪水で形成された逆級化層理の確認

1) 調査地点である京都府八幡市木津川の御幸橋地域について

調査地周辺は京都、大阪、奈良の各市街の中間に位置し、交通の便がよく、古来より日本史の中心舞台であった(図 3-1)。

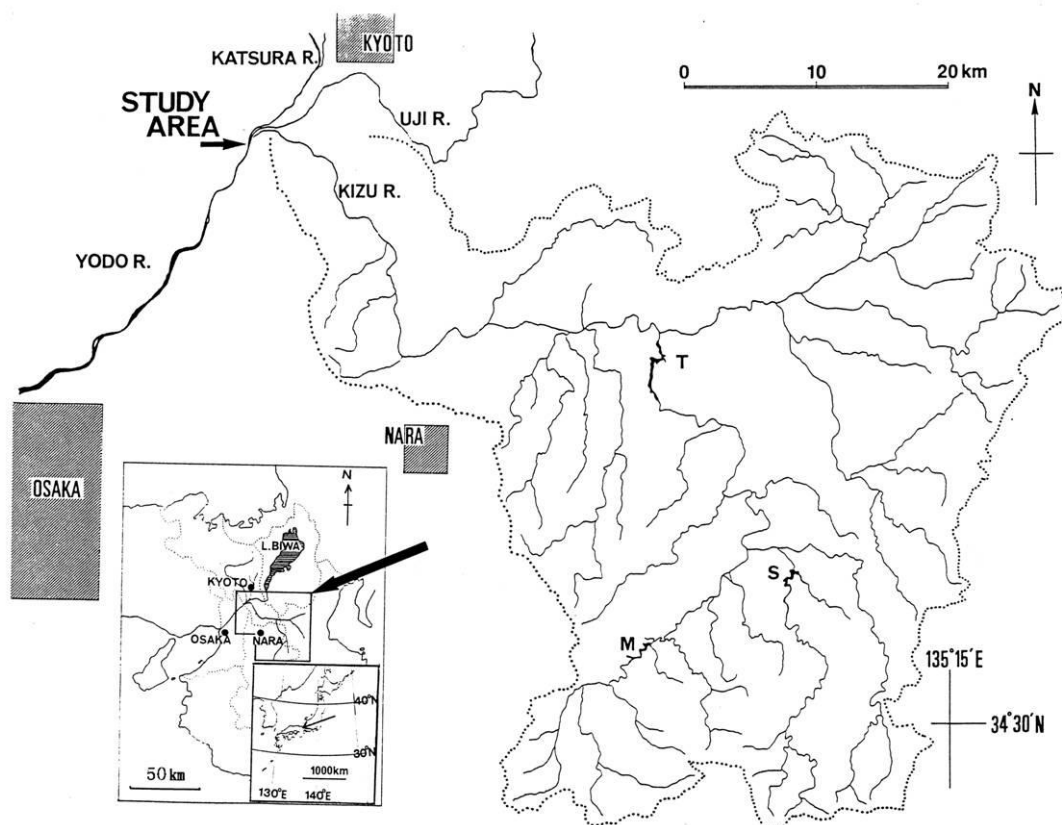


図 3-1 京都府八幡市木津川の御幸橋地域の位置図(戸倉, 2003)

またすぐ東方に位置していた巨椋池は、京都府南部の山城盆地の最低部にあたり、古代には宇治川、木津川、桂川の三川が合流した一大遊水池を成し、一種の天然ダムとして洪水調節及び遊砂池としての役割を果たしていた。木津川は直接この巨椋池に流入していたが、1594年豊臣秀吉により西に移され、現在の京都市伏見区淀付近で淀川に合流していた。1869年淀近辺に大水害があり、時の明治政府は淀川第一期改修工事で木津川の流路をさらに西に移し、現在のように八幡荘で淀川に合流させたため巨椋池は名実ともに独立した沼池となった。この時点で巨椋池は周囲 16 km、面積 794ha であったが水深は最大でも 3m 程度であった(図 3-2)。

宇治川については、安土桃山時代に豊臣秀吉が伏見桃山城、淀城建築のために水運の便を図る目的で、巨椋池に浮かぶいくつかの島を人工的につなぐことにより宇治川を大きく北側に迂回させ、宇治川を淀あたりで桂川と合流させた。そうすることによって、大阪からの舟運が山崎からさらにさかのぼって伏見ま

で到達できるようになったのである。しかし、こうして人為的につくられた宇治川の河道は山城盆地最低部である巨椋池に直接流入しないという無理があり、しばしば氾濫して沿岸住民を苦しめることとなったのである。もっともこれには巨椋池を淀川の洪水調節作用に利用し下流の大阪の町を守るという政治・経済的判断も存在していたといわれている。

一方、木津川についても図 3-2 に破線で示したように、ほぼ北流して巨椋池に直接流れ込んでいたものが、安土桃山時代末期には宇治川と同様に淀付近で桂川と合流させられていたのである。このような人工改変により巨椋池が遊水池、遊砂池としての大きな役割を果たせなくなった結果、下流の淀川の堆砂

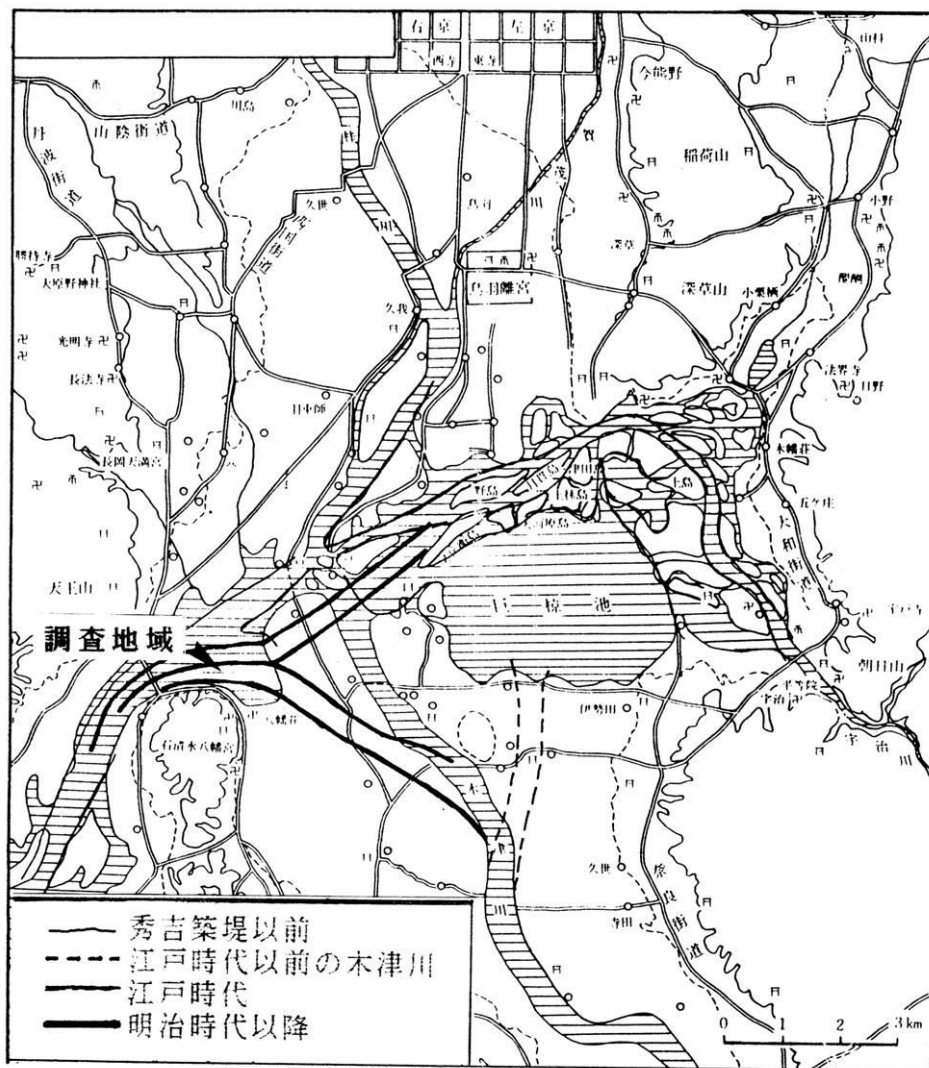


図 3-2 巨椋池の変遷. 池本(1962)に一部加筆(戸倉, 2003)

は顕著に進むこととなった。そのため、わずか 20 年で大阪湾河口部において淀川の洪水疎通能力を維持することが必要となり 1614（慶長 19）年の道頓堀川を始めとする大阪における堀の掘削がすすめられ、この後掘削とデルタの堆砂とのイタチごっこが始まったのである。江戸時代の大坂の町は正に淀川の天井川化と水害の繰り返しの歴史でもあったのである。

明治時代に入ってから、鉄道の発達による舟運の衰退という原因もあり、淀川の河川改修は純粋に洪水対策のみに眼を向けることができるようになった。お雇い外国人土木技師の指導により洪水に備えて堅固な堤防が築かれることとなり、太実線にみられるような河道に固定され現在に至っているのである（図 3-2）。

ちなみに、巨椋池は 1941（昭和 16）年に干拓が完了し、その姿を消した。また、宇治川については 1964（昭和 39）年 10 月に天ヶ瀬ダムが完成した。木津川については高山ダムが（T、図 3-1）1969（昭和 44）年 3 月、青蓮寺ダム（S、図 3-1）が 1970（昭和 45）年 3 月、室生ダム（M、図 3-1）が 1974（昭和 49）年 4 月にそれぞれ完成している。

木津川流域は、北を信楽山地、東を布引山地、南を高見山地、西を大和高原にかぎられる。流域面積は 1456 km²、平均流量 48m³/秒、過去の最大流量値は 1957（昭和 34）年 9 月 27 日の伊勢湾台風襲来時の 6200m³/秒である。

木津川流域の 92%を占める山地は、主として花崗岩からなり、他に丹波帯の中・古生界、領家変成帯の変成岩、室生火山岩の流紋岩質凝灰岩で構成されている。一方古来より都造営や大寺院建立のために森林伐採が続き、流域の山地は多くが禿げ山化し、莫大な量の花崗岩砂を流出して、たびたび水害が発生していた。それは淀川本流の治水をも困難にし、江戸時代より木津川といえば砂防を連想させるほどのものになっている。従って、最終氷期以降の木津川は、河川が土砂を大量に堆積するため河水が高水時には自然堤防を越えて新しい河道をつくり、広い河原に河筋がいくつも分流した網状流を呈していたものと考えられる。河川改修やダム建設がすすんだ現在においては供給土砂の減少により幾分曲流河川の要素が増大してきた。

次に、調査地域周辺の地形の詳細について述べる。明治以降の地形図による、過去 100 年間の桂・宇治・木津の三川合流点付近の変遷を図 3-3 に示す。1867

(明治元)年の木津川再移動, 1903(明治36)年の宇治川開削等を経て, 1960年代の川砂利採取ブームによる約1mの河床低下といった一過性の変動があり, 1967(昭和42)年に河床高は最低となり, 三川合流点でO.P.5~6m(標高15~16m)となった. しかし, その後の砂利採取規制等により河床は+1mほど回復した.

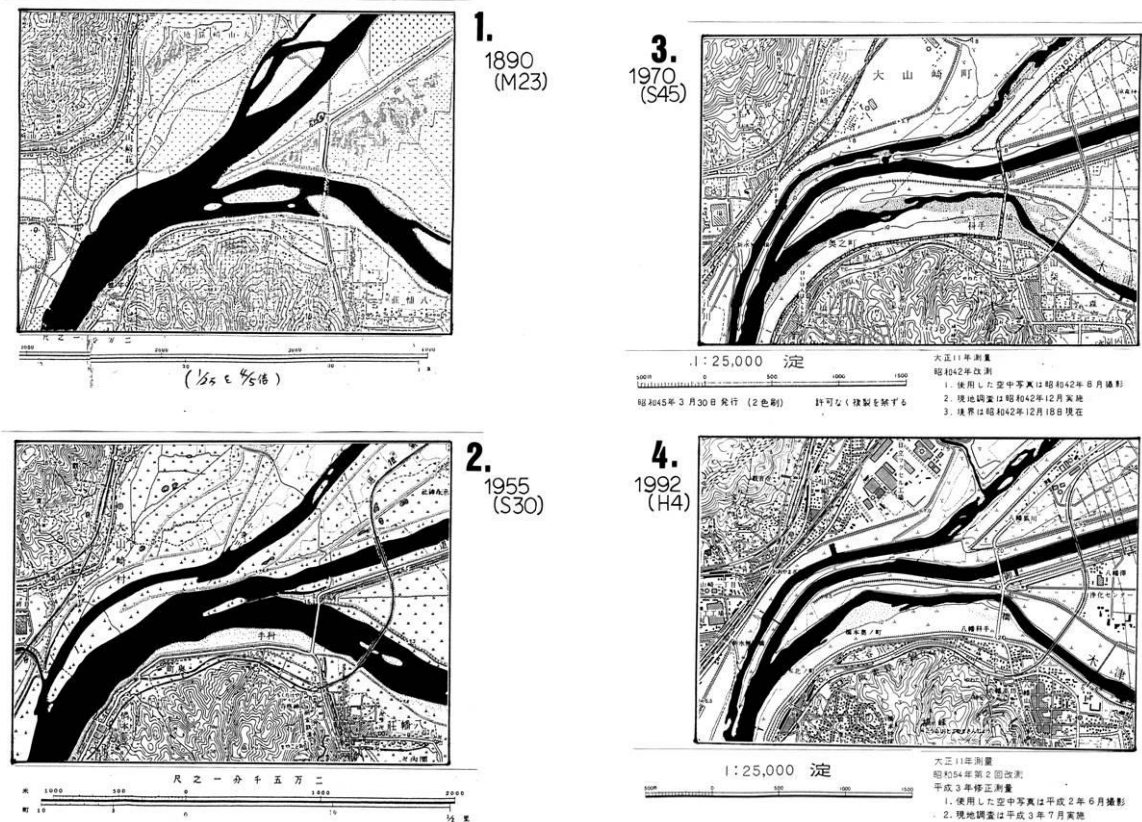


図 3-3 過去 100 年間の桂・宇治・木津の三川合流点付近の変遷(戸倉, 2003)

図 3-3 の 1 は陸地測量部 1890(明治 23)年発行の 2 万分の 1 地形図, 2~4 は建設省国土地理院の 2 万 5 千分の 1 地形図の調査地周辺のそれぞれ部分コピーであるが, 水域を黒色で塗色してある.

図 3-3 の 1 は 1890 年の地形図である. この時点では未だ宇治川が本地域まで開削されず, 上流で桂川と合流していた, 1867 年の木津川西移動後約 20 年後の状態である. 北東からの桂川と東からの木津川が合流している. 両川とも

大きな中州が発達し川幅も広く水量も豊かである。また両川が合流した淀川も河幅が広く天王山山麓の山崎あたりまで容易に舟が上がって来ることができたことを想像させる。御幸橋下流左岸あたりの砂州はポイントバーが発達しているのか、水位が高いため低所が水没して中州状に見えるのかは不明である。

図 3-3 の 2 は 1955 年の地形図である。新宇治川が合流しており一番北の桂川との背割堤は下流までつくられているが宇治川と木津川間の背割堤はまだ貧弱である。日本の高度経済成長期以前で上流にダムがない時期である。1970 年代以降に比較して、木津川の水量は豊かである。御幸橋下流左岸にポイントバー（水没して中州状に見える）が発達している。

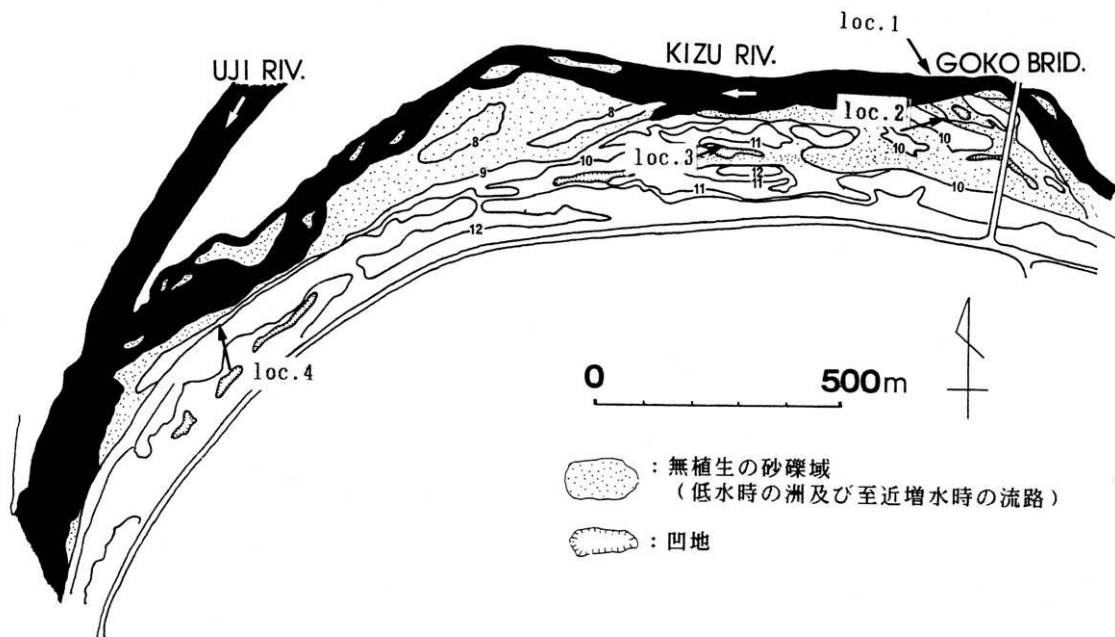


図 3-4 調査地域の詳細な地形起伏図(戸倉, 2003)

図 3-3 の 3 は 1970 年の地形図である。上流に相次いでダムがつけられ、平常時の流量は減少している。調査地域より下流では改修工事によって河床が低下した。また、川砂利採取も調査地域上流では最盛期であった。したがって河床が最も低下していた時期である。宇治川との背割堤は長く下流まで延ばされている。御幸橋左岸を起点に広大なポイントバーが形成され、洪水時には水没

していることが推定される。

図 3-3 の 4 は 1993 年の地形図である。基本的には 3 と変わりなくポイントバーの形態が多少変化したことと、水位がわずかに上昇したことが認められる。

調査地点周辺の河床地形の変化については、上記地形図および航空写真による解析を試みたが、1970 年代以降は大きな変化はみられない。本地域は木津川が大きく左に屈曲する内側地域で、そのほとんどがポイントバーに相当する。増水時には水底となる広い河原が存在している。その河原に河川の流向にほぼ並行して、細長く、比高約 1~2m の微高地が観察される。最高所は平常時水面（低水位時）から 4~5m 高である。

図 3-4 は 2500 分の 1 地形図から 1m 毎の等高線をトレースしたものである。最高所は標高約 12m である。平常時の水域部を黒色で塗色している。氾濫源一帯にはヨシが密生しているほか柳等の幹径最大 10cm 程度の灌木が散在している。ただし標高 7~8m 程度の低所には、比較的新しい増水による堆積物と考えられる淘汰の良好の砂質堆積物ならびに、後述する本地域の基盤となっている青灰色粘土層が露出しており、それらは植生が全く無いので、航空写真では明白に識別できる。

2) 降水状況

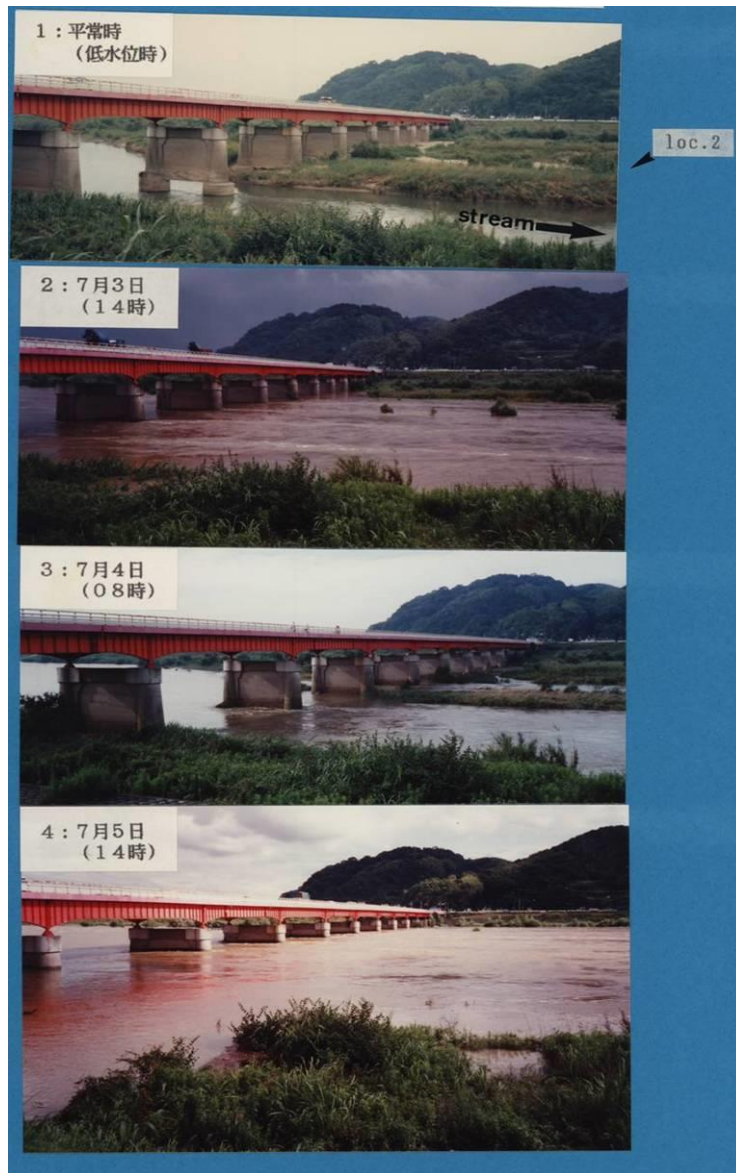
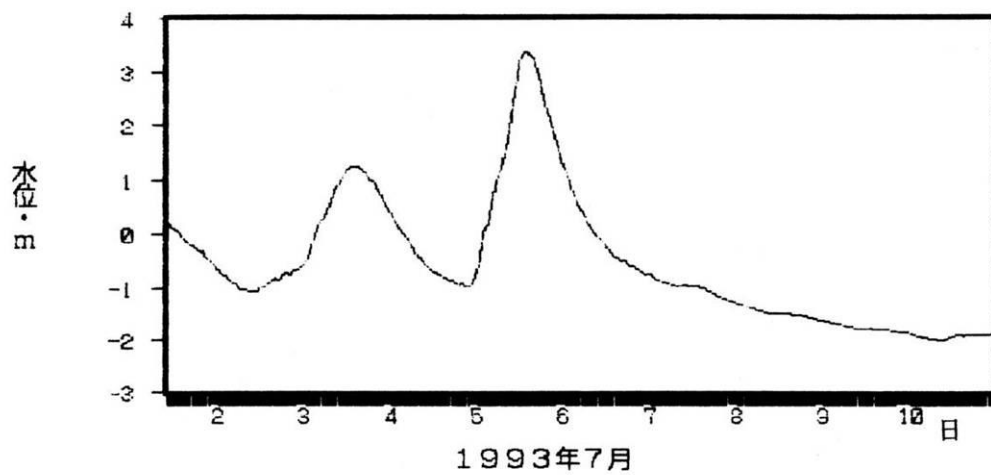


図 3-5 左図は京都府八幡市御幸橋一帯の河川敷の洪水前後の様子. 下図は水位変化のグラフ. (戸倉, 2003)



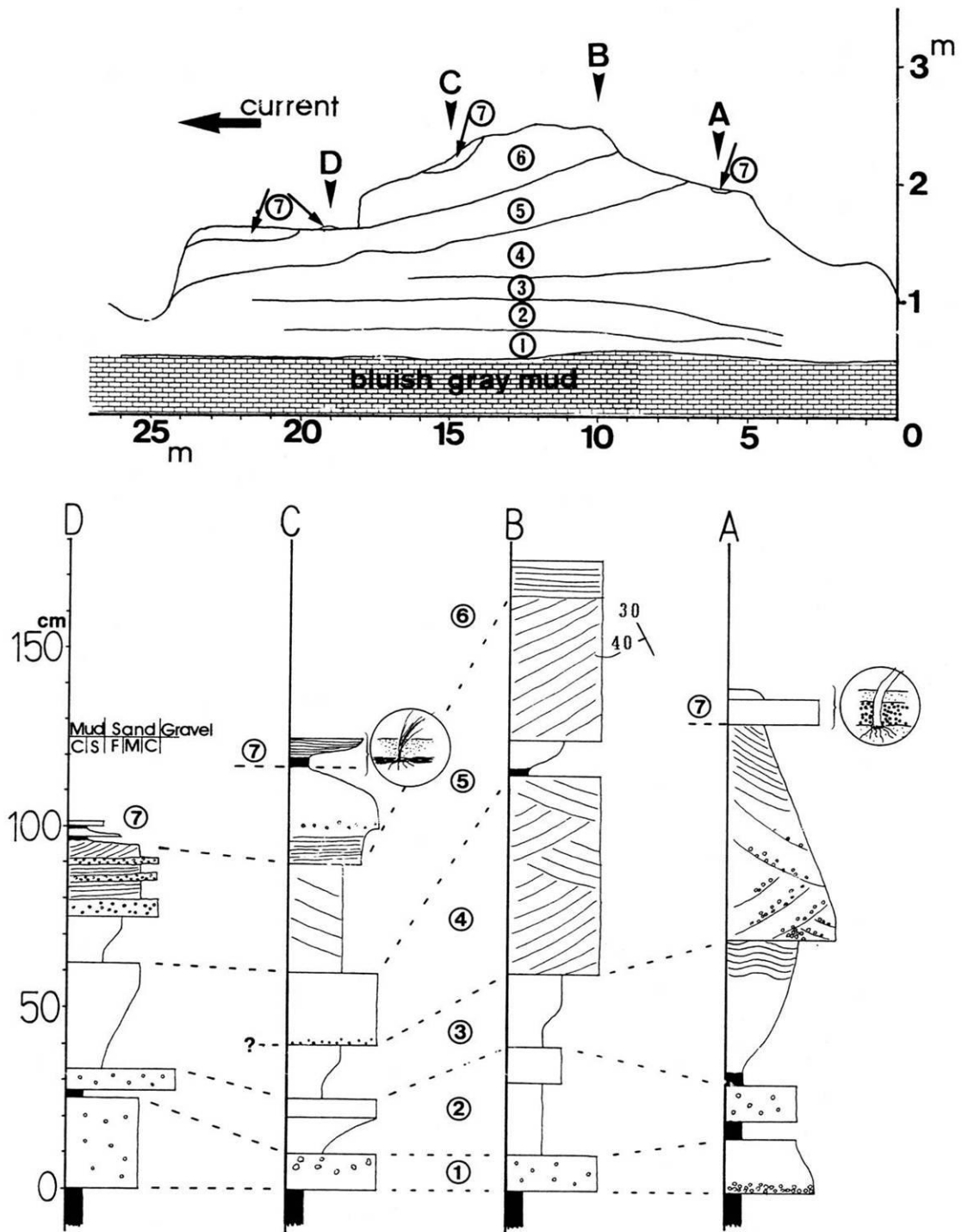


図 3-6 図 3-4, loc2 の河床に散在する微高地の水流に平行する断面構造のスケッチと柱状図. (戸倉, 2003)

1993年の梅雨期は、梅雨前線が日本南岸に長く停滞し、いく度となく集中豪雨をもたらした。特に6月末から7月初めにかけての前線活動の活発化に伴い、7月2日夜から3日朝にかけて近畿から関東の広い範囲で20～40mm/時間の激しい降水があり、木津川でも1993年の夏期には唯一の増水が起こり、調査地域である京都府八幡市御幸橋一帯の河川敷全域を冠水させた（図3-5）。

3) 逆級化層理を呈する堆積物が洪水によって形成されることを確認

(1) 図3-4のloc.2の露頭

河床に散在する微高地の水流に平行する断面構造を図3-6に示す。上段は基盤をなす青灰色粘土層の上位に累重する堆積体の境界を示す図である。下段は上段の各地点における柱状図である。A、C地点の柱状図の最上部の⑦が1993年の7月4日～5日の増水による堆積物である。その折の観察と離水後の観察により植物の茎部が10cm程度埋没していること、さらに周囲の木枝に引っかかっているゴミの高さとから推定して、本露頭の最大時の水深は約1.5～2mであると推定できる。

(2) 図3-4のloc.4

本露頭は1993年7月の洪水時に水深が約50cmになるほど水没した。離水後



図3-7 洪水流により下流側に倒れている植物。茎の部分が下から約5cmのところまで洪水流により下流である画面右側に倒れている

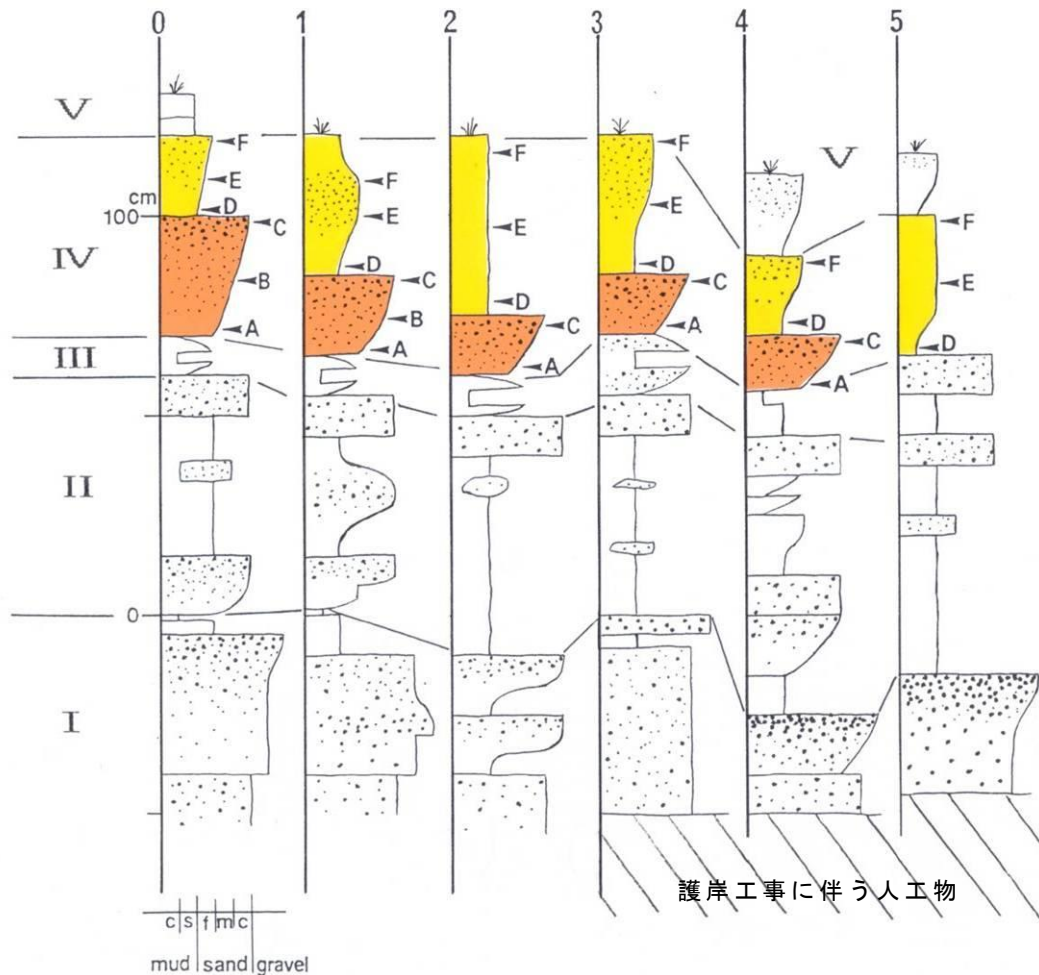


図 3-8 図 3-4, loc1 の最上部が逆級化層理を示す高水敷に散在する微高地を形成する洪水堆積物の柱状図.

の観察によれば、水没以前の堆積物の上に、粘土に始まりシルトに至る逆級化層理構造をした層厚数 cm の層が堆積していた。mm オーダーの平行ラミナが識別される。loc.2 同様草本類の埋没が 1993 年 7 月の洪水時であることを示唆している。すなわち冠水以前に生育していた植物は茎の部分が下から約 5cm のところで洪水流により下流側に倒れている（図 3-7）ことから最大流速に達する以前に本堆積物は形成され、その後流速が増加したため茎部が下流側に折れたと推測できる。減水後の周囲一帯の草本類の茎・葉部に付着した泥の

観察から、最大時の水深は約 50cm と推定できる。

3.2.3 逆級化層理の産状の記載

1) 図 3-4 の loc.1 の露頭

御幸橋下流 100m, 木津川が左へ屈曲する攻撃斜面側である。1974 年までは堤防と本地点との間には小さな流路が存在していたが、現在ここは埋め立てられて宇治川との背割り堤までの高水敷は公園として整地されている(鈴木ほか, 1993)。

崖の下半部の堆積物は斜交層理の発達した礫混じりの極粗粒砂, 上半部は何枚もの逆級化成層層理からなり, 全体として上方に細粒化する。上半部では下位のものほど層理は厚く, 単層はしばしば基底部の 1cm 程度のシルト層に始まり, 中・粗粒砂を経て上部の細礫にいたる。

また, これらの層は下流側に次第に厚く, わずかに粗粒化する場合もある。柱状図を(図 3-8)に示す。本露頭において, 堆積物はその堆積相より次の I ~ V に細分することができる。

I は下部・中部・上部の 3 層からなる。下部層は細礫からなる礫層でまれに大礫を含む。大礫は上方ほど出現頻度が増し, 最上部でもっとも密度高く含まれる。全体的に cm オーダーのプラナーラミナが発達し, 礫表面が鉄分で褐色を呈する。中部層は, 粘土に始まり粗粒砂に至る逆級化成層構造を示す部分が認められるが, 連続性は悪い。まれに大礫を含む。また, 柱状図 2~5 に見られる粘土は下部の礫層との境界が不規則な凹凸を呈し, 土壤生物による擾乱構造が発達しており, ミミズ等によるペレット(直径 1mm 程度)がしばしば観察できる。上部層は主にシルト質層からなり粘土の薄層を挟在したり, 連続の悪い極細粒砂の rip-up clast を含む。本シルト部にもペレット状物質が観察できる。

II は非常に淘汰良好の砂層で, 上・下層は不規則な境界で接し, 側方への層厚変化はあるものの連続性は良好である。

III は連続の悪い泥層が正級化及び逆級化層理を呈する極細粒砂に挟まれている。

IV は粒度の異なる 2 つの逆級化成層構造よりなる。下層は細粒砂に始まり粗

粒砂に至る逆級化成層構造を呈する。上層はシルトに始まり中粒砂に至る逆級化成層構造を呈するが、時に単層内の粒度変化が観察されずシルト層からなる部分もある。下層の方が全体に粗粒であり、本露頭に見られる逆級化成層構造を示す層としては最も層厚が大きく連続性も良好である。なお A~F は層相や連続性から判断して、それぞれ同一層準であることをあらわす。

V は層厚数 cm 程度の連続性の悪い数枚のシルト層よりなる。境界には植物遺体起源の炭質物を挟んでいることがある。また未固結で堆積粒子は容易に分離できる。

2) 図 3-4 の loc.2 の露頭

微高地の長軸方向の断面では中央部が一番高く(図 3-6)、上流および下流側に緩やかに傾斜するドーム状の外形を示す。こうした微高地には上流より下流側の方が傾斜が急な非対称のものも存在する。また、短軸方向の断面形態は、流路側が急に落ち込み、堤防側には緩やかな非対称形を示す。

調査地域には高さ 1~3m、長軸 20~100m の流路に平行な堤防状の微高地が多数分布している(図 3-4)。さらに下流域での他の微高地においても同様に断面を掘削し、検討を加えた結果、例外なく loc.2 の断面(図 3-6)と同様の堆積構造を呈していることが明らかとなった。すなわち個々の堆積体の層理面は下流に向かって緩く傾斜する。上流側では上下の堆積体との層理面は明瞭だが、下流に追跡すると次第に不明瞭となる。1つの堆積体の上流側で侵食、運搬が行われ、下流側では堆積が起こっているものと考えられる。このため増水時に堆積物が下流側に徐々に付加して、傾斜した層理が形成され、微高地そのものが移動していくことによって形成された構造と考える。

この微高地を構成する堆積体には逆級化成層構造が普遍的に認められる。特に本露頭の下半部にあたる青灰色粘土層より上位 60cm までの各層はラミナ等

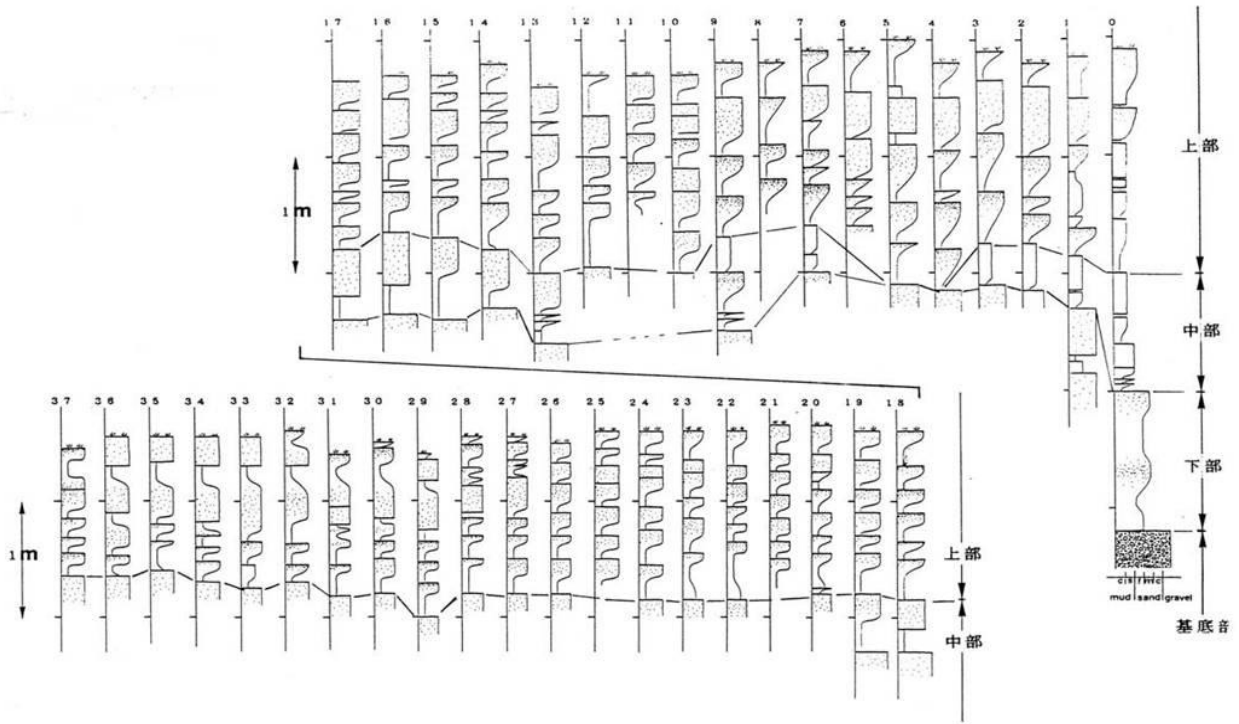


図 3-9 図 3-4 の loc.3 の柱状図

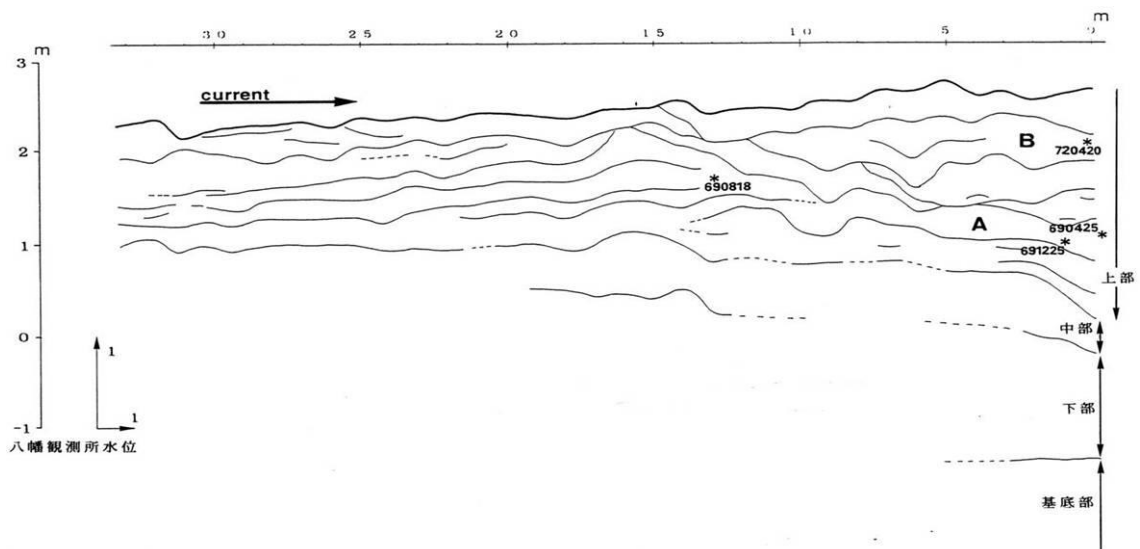


図 3-10 図 3-4 の loc.3 のスケッチ. 数字はゴミから判読できた製造年月日.

は認められず、シルトから砂へと単層内で漸移的に上方粗粒化する層からなり、連続性は良好である。

一方、本露頭の上半部は下半部に比べ内部堆積構造が明瞭に識別でき、トラフamina、プラナーラミナの発達した層である。この構造はA・B地点(図3-6)で顕著に観察されるが、いずれも下流方向に追跡すると10m程度で連続性は不明瞭となる。

A地点(図3-6)には最上部に厚さ7cm程度の粗粒砂とその上位に厚さ3cmのシルトから粘土に上方細粒化する層が最上部を形成している。これら2層はとりわけ固結度が低く堆積粒子は容易に分離できる。B地点(図3-6)上部に発達する厚さ2~3cmのプラナーラミナから得られる流向は微高地の長軸方向と一致している。C地点では粘土から中粒砂に上方粗粒化し、mmオーダーのプラナーラミナが発達する層が最上部を形成している。

また、この露頭においては、上方細粒化する正級化層理も認められるが、逆級化成層構造を呈した層理がより普遍的に認められ、下流方向への連続性も良好である。

3) 図3-4のloc.3の露頭

本地域最大の微高地である。露頭最下部と中部にそれぞれ2枚の顕著な逆級化成層を含む。最下部で低水時の水面からおよそ5mの標高差がある。高さ約2mの露頭のうち、下部50cmはシルトに始まり細粒砂または細礫に至る逆級化成層構造を示す。上部140cmは砂主体のプラナーラミナが発達し、比較的粗粒である。

4) 図3-4のloc.4の露頭

本地点は、現在は低水時に幅3m、長さ10m程度の礫質の河床が水面上に露呈しているが、航空写真の判読によれば、1987年には幅10m、長さ30m程度の露出が読み取れる。この露出は洪水の度にある程度の消長を示しているようである。本地点の堤防側高さ2~3m、長さ約50mの露頭が見られる。この露頭の側方1mおきの柱状図が(図3-9)であり、各堆積体の境界を実線で示すスケッチが(図3-10)である。ただし断面図は縦に対して横が3分の1の縮尺で表現してある。

本露頭における堆積物を、基底部、下部、中部、上部に分けて記載する。

基底層は、チャートを中心とし、大礫で比較的円磨度の良い礫層である。水面上に露出した河床表面の礫には 10cm 程度の砂岩角礫が混入しているが、これは近世の河川改修時に人為的に投入された栗石と思われる。礫と礫の間には細粒砂が充填し基質を成している。また酸化鉄が付着して礫表面が赤褐色を呈している。低水時においてもその上部 20cm 程度しか露出していないため下限は不明である。この礫層からは古銭(図 3-11)が産出した。磨耗が著しいが、その表面の文字は「至道元寶」と読みとれる。日本貨幣商協同組合(1993)によれば、北宋期の至道元年(西暦 995 年)に鑄造された銅銭である。このような渡来銭(imported coin)は遣唐使、遣隋使などが中国より持ち帰ったのを初めとして、多くは平安末期より鎌倉、室町時代にかけて幕府または民間貿易により輸入された。皇朝銭の鑄銭停止(958 年)以後、寛文十年(1670 年)の渡来銭使用禁止令までの数百年間、わが国の通貨として広く利用されたものである。したがって、基底層の堆積物は 10 世紀～17 世紀のもと考えられる。後述のよう



図 3-11 基底層の礫層から産出した古銭「至道元寶」。北宋期の至道元年(西暦 995 年)に鑄造された銅銭。

に明治期以降の木津川付け替え工事以降にこのような礫を堆積させるような大洪水の記録はないことから江戸時代以前の 10～17 世紀の堆積と考えられる。

下部は層厚 1m 程度で、主として厚さ 1～2cm の斜交ラミナが発達する中粒砂層である。一部、粗粒～極粗粒砂や大礫を挟む部分がある。現在の木津川の中州においても同様の堆積物が認められることから、現在と同程度の河川営力

下の場で堆積した河川堆積物と判断できる。

中部は、厚さ 30～100cm の淘汰良好の中粒～極細粒砂層で、トラフラミナが発達する。また底部にシルトの薄層を含む。トラフクロスラミナの示す流向は現在の木津川の流向に斜交する。層理面は不規則に凹凸している。一部 9 層に識別できる部分もあるが、ほとんどが 1～2 層で側方変化が他の部分より著しい。このような堆積物は、現在の木津川の中州上を網状に流れる小水路により形成されたものと区別がつかず、極めて類似した堆積物と判断される。

上部は、厚さ 10～50cm の逆級化成層層が何層も繰り返している。正級化した層も一部に認められる。ここでの逆級化成層層は粘土に始まりシルトまたは細粒砂にとどまり、上流の図 3-4, loc.1～3 と比較して層全体的に細粒な堆積相で特徴付けられる。図 3-9 に示したように、十数枚識別される各層理は上流から下流に付加する形態を示し、砂堆は徐々に下流側に前進していると判断できる。

ところで本地点の堆積物には人工物すなわち様々なプラスチック、ビニール製のゴミや空き缶が大量に含まれている。図 3-10 中に示した数字はそれらゴミから判読できた製造年月日であり、ゴミの示す製造年月日は堆積物に関して”示準化石”として利用できる可能性がある。これらの”示準化石”を用いた堆積物同定の詳細については項をあらためて述べる。これらは 1960 年代以降、日本が高度経済成長期以降に大量消費社会に変化し、河川に大量の廃棄物が流入するようになった時期の堆積物であることは明らかである。

最上部は、厚さ数 cm のシルトに始まり細粒砂に至る逆級化成層構造を示す最も直近の洪水堆積物である。側方への連続性は悪い。

3.2.4 ゴミを示準化石とみなした教材の作成

1) 過去の洪水記録との対比



図 3-12 半ば埋まった状態の製造年月日等が判明するアルミ製の飲料水の空き缶類．左上は掘り出した状態．

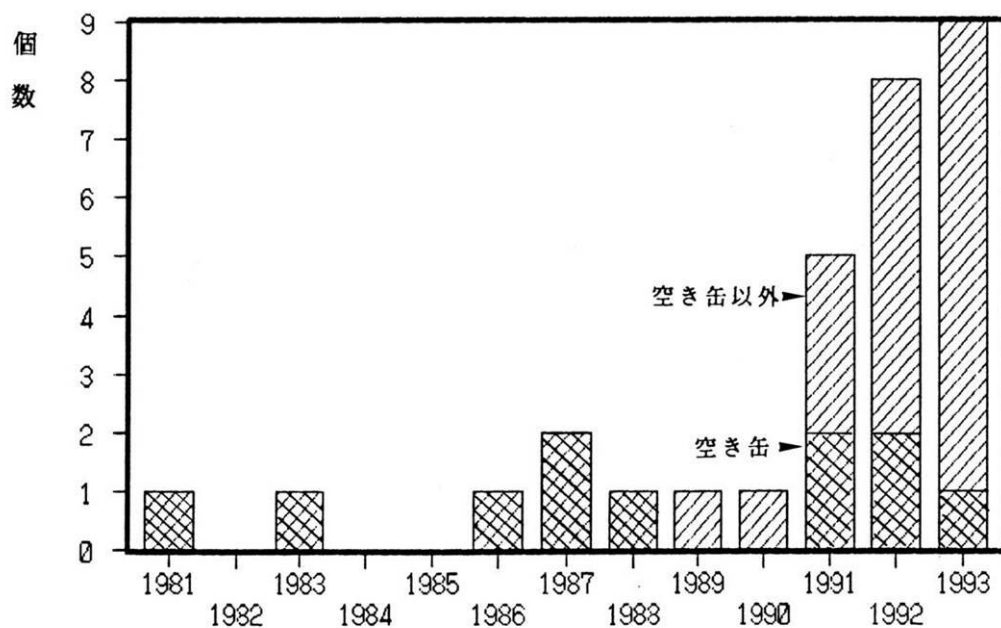


図 3-13 洪水直後のゴミの製造年月日等は過去 2 年以内がほとんどである．同一の地層中に複数個の同年製造のものが認められれば，2 年程度の範囲で堆積した年代を特定できる．（戸倉，2003）

堆積物に含まれる人工物いわゆるゴミを利用した堆積年月日の推定が試みられている（池田ほか，1985 や鈴木，1993）．本項では堆積構造と八幡水位観測所の水位記録（御幸橋上流約 500m の京阪電車鉄橋直下に建設省淀川工事事務所が設置）とあわせて，さらに精度を上げて堆積日時を推定する．

洪水後の表層ゴミの年代分布：”示準化石”としてのゴミの有効性を検証す

るため、洪水直後の 1993 年 7 月 6 日に、離水した河原に散乱しているゴミのうち、製造年月日の判読できたもの（図 3-12）の記録をとった（図 3-13）。それらは洪水流の比重と近く、かつ腐敗しないので堆積物中に含まれていることが多いプラスチック製品やビニール袋やスチールもしくはアルミ製の飲料水の空き缶が大半を占めている。

製造年の分布は過去 10 年程度にまで広がっているが、より古いものは一旦地層中に堆積したものが洪水により再び洗い出され再堆積することで説明できる。

しかし、数年以上過去のもの同一年を示すものが複数個あることは少なく、ほとんど産出は単一である。しかも 1988 年以前のもはすべて缶である。缶の方が腐食に対して抵抗力があり、より古いものまで残ると考えられる。したがって、これら 1988 年以前の缶類を明らかな再堆積として除外すれば製造年の分布幅は狭くなり、至近の増水である 1993 年に近づく。以上のように、圧倒的に多いのは過去 2 年以内であり、同一の地層中に複数個の同年製造のものが認められれば、2 年程度の範囲で堆積した年代を特定できる。

上記の推定に加えて、過去の増水時の水位変化記録を参照すると、本地点ならば、増水から減水に転じ水没したところが再び水面上に露出し堆積が終了するのに要する期間はせいぜい 1 日である。数年に一度程度の出水間隔ならば、水位観測所の記録とあわせれば、ほぼ確実にその堆積年月日は決定でき得る。

2) 各露頭の年代決定

(1) 図 3-4 の loc.1 の露頭

本露頭上半部の逆級化層理の形成年代については不明だが、以下のことから明治時代以降 1950～60 年代までのものと考えられる。露頭の最下部には水制工事もしくは河川護岸工事の際に投入された直径 20cm 程度の緑灰色砂岩やコンクリート塊が見出される。また、図 3-8 のスケッチ外において（本露頭のわずか数 m 上流の最下部砂礫層に相当する層より）手吹き製と思われるガラス製の瓶（図 3-14）が認められた。これは肉厚がかなり不均一で細泡も点在する。現在広く流通している大量生産された規格品ではない。



図 3-14 最下層より産出した明治時代以降に製造されたガラス製の瓶.

したがって、本露頭の堆積物は明治時代以降であることは確かである。ところで本調査地域の他の露頭では 1960 年代以降の製造年月日が記入された”ゴミ”類の混入は一般に認められるが、本露頭中からは製造年月日の有無に関係なく混入が認められない。後述のように上半部の逆級化層理を成す部分は洪水堆積物であるが、1960 年以前の大規模な洪水としては本露頭付近で約 7m を記録した 1959 年の伊勢湾台風時の洪水があり（図 3-16）、この時の堆積物である可能性が大である。

(2) 図 3-4 の loc.2 の露頭

本露頭の堆積年代は有効な試料がないため不明である。ただし後述のように、最上部は 1993 年 7 月 4 日に形成されたものである。

(3) 図 3-4 の loc.3

小規模な露頭であるため有効な資料が不足しており不明である。1960 年代以降に市販されている清涼飲料水のプラスチックボトルを含んでいることは判明している。

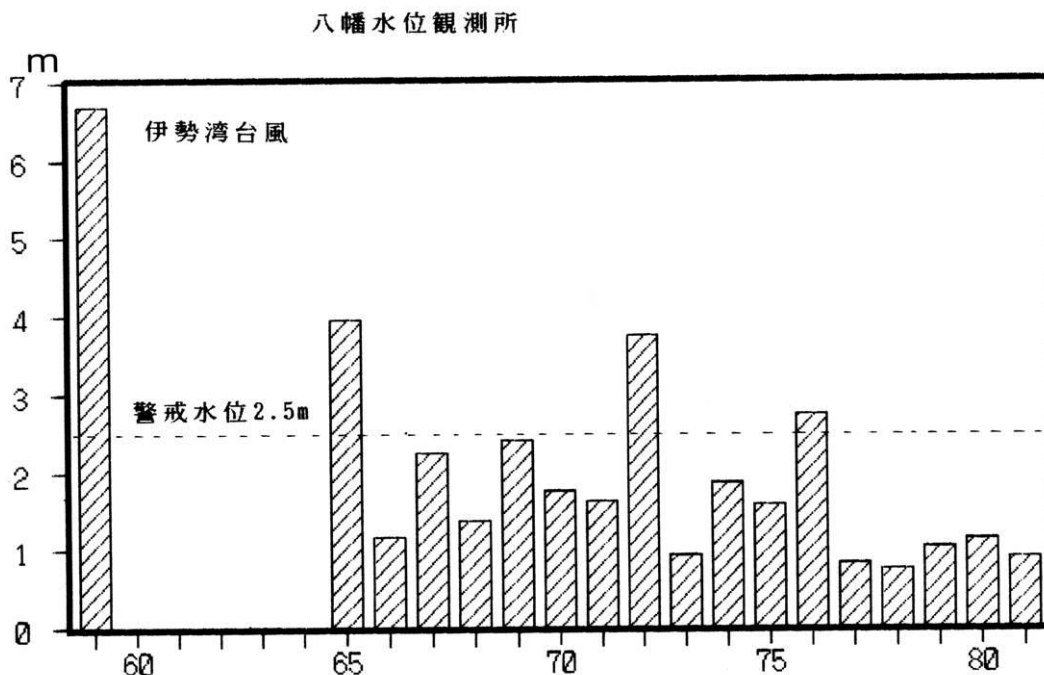


図 3-15 過去の各年の年間最高水位．伊勢湾台風時が桁外れに高水位であった．

(4) 図 3-4 の loc.4 の露頭

図 3-15 は建設省淀川工事事務所（1965～1981）の水理年表による八幡観測所における年間最高水位を示している．比較のために 1959 年の伊勢湾台風時の水位を同グラフ中に記す．以後この記録は更新されていない．

図 3-10 の各堆積体に含まれるゴミのうち、堆積体 A については以下のことから 1970 年 7 月 6 日に堆積物したものであると結論した．A に含まれるゴミのうち複数のものが 1969 年を示しており、しかも 12 月 25 日の日付があることより 1969 年 12 月 25 日以降の堆積物であることが推定できる．より上位の B 堆積体については製造年月日の判読できるものの産出がただ一つであるため断定は難しいが、1972 年 4 月 20 日以降と考えられる．1972 年 9 月 17 日の出水が 3.2m とかなり大きい水位を示している（図 3-15）こと、これは B での水深が最低でも 2m 近くになるような出水であり、水位計の記録ではこの前後 2 年間の出水はゴミ産出地点まで上がっていない．したがって、堆積体 A は 1970 年 7 月 6 日の、堆積体 B は 1972 年 9 月 17 日の増水で、本地点が水没するような出水の時の堆積物と推定できる．

なお、以上のようにゴミをあたかも示準化石のごとく見なす堆積日時を推定する過程は 2003 年 3 月，高等学校地学 I B 用教科書『高等学校・地学 I B』（大森，森本他，2003）全 208 頁のうち 140 頁～141 頁の作成に協力し，探究活動として引用され，地層の成り方を探る高校生用の実習（図 3-16）として使用された．その後の改訂時にも引き続き地学 I 用教科書（大森，森本他，2010）に掲載された．

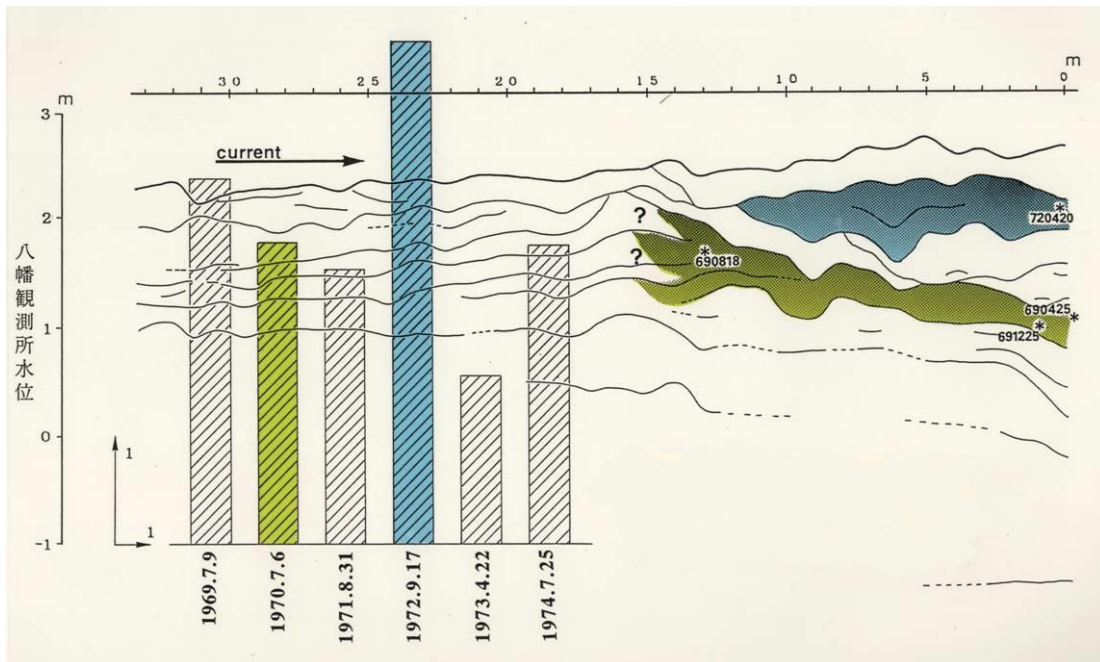


図 3-16 高校生用の地学教科書に実習として使用された，ゴミをあたかも示準化石のごとく見なす堆積日時を推定する学習課程用の図．

3.3. 「はぎ取り地層」と自作実験装置を使った逆級化層理を理解させる授業実践

3.3.1 はじめに

地学を構成する様々な学問領域の中で，堆積学的内容は人間生活とも関わって重要な意味を持っている．例えば，沖積平野形成のメカニズムを理解することから，水害対策を考えることにもつながる．しかし，堆積学が学問的に独立したのは古くない．近年，学術的には地球惑星合同学会，地質学会における

堆積学の領域で、その成果は著しく進んでいるが、他の領域に比べて注目されたのは遅れた。また、永田(2003)が指摘するように日本の「川教材」は明治以来『自然科学の基礎的な概念や法則』を教えることを重視するか、『身近な自然現象として郷土の川を取り上げる価値』を重視するかの間で対立構造があり、両者の垣根を越えた教材化に成功することなく現在に至っている。

このことは高等学校の教科「地学」にも影響を及ぼしており、堆積学に関係した教材研究は少ない。本項では、堆積学的内容(実験装置の開発も含めて)を高校地学教育においてとりあげることの重要性を逆級化層理(単層内で基底から上方に向かって粒径が増大する成層構造)の形成を例に論ずる。

高等生を対象とした堆積学分野の教材の報告例は少ない。義務教育段階には数多くあり、たとえば学校近くに適当な露頭があれば、南部(1996)や白井(2007)などが野外実習を取り入れた授業展開を提案している。河川についても大平・岩田(1983)や宮下(1995)や川辺(2007)は河床を掘って地層観察することを提案している。また、多賀他(2009)の土石流堆積物を用いた例が数少ない高校生を対象とした例としてある。これら報告された教材、特に実験装置についてはペットボトル等を利用して泥～砂が入り交じった状態で震盪した後、静置し自然に沈降させることで級化層理をつくる実験は教科書にも掲載されているが、あくまで静水中に堆積する場合の例でしか過ぎない。あるいはまた、坂本他(1997)は円形水槽の水を手で一方向にかき回すことで水流をつくり、リップルマーク等を観察させる実験を提案しているが、生徒にとっては実際の河川の様子となかなか結びつかないという欠点がある。

表 3-1. 実施した逆級化層理の授業プログラム

| 学習内容 | 教師の指導・支援・ 演示 | 生徒の観察・考 察 | 備考 |
|--------------------|---|----------------------------|-----------------------------|
| 1) 級化層理 | 中学校や1年生時の 既習事項の確認 (重力と水中での堆 積) | 物体の重さと落 ちる速さに注目 した考察 | 自由落下運動の 法則は真空中に 限定される |
| 2) 終端速度 | 級化層理の成因を説 明 | 落下実験 | 戸倉(2010) |
| 3) 級化層理の でき方の観察 | 「洗濯のり沈降管」の 提示と説明 | 流体抵抗力があ る中での物体の | 戸倉(2010), 図 3-18 |

| | | | |
|----------------------|--|--|--------------------------------|
| | | 落下の様子を観察 | |
| 4) はぎ取り地層の観察 | 河川堆積物の露頭からはぎ取ってきた地層を提示 | 堆積物の粒径の違いが層理の成因となっていることを観察 | |
| 5) 逆級化層理の観察 | 逆級化層理を示すはぎ取り地層を提示 | 地層の上下を判別する | 図 3-19 |
| 6) 洪水時の水位変化と逆級化層理の形成 | はぎ取り地層を用いて考察させる (質問 1) 地層の上下判定について (質問 2) 逆級化層理の成因について | はぎ取り地層の詳細な観察をもとにする ⇒ 級化層理と逆級化層理の考察 ⇒ 逆級化層理の成因の考察 | 身近な河川の流量変化の様子を示す 図 3-20 |
| 7) 演示実験「逆級化層理をつくる」 | 逆級化層理のでき方を演示実験で示す | 水槽中に投入される堆積物の粒径の変化と水底にできる層理の関係を観察 | 図 3-21 |
| 8) 感想文の作成 | | 学んだことの整理 | |

また市販の簡易実験装置は堆積作用の演示に重点を置いたつくりで汎用性にかける。それらを克服すべく何件かの実践が報告されている。たとえば、萩原ほか(2008)は「地層のできかた」の指導方法を詳細に検討し、授業実践のみならず、彼らの工夫を現職教員の研修の場にまで提案している。富永(2010)は単にできた堆積構造が観察できるだけでなく『堆積作用のプロセスを逐一観察できる』優れた自作装置を発表し『地層ができたとき直感的に認識できる』としている。しかし自作するにしても時間や手間を考えると多く場合困難がある。少なくとも逆級化層理をつくる装置ではない。そこで、本論は以下に述べるような逆級化層理の形成を目の当たりにし、視覚的に理解させることを目指した装置をも開発した。

まず、逆級化の前に正級化層理を理解させることから始めた。これは多くの実践がなされている。本論文でも、前述の静水中に沈殿させて分級する現象を観察させている。また、その成因も小学～中学段階では、粒度の異なる堆積物が比較的深い静水中に堆積した場合を例にあげている。後述するが授業後の生徒の感想文にも過去の印象に残る実験として触れている者もいることから広く

実践されているものと思われる。いきなり水中での堆積物の挙動を考察することは難しいと考える。また、過去の授業実践から得た印象や田中・宮脇(1992)が示すように、中学生レベルでは「流れる水の働き」と「地層」の学習内容は中学生なりに体系付けられていることが予想されたこともあるからである。さらに言えば、一旦得た知識の上に逆級化層理という「反例事象」を提示することで福岡他(1994)が有効性を指摘した「概念変容による学習支援」を目指した。

文部科学省(2003)は指導要領「地学Ⅰ」において、2. 内容(1)地球の構成に『惑星としての地球の特徴及び地球表層や内部に見られる地学的事象を観察、実験などを通して探究し、地球表層や内部を相互に関連させ、地球の歴史の経過の中でとらえることができるようにする。』とし、3 内容の取扱い(1)内容の構成及びその取扱いに当たっては、『次の事項に配慮するものとする。ア 中学校理科との関連を考慮しながら、地学の基本的な概念の形成を図るとともに、地学的に探究する方法の習得を通して、科学的な思考力、判断力及び表現力を育成すること。イ「探究活動」においては、各項目の学習活動と関連させながら観察、実験を行い、創意ある報告書の作成や発表を行わせること。また、それらを通して、仮説の設定、実験の計画、情報の収集、野外観察、調査、データの解釈、推論など探究の方法を習得させること。(後略)』としている。

いずれにしても、侵食・運搬・堆積という3要素のうち運搬という動的な働きへの注目度は低い。戸倉(2010)は層理をもたらす粒径による分級が重力と流体の粘性抵抗の合力による終端速度の違いであることを視覚的に示すことによって、これらの理解の手助けとなることを指摘した。

3.3.2 逆級化層理学習プログラムの開発と授業実践

1) 級化層理についての復習

(1)火山灰のたまり方



図 3-17 『麩』を用いた火山灰の堆積モデル実験

筆者が実践した授業(表 3-1)について述べる。対象は筆者の勤務校の高等学校 2 年生 13 名の地学履修者である。まず、復習と学習の動機付けとして導入に使用した。林(2006)を参考に、自作火山模型から食用の「麩」をすり鉢ですりつぶして作成した粒度の異なる「火山灰」を塩化ビニール製のパイプに息を勢いよく吹き込んで頂上から噴出させる。日本上空の偏西風モデルとして扇風機で送風した。生徒は空気中を飛散の後、落下・堆積する様子を観察し、「堆積作用」という現象を目の前で経験することとなる(図 3-17)。

(2)ものの落ち方

次に以下のような質問と提示された選択肢に対する各人の予想発表の後の実験や「お話」による検証を繰り返すことで正級化層理の理解・定着をはかる。生徒の予想分布を表 2 に示す。ただし、この間筆者は転勤しており学校によりカリキュラムの違いがあり実施学年は 1～3 年と様々である。したがって経年変化の分析は本論では行わない。なお、この部分は板倉(1997)提唱の仮説実験授業「人と社会を動かす力学」にしたがった授業運営を行った。

●質問 1. 物が落ちる時、だんだん速くなっているのかそれとも一定の速さで落ち続けるのか？

スーパーボールを机の上 1～2メートルの高さから落とすとどうなるか。

予想 ア. 速さは一定である イ. その速さはどんどん速くなっている

① 生徒の予想分布は表 3-2 に示す。

② 実験結果

正解はイ. である. 現象は一瞬でわからない. だが, 10cm 程度の高さから落下させたときの衝撃音に大小の差があることで落下距離と落下速度に比例関係があることに気づかせる.

●質問 2. 雨が降ってくるとき, 二階でみる雨と一階で見る雨の速度は?

予想 ア. 速さは同じである イ. その速さはどんどん速くなっている. 一階のほうが速い.

①生徒の予想分布は表 2

②実験結果

これは実験不可能なので教師が正解のア. を提示するだけである.

●質問 3. ピンポン球とスーパーボールを高さ 1m ほどの高さから同時に落とすとどちらが先に落ちるか?

予想 ア. 重いスーパーボールの方がはやい イ. 同時 ウ. 軽いピンポン球の方がはやく落ちる

①生徒の予想分布は表 2

②実験結果

表 3-2 質問に対する生徒の予想した選択肢の分布(人) *印は記録なし

| | | 年度 | 2000 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 計 |
|---------|-----|----|------|----|----|----|---|----|----|----|---|----|----|----|-----|
| 質問 1 | 選択肢 | ア | * | 5 | 8 | 9 | * | 9 | 24 | 34 | * | 33 | 25 | 28 | 175 |
| | | イ | * | 23 | 24 | 28 | * | 25 | 38 | 58 | * | 45 | 46 | 50 | 337 |
| 質問 2 | 選択肢 | ア | * | 11 | 11 | 6 | * | 14 | 22 | 16 | * | 11 | 38 | 35 | 164 |
| | | イ | * | 15 | 19 | 26 | * | 21 | 41 | 45 | * | 33 | 38 | 42 | 280 |
| 質問 3 | 選択肢 | ア | 31 | 17 | 19 | 12 | * | 54 | 44 | 49 | * | 63 | 53 | 43 | 385 |
| | | イ | 8 | 8 | 12 | 6 | * | 14 | 13 | 33 | * | 10 | 14 | 17 | 135 |
| | | ウ | 0 | 1 | 1 | 0 | * | 3 | 3 | 10 | * | 5 | 7 | 5 | 35 |
| 質問 4 | 選択肢 | ア | 29 | * | 21 | 24 | * | 48 | 33 | 55 | * | 51 | 52 | 47 | 360 |
| | | イ | 6 | * | 21 | 7 | * | 19 | 23 | 37 | * | 22 | 18 | 23 | 176 |
| | | ウ | 0 | * | 0 | 0 | * | 3 | 1 | 1 | * | 3 | 4 | 2 | 14 |
| 質問 5 | 選択肢 | ア | 16 | 13 | 20 | 26 | * | 47 | 37 | 65 | * | 58 | 56 | 52 | 390 |
| | | イ | 12 | 15 | 12 | 4 | * | 19 | 25 | 16 | * | 13 | 13 | 11 | 140 |
| | | ウ | 0 | 0 | 0 | 1 | * | 2 | 3 | 6 | * | 7 | 6 | 8 | 33 |
| 質問 6 | 選択肢 | ア | 15 | 11 | 14 | 6 | * | 35 | 35 | 52 | * | 24 | 46 | 48 | 286 |
| | | イ | 21 | 11 | 15 | 6 | * | 20 | 16 | 31 | * | 7 | 7 | 16 | 150 |
| | | ウ | 0 | 1 | 0 | 0 | * | 5 | 5 | 0 | * | 1 | 5 | 9 | 26 |
| | | エ | 0 | 5 | 3 | 4 | * | 7 | 9 | 12 | * | 4 | 14 | 11 | 69 |

イ. が正解である. 教師が演示実験してみせる. 現象自体は一瞬だが目で見てははっきりわかる. さらに目を閉じて音を聞かせるとより効果が上がる. つまり両者に差があれば必ず2回の衝撃音が聞こえるはずだが音は1回しか聞こえない.

●質問4. 校舎3階の窓から落としたらどうか?

予想 ア. 重いスーパーボールの方がはやい イ. 同時 ウ. 軽いピンポン球の方がはやく落ちる

①生徒の予想分布は表2

②実験結果

正解はア. である. この実験は実際に校舎を利用して行う. 落下当初は両者の差は見えないが, 2 m 程度落下すると明らか差が現れ, 地表に到達する頃に

は明白な結果が観察できる。

●質問 5. ガリレオ・ガリレイが行ったというピサの斜塔の実験は直径が 2 倍違う(重さは 8 倍違う)鉄球を五十数メートルの高さから落としたと伝えられている。結果はどうであったか？

予想 ア. 重い(大きい)方がはやい イ. 重さによらずほぼ同時 ウ. 軽い(小さい)方がはやく落ちた

①生徒の予想分布は表 2

②実験結果

正解はイ. である。これは実験できないので教師が正解を提示する。

●質問 6. ガリレオと同様なことは日常生活でもある。たとえば大粒の雨と小粒の雨はどちらがはやく落ちてきているのだろうか？

予想 ア. 大粒の雨の方がはやい イ. 雨の降ってくるはやさは大きさ・重さに関係ない ウ. 小粒の雨の方がはやく落ちてくる エ. 雨の降る条件によって違うので何とも言えない

①生徒の予想分布は表 2

②実験結果

正解はアである。実験は不可能であるので教師が正解を提示する。

③考察

(3)ものの落ち方に対する生徒の理解程度

質問 1.からは自由落下に対する概念はほぼ 7 割の生徒が理解し、正答している。ただ近年、正答率は低下傾向にあるようにもみえる。音の強弱が落下速度の大小を表していることは支障なく理解している。質問 2 については質問 1 との相関は調べていないが、アとイの割合はほぼ同じである。単なるモノの落下運動でなく雨という具体的な自然現象に対峙したときの生徒たちの反応、特に自然法則に対する認識に揺さぶりがかけられるのではと思ったが、予想分布の数字からは単なる自然落下現象と考え、質問 1 と同様に考えたように思われる。しかし、ここで多数派の予想を裏切る結果を示されることで教室の雰囲気はガ

ラッと変わり授業への集中度が上がるのが例年多い。質問 3 に関して、重い方が速い、というアリストテレス的認識は根強く、正答率は毎年 2 割前後である。質問 4 に関して、正答率は高い。前問の同時という結果を知って、もっと悩む生徒がいるのでは？と考えたが、数字上は単純に重い方が速いという認識か、前問の分布と大差はみられない。また、空気抵抗に気づく生徒が現れるのが毎年多くはこの実験を観察してからである。質問 5 に関して、あくまで重い方が速いという認識が根強いのであろうか。また前問の結果からの素直な類推であろうか、アとした生徒が 8 割近い。さらに正答者の減少傾向とウとする者の増加傾向が経年変化として見られる。質問 6 に関して、正答率は 5 割強となる。モノであろうが雨という身近かな自然現象であろうが自由落下現象に違いがないことを理解し、さらに空気抵抗を考慮した考察ができるようになってきた印象を生徒の表情やつぶやきから受ける。逆に重い方が速いという単純なアリストテレス的認識が少なくなる。ただ、経年変化を見たときモノと雨を別と考えるイの選択者が減少し、正解であるアが増加傾向にある。

2) 流体抵抗による終端速度の理解と「洗濯のり沈降管の観察」

(1) 終端速度の説明

『自由落下する物体は重力加速度により落下速度はどんどん速くなる。しかし空気抵抗も落下速度に比例してどんどん大きくなる。そして最終的には両者がつりあった終端速度に達し、以降は等速度で落下する。この終端速度は質量に比例するから軽いものほど早く終端速度になりゆっくり落下することとなる。』という内容を平易な言葉で講義し、次項の観察へつなげる。

(2) 観察・実験「アクリル沈降管」・・・正級化層理のでき方



図 3-18 長さ約 1 m のアクリルパイプの底部に形成された正級化層．右はその拡大．

以上の実験を交えた講義の後，戸倉(2010)に従い，沈降速度を小さくし観察しやすくするため洗濯のりを加え、粘性抵抗を大にした液にガラスビーズを少量加えたペットボトルを用いた実験などを示して，級化成層が静水中における堆積物の軽重の差による沈降速度の違いで生じることを理解させる．(図 3-18)

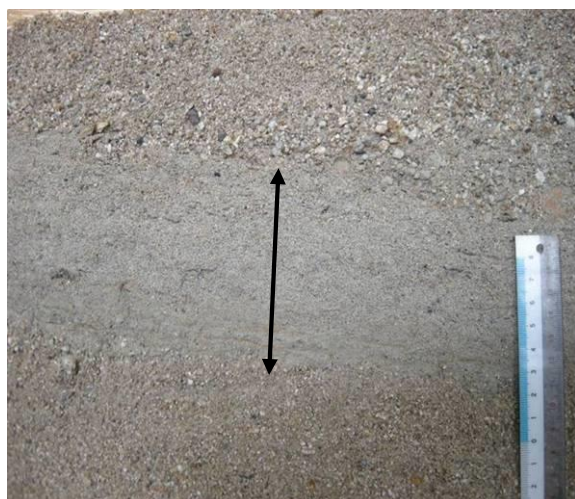


図 3-19 生徒に提示したはぎ取り地層パネル．中央矢印部分が逆級化層理を呈する．

最初に提示するときは縦位置にする．

3) 観察・実験「はぎ取り地層」

戸倉(1996)や戸倉(2002)による級化層理(図 3-19)，クロスラミナなどを写真やはぎ取り地層を提示することによって確認する．その後一転して，生徒に混乱を生じさせることになる逆級化層理を提示する．(図 3-19)そして以下の質問をする．

(1) 質問 1:「どちらが上位か？」

提示した逆級化層理を見せて、どちらが上位かと問う。当然ながらほぼ全員が既習の正級化層理と見て答える。しかし、逆であることを教師から提示され、上記(図 3-19)とは異なる堆積機構を生徒なりに考えさせる。

(2) 質問 2:「逆級化層理の成因を考えてみよう(はじめは意見が出にくい様子だったので、ヒントに『河原ではぎ取ってきたもの』ということのを後に加えた。)

4)生徒が考えた逆級化成層の成因。

- i 正級化が何回か繰り返していて、その中間部を見ているから。
- ii 流量の変化。はじめは少ないから細粒、その後、増加し粗粒になった。
- iii 洪水で堆積物が混ぜられたから。
- iv 最初に砂が堆積した上に小石がたまったから。
- v 川の上流でどんどん削られて粗いものが流されてきたから。
- vi 正級化して堆積した地層が人間にひっくり返されたから。
- vii 最後に速い流れで大きな石が流されてきたから。
- viii 洪水で小さな石が大きな石の隙間に入って逆級化に見える。

5)洪水時の水位変化と逆級化層理のでき方の講義

現在の研究者が到達した逆級化層理形成の成因は伊勢屋(1982)や山本(1994)によると『洪水時、高水敷の河岸付近は、低水路の高速流による横断方向の流速差によってそこに渦が発生し、低水路で巻き上がった河床の浮遊砂が流水とともに高水敷上へ運ばれ、急速な流速および掃流力の低下に伴い高水敷上に堆積したもの』で、『下層に洪水初期に堆積した泥層が薄く入り、その上に均一性の良い砂が乗る。』とされる(図 3-20)。この内容を講義し、次項の観察へつなげる。

6)観察・演示実験「逆級化層理をつくる」

1)目的：逆級化成層が洪水時の流速変化に応じた運搬・堆積粒子の粒径変化の結果であることを理解させる。

2)準備物：透明アクリル製水槽，砂(シルト～細礫)，発泡スチロール板，ペ

ットボトル

3)操作

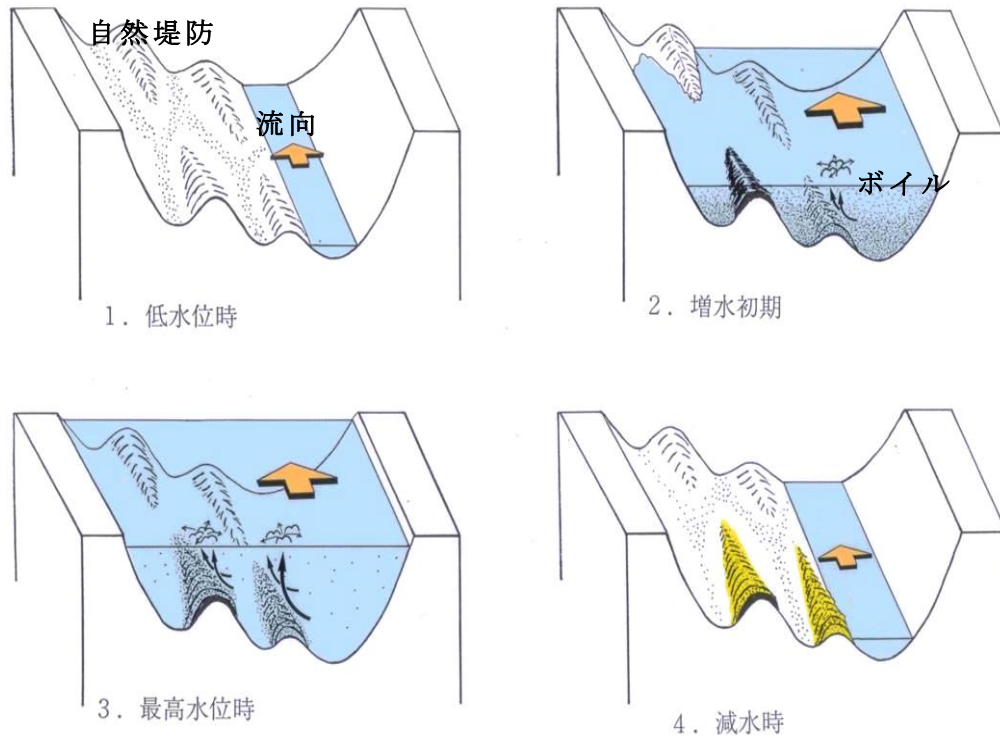


図 3-20 授業の際，説明を補助するために生徒に示した逆級化層理形成の概念図．

①水槽に発泡スチロールで斜面をつくる．河川系において逆級化層理が観察される場所である自然堤防外側の氾濫原の一部分を模式化した．増水によって自然堤防を逸流した水が土砂を運搬することをあらわす(図 3-21)．水槽は使用する水の量や後の清掃も考慮すると小さなもので十分である．筆者は縦×横が 154×160 mm で厚さ 20mm を使用した．(樹ナリカ製で本来はメダカやアリといった生物観察槽(6 個 ¥1,4000, 2010 年 12 月調べ)である．

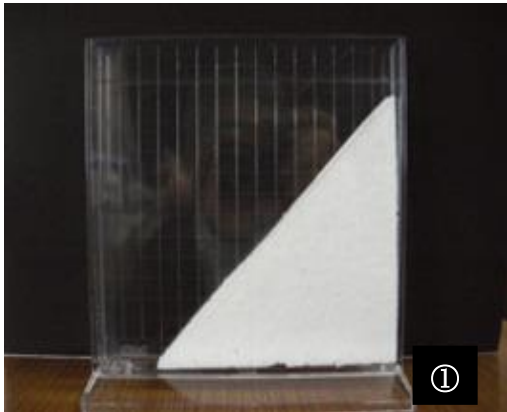


図 3-21 逆級化層理を“つくる”実験手順

①水槽中に作った発泡スチロール製の斜面。



②細粒の堆積物を最下部にあらかじめ厚さ 1cm 程度入れておく。



③砂や細礫を水と一緒に発泡スチロールの斜面上方から流し込む。



④先の堆積物の上に，より粗い堆積物を斜面から流し込むことで形成された逆級化層理。

②最も細粒の堆積物を最下部に厚さ 1cm 程度敷きつめる。水位はこの堆積物が浸る程度にする。これは、洪水初期に自然堤防をあふれて氾濫原に流れ込む水流は流速が遅く、細粒なものしか運搬してこないことをあらわす。シルト～細粒砂の入手方法については川原の砂を篩でふるうというのが本来であろうが、手軽に入手できるものとしてホームセンター等で購入できる材料を探した。園芸品コーナーでレンガやタイルの目地財として販売されている珪砂(10kg 入りで¥500 程度)を使用した。これはシルト～極細粒砂で粒度もそろっている。実際の逆級化成層では泥～シルトが最下層にあることが多いので今後さらに実験材料に工夫の余地はある。

③中～粗粒砂をペットボトルに入れ水と一緒に発泡スチロールの斜面から流し込む。

④粗粒砂～径 5mm 程度の礫を③と同様に流し込む。

以上のように、3 種の粒径の異なる堆積物を細かい順に流し込むことで、実際の洪水時のように次第に水位が上昇し、流速が増大することによってより粒径の大きな堆積物が運搬され堆積することをあらわした。

③④の順に先の堆積物の上に新たにより粗い堆積物を斜面から流し込むことで多少の洗掘は起こるが、相当勢いよく流し込んでも後からのものは上に堆積し、地層墨重の法則が成り立つことが見てとれる。

堆積物の粒径を揃えるには篩や金属製の箆を使用した。堆積物と水を洪水のように同時に流し込む方法は以下である。

500ml のペットボトルの腹に縦×横数cm 程度の穴を開ける。ここから砂や水を入れるためである。ペットボトルの口を斜面に当てて腹に開けた穴に水道の蛇口からホースを差込み水と一緒に水槽に流し込む。水道設備がない一般教室では電池駆動の灯油用ポンプを使用した。

以上の実験・観察により、粒径の異なる堆積物を順に流入することで逆級化成層が簡単に形成される。逆にいうと、ここまで操作しないと形成できない逆級化成層が現世河川の河原に普遍的に存在することが驚きを持って学習者に伝わる。

7)感想文作成。

1) 以上の内容を1コマ50分の授業を2コマで実施した。最後に生徒の感想文『逆級化層理のでき方の授業を終えて』より一部を示す。

表 3-3 「逆級化層理のでき方の授業を終えて」の生徒感想文（一部抜粋）

| |
|--|
| (1)逆級化層理という特殊な例のでき方がわかった。(男) |
| (2)どのように地層ができるかなんて、今まで考えたこともなかったけど、なんとなくだが、逆級化層理のでき方がわかってよかった。(男) |
| (3)級化層理と逆級化層理という2つのものがあることがわかった。(男) |
| (4)逆級化層理は洪水のときに、水位が増すごとで起こることがわかったし、また教科書に載っていることがすべてではないことを知れてよかった。(男) |
| (5)水の流れ方の違いが、地層の違いを作っていることを知った。川の流れというものを、あまり普段は意識していないがその流れの違いが地層の違いを作っていることを知って興味深かった。級化層理が全てではないことが新たな知識として加わったのでよかった。面白かった。(女) |
| (6)逆級化層理というものがあることを知った。(男) |
| (7)何事も教科書どおりにはいかないことを知った。(男) |
| (8)逆級化層理というものがあるということをはじめて知って、普通の地層でなく逆なものもあるんだと思いました。(女) |
| (9)中学まではあらい小石が下にいて、上に細かい砂がのるのは教えてもらっていたけど、その逆があると知って驚いた。(男) |
| (10)逆級化層理が出来る時に、洪水で石が運ばれてくる前に泥水が砂をためているということを知って驚いた。(男) |
| (11)流水に運ばれて地層ができるといっても、洪水によってできる地層は逆級化層理という特殊なだということを知った。その成因をメッチャ考えて発表したのに粉碎されてしまったのは悲しかった。(男) |
| (12)逆級化層理というものができるのを新しく知った。地層が逆になるのに水が関係しているのは知らなくて驚いた。(男) |

3.4 考察

逆級化層理の理解に関して考察する。一連の授業を終えた後に「逆級化層理のでき方の授業を終えて」として生徒に感想文を作成させた。それらの一部を表2に示す。当然ながら生徒は「逆級化層理」について、見るのも聞くのも初めてである。したがって前記の授業プログラムにおいて、3)項の(2)、教師の

質問 2. 「逆級化層理の成因を考えてみよう」に対し、多少的外れの考察も見受けられる。しかし、地層がただ一度の堆積作用でなく何度も繰り返すことで層理が形成されるということを理解している i (P100 の i ~ viii に対応、以下同) は、級化層理の繰り返しで説明しようとしている。流水の運搬能力に目を付けた ii, iv, vii は、ほとんど正解に近い論理を構成している。しかし、単にはぎ取り地層を観察している段階では「水」もしくは「水の流れ」という用語は使用されておらず、そのため無解答も含め全員が逆級化層理の成因を説明できていなかったと言える。

ところが、講義および実験観察後の感想全般についてみると、無記入の 1 名を除き全員が逆級化層理の成因を理解したと述べ、この一連の学習について「よかった」とか「驚いた」と言う肯定的感想を抱いている。とりわけ、上記感想文(4), (5), (10), (11), (12)に見られるように河川の水の挙動に成因を確認することができている。これは単に写真やはぎ取り地層の観察だけでは生じなかったことである。簡易ながらも実験を含めた本プログラムによる一連の学習によって生じた意識変容であろう。一方、ii や vii といった当初からある程度正しい認識を持っていた生徒の感想には(1), (6), (8)のように単なる知識を得たことを述べているだけで実験観察の効果かどうかは判別できていない。

ところで、初め i の成因を述べていた生徒は(5)の感想文を残している。そこに見られる生徒の意識変容は、当初は単なる知識を組み立てただけの逆級化層理の成因であったが、本プログラムによる学習後、洪水時の流量や流速、懸濁物の増減に伴う流水の変化が原因だと正しく理解したことが分かる。また、当初 v のごとく全く的はずれの成因を考えていた生徒は自身がまったく考え付かなかった成因を学習することで強烈な印象を受けたことを(11)にのべている。

いずれにしても、逆級化層理の成因について、当初 13 名中 5 名が「ぜんぜん分からない」と答え、多少なりとも成因について答えた 8 名中、2 名のみが正解に近かったのに対し、本プログラムによる学習後、無回答の 1 名を除き全員が逆級化層理の成因を理解したと答えた。また、流水の働きに言及した内容に限れば、当初 13 名中 1 名であったものが本プログラム学習後 5 名に増加したことは簡易実験装置等の教材やプログラム開発の効果といえよう。2 時間の授業ではあるが、大部分の生徒の感想文からは流水の営力が運搬能力を決定す

ること、その結果、堆積物には粒径の差違が生じたこと、それが層理として保存されたこと等を学習したと認められる。また、小・中学校での学習内容を思い出したり、それらで自然現象がすべて説明できるわけではないことを学んだりと当初予想した以上の学習効果があったことを示している。つまり、当初ほとんど理解できなかった逆級化層理の成因について、適切な教材を用いた授業プログラムに従って学習すれば、高校生でも充分理解できることが確かめられたといえる。

ただし、指導上の留意点として逆級化成層を作る実験に関しては粒度の異なる碎屑粒子を数回に分けて水槽に堆積させ逆級化層理を作ったものであり、その成因の一過程である「流速の増大によって大きな粒子が巻き上げられる」という現象は再現されていない。授業に際しては、自然現象の複雑さをふまえた上で、天然の逆級化層理と実験装置で作られたものとは規模の違いもあることを明確に説明する必要がある。

3.5 今後の課題

堆積学が学問的に独立して約 50 年である。近年、学会発表や専門の学術誌での発表が盛んに行われるようになってきている。地学教育においては、他の領域に比べて注目されたのは遅れたと言える。このことは高等学校の科目「地学」や義務教育段階にも影響を及ぼしており、地学教育の振興および地学の普及を図ることを目的とし、地学教育全般にわたる学会である日本地学教育学会の学会誌「地学教育」にも高校地学での実践が多く見られるようになったが、それでも堆積学分野の教材研究の報告は多いとは言えない。確かに最新の研究成果をただちに学校教育に反映させることには慎重であるべきであろう。最新の研究成果がそれぞれの学問分野の中で認知され、一般化されるまでにはある程度の時間を要するのは事実である。そのため、教科書に最新の研究成果を直ちに導入することにリスクを伴うことは否定しない。しかし露頭を近くに持たない都会地の学校において身近な河川が格好の教材となりうることを考えればもっと多様な河川堆積物の教材化が図られる必要があると考える。

今後は逆級化層理と洪水との関連をより効果的に理解でき得る授業プログラムの改良や流量と水位の一連の変化やそれに伴って運搬・堆積する粒子のサイ

ズ変化が理解でき、逆級化層理の形成をもたらすダイナミックなプロセスを表現できるような実験装置の工夫を図る必要があると考える。

文部科学省は平成 24 年 7 月「東日本大震災を受けた防災教育・防災管理等に関する有識者会議」最終報告書(文部科学省, 2012)において 3. 東日本大震災の教訓を踏まえた防災教育・防災管理等の展開 (1) 防災教育①防災教育の指導時間の確保と系統的・体系的な整理の項で中学校段階では、「地域の過去の災害や他の地域の災害例から危険を理解し、災害への日常の備えや的確な避難行動ができるようにする。また、学校、地域の防災や災害時のボランティア活動の大切さについて理解を深めるようにする。」とし、さらに④地震・津波災害以外の自然災害への留意点の項において「各地域により災害の特徴は異なる。各地域ごとでも、自然災害や地域の気象特性を熟知した都道府県や市町村の防災担当部局や気象台、消防機関等と連携し、地域の実情に応じた教材を開発することなどの対応が必要である。」としている。過去に学び、得られたデータの効率的活用と災害を忘れないための教育を確立することが理科や地学教育にとって重要な課題であり、逆級化層理から沖積平野の成り立ちに対する興味を持たせる事で、教科教育と防災教育の総合的な理解と発展がもたらされるであろう。

日本の大都市の多くは沖積平野にある。そしてその中に護岸工事で人工改変のすすんだ河川があり、周辺に丘陵や山地がある。平野の一端は海に接することが多く、埋め立て地という人工の平野にいたる形態をとることがおおい。筆者の勤務校の生徒の生活圏で言えば京都盆地から大阪湾に至る地域を例示できよう。

ここに発生する自然の猛威は災害として地震・津波・台風・集中豪雨などのかたちをとる。低地や急斜面・軟弱地盤や人工改変地域といった古くは人が住まなかったところに現在は住まざるを得ないことが原因の一つとなっている。

にもかかわらず、自分達が住んでいる場所がどういう災害が起こりやすいところなのかを生徒たちは知らないで、そのまま社会へ出る。最近になってハザードマップ等が公表されるようになってきた地区もあるがその意味するところを知り、十分活用されているか不明である。現在の地質学で、堆積学の進展を取り入れるのは一般的である、同様に高校地学に堆積学の成果を取り入れるべ

きであると考え。そうすることで、例えば逆級化成層の存在から平野の形成過程を考察し、自分達が住居する場所の水害や液状化といった災害に備えることを学ぶ内容にするべきであると考え。本研究では逆級化層理の学習指導例と簡易観察装置を作成した、特に観察装置には従来取り扱われることがなかった洪水・氾濫という動的な水位・水量変化によって地層が目前で堆積しているという過程を観察できるという点において、高等学校の生徒に新たな興味・関心を生むという意義を認めるが、義務教育段階で災害教育の教材となりえるかどうかの点については今後の課題である。

3.6 文献

- 防災行政研究会(2002):『逐条解説 災害対策基本法[第二次改定版]』. ぎょうせい, 東京.
- Costello, W. R., and Roger, G. W. (1972): Pleistocene sedimentology, Credit River, Southern Ontario, A new component of the braided river model. *Jour. sed. Petrol.*, **42**, 389-400.
- 地学団体研究会(1996): 新版地学事典. 平凡社, 東京, 314.
- 中央防災会議(2008): 伊勢湾台風報告書 1959. 中央防災会議災害教訓の継承に関する専門委員会編, 内閣府,
- 福岡敏行・鈴木克彦(1994): 反例事象提示における生徒概念の変容. 理科教育学研究, **35**, 2, 21-31.
- 萩原伸子・西田尚央・小河佑太力・松川正樹(2008): 地層のできかた. 地学教育, **61**, 9-23.
- 林信太郎(2006): 世界一おいしい火山の本—チョコやココアで噴火実験(自然とともに). 小峰書店, 東京, 127.
- 池田宏・伊勢屋ふじこ・小玉芳敬・太田明雄・高島順子・宮本幸治(1985): 渡良瀬川の草木貯水池における堆砂の地形と堆積物. 筑波大学水理実験センター 報告, **9**, 1-13.
- 池本甚四郎(1962): 巨椋池干拓史. 巨椋池土地改良区, 京都, 737.

- 伊勢屋ふじこ(1982)：茨城県，桜川における逆グレーディングをした洪水堆積物の成因．地理学評論，**55**，9，597～613.
- 伊勢屋ふじこ・増田富士雄(1985)：”逆グレーディング構造”洪水堆積物認定の指標．筑波の環境研究，**9**，63-69.
- 板倉聖宣(1997)：仮説実験授業のABC—楽しい授業への招待—．仮説社，東京，11-22.
- 片田敏孝(2012)：人が死なない防災．株式会社集英社，東京，238.
- 川辺孝幸(2007)：小学校現場との交流学习について—「地層観察と化石採集」の現地学習の実践から—．山形大学教育実践研究，**11**，47-53.
- 木村敏雄・竹内均・片山信夫・森本良平(1973)：新版 地学辞典 第3巻 地質学・古生物学・地形学・土壌学．古今書院，東京，126-128.
- 宮下治(1995)：河床に広がる地層を認識させる学習指導の工夫—東京都昭島市の多摩川河床を例として—．地学教育，**46**，167-177.
- 文部科学省(2003)：学習指導要領，http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/cs/index.htm.
- 文部科学省(2012)：「東日本大震災を受けた防災教育・防災管理等に関する有識者会議」最終報告．東日本大震災を受けた防災教育・防災管理等に関する有識者会議，http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/sports/012/toushin/_icsFiles/afieldfile/2012/07/31/1324017_01.pdf
- 永田英治(2003)：新理科教育入門．星の環会，東京，155-163.
- 南部孝幸(1996)：地域素材を生かした地層観察の具体的な方法．理科の教育，**45**，566-569.
- 日本貨幣商協同組合(1993)：日本貨幣型録 1993 版．日本貨幣商協同組合，東京，309.
- 大平柳一・岩田将之(1983)：小学校6年「地層の重なり方，地層のでき方」—地域の教材化を通して—．理科の教育，**32**，616-620.
- 大森昌衛，森本雅樹他 12 名(2003)：高等学校地学 I B 用教科書『高等学校・地学 I B』．実教出版株式会社，東京，140 - 141.
- 大森昌衛，森本雅樹他 12 名(2010)：『地学 I』．実教出版株式会社，東京，58 - 59.

- Pettijon, F. J., Potter, P. A., and Siever, R. (1972) : Sand and sandstone. Springer-Verlag, New York, 618.
- 坂本 隆彦・目 康夫・藤村 輝美(1997) : 漣痕をつくろう. 地学教育, **50**, 1-7.
- 白井久雄(2007) : 掛川層群を対象とした小学校第6学年「大地のつくりと変化」の地層観察と授業報告. 地学教育, **60**, 33-40.
- 鈴木一久・坂本隆彦・戸倉則正・田中里志・城陽礫層研究グループ(1993) : 現世および地層の洪水氾濫堆積物-淀川と大阪層群. 堆積学研究会 1993年秋季研究集会家外見学案内書.
- 鈴木一久(1993) : 淀川水系各河川の逆級化堆積物—自然堤防帯から源流部まで一, 堆積学研究会 1993年秋季研究集会講演要旨集.
- 鈴木一久(1994) : 1993年9月9日日野洲川洪水氾濫堆積物の3次元形態と堆積構造:1回の洪水氾濫で形成された複数の逆級化構造ユニット. 地質学雑誌, **100**, 11, 867-875.
- 多賀優・久保田善彦・西川純(2009) : 古琵琶湖層群中の土石流堆積物の教材化と生徒理解の変容～高校での観察授業「角ばったレキと丸いレキ」～. 理科教育学研究, **49**, 3, 67-78.
- 堆積学研究会(1998) : 堆積学辞典. 朝倉書店, 東京, 97-99.
- 田中泰成・宮脇亮介(1992) : コンセプトマッピングによる中学生の地層概念に関する研究. 理科教育学研究, **33**, 2, 69-75.
- Taylor, G. and Woodyer, K. D. (1978) : Bank deposition in suspended-load streams: In: Mial, E. D. ed., Fluvial sedimentology. Can. Soc. Petrol. Geol., Mem., **5**, 257-275.
- 戸倉則正(1996) : スプレー式接着剤を使用した地層はぎ取り方法. 堆積学研究, **43**, 83-84.
- 戸倉則正(2002) : これからの理科教育を支える教材. 東洋館出版, 東京, 86-87.
- 戸倉則正(2003) : 河川堆積物を用いた教材の開発—地層に刻まれた日時を読み解く—. 地学教育, **56**, 6, 213-223.
- 戸倉則正(2010) : 高校地学に逆級化層を教材化する必要性を訴える. 日本地学教育学会鹿児島大会講演要旨.
- 富永良三(2010) : 堆積実験装置の自作と堆積構造の再現. 地学教育, **63**, 2, 45-

56.

山本晃一(1994)：沖積河川学—堆積環境の視点から—。山海堂，東京，470。

第4章 まとめ

本論の目的は水害のメカニズムを学校教育で取り扱う必要があり、かつ理解できる内容であることを示すことである。

第1章では問題点を明確にするため理科教育の現状を調査した。まず、わが国における自然災害を学校教育の中にいかに取り上げているかを学習指導要領の文言からその変遷を辿った。学習指導要領はその位置付けから明らかなように、今後10年程度の期間内の社会情勢を見越し、その社会に必要とされる力を念頭に策定され、内容は当初の自然災害の頻発期には学習内容も多彩であったが、次第に社会資本が整備された結果、数1000人規模の死者が出る自然災害が克服されるにつれて、自然災害に関する学習内容は激減した。そのことがかえって自然現象と人間生活のつながりを希薄化した。減ったがゼロにはできないことを考慮すべきであったのだが、自然災害や防災に関する学習内容は希薄化していったのである。しかし2度の大地震を経験した結果、ふたたび災害や防災教育の重要性が見直され取り上げ始めている。これを受けてその学習内容の多くを担当するであろうと思われる「高校地学」の原状を調査した。教科書需要数から想定される履修状況からみた、地学を学習する生徒数、教員採用試験や地学関連学会の会員数等から推定される地学教員数を調査した結果からいえることは、学ぶ側からも教える側からもその絶対数は微々たるものである。

一方、学習内容に関しても堆積学の分野を一例に必ずしも最新の研究成果が教科書等の記述内容に直ちに反映され得ないことを示した。その結果生徒たちの自然災害に関する一般的な知識は日本の災害史を概観する目的で古記録を用いた授業実践「日本の災害」の結果からも推定できるのだが、自分の身近なところで災害が発生しない限り他人事で、普段から想定して備えておくなど考えもしないで多くは社会に出て行くといった課題が指摘できよう。

第2章では、身近な沖積平野における自然災害教育の実践例として津波に起因する河川災害教材を示した。東北地方太平洋沖地震の際の宮城県北上川下流域の学校の津波被害の実態から他地域での同様の津波被害、特に河川の逆流による水害の可能性を学び、歴史地震の記録に依る教材を作成することの必要性を論じた。1154年の安政南海地震に際し、大阪市において津波が河川を逆流す

ることで発生した災害の実態を学習するものである。古地図に描かれた浸水域を方位・縮尺を現行地形図に合わせ再構成した地図と大阪市大正橋の碑文の読みと口語訳を対照できるように作成した教材資料を示し、地域の特性に応じた教材の具体例として提案した。

第3章では洪水のメカニズムを学ぶ河川災害の授業を提案した。この学習プログラムにより、堆積学に関して何ら専門的知識をもたない高校生であっても段階を踏めばある程度理解できることが確かめられた。この学習プログラムを通して地層が遠い大昔のものであるという認識から、いままきにつくられつつあるものとして実感できる効果があり足下のアスファルトに覆われた沖積平野が洪水という自然現象の繰り返しで形成されたと思ひ至るきっかけになりえることが確認できた。野外を見る目の新たな観点を示すことができたともいえる。すなわち、未固結の現世河川堆積物こそが今形成されつつある地層であるという事実である。さらに、そこに含まれているゴミを示準化石と見なすと、地層の年代決定の疑似体験をすることができる。この作業を通して学習者は地層が遠い大昔のものであるという認識から、いままきにつくられつつあるものとして実感できる効果がある。今まで地学領域ではあまり重要視されなかった身近な川が、逆に地層学習における豊富な教材提供の場となり得ることを示したもののいえよう。本章では以上のように野外観察・調査を踏まえたうえで、空間、時間的スケールの大きい洪水という地学現象を実験室内で復元しようとしたモデル教材の開発とその活用を探り、効果があったことを確認した。

以上3章にわたって水害のメカニズムを学校教育で取り扱う必要があり、それはプレート沈降帯という変動帯に位置するわが国の国民的教育課題である。

にもかかわらず高等学校「地学」が担い切れない現状がある以上、義務教育段階において担当しなければならない。そしてそれが効果のあることは東日本大災害において岩手県釜石市で実証されている。さらにその学習内容は学習者に理解できる内容であることが当然である。本論ではたとえ最新の研究知見であって教科書にも記述されていない内容であっても、準備に工夫をし、学習者の実態にあわせ、段階を踏むことでそれは十分可能であることを示した。

謝辞

本研究をすすめるにあたり、多くの方々のご支援とご協力を賜りましたことをここに記し、感謝の言葉とさせていただきます。

主指導教官である上越教育大学大学院学校教育研究科藤岡達也教授には、大学院博士課程の3年間にわたる講義・演習・論文作成等に関し、主指導教官として懇切丁寧にまた、私が大阪在住で配属先が上越教育大学であったため、毎回の御指導に際し、わざわざ大阪サテライトまでお出向きいただき、ご指導賜ったことは本当に感謝にたえません。藤岡先生の遠路はるばる労をいとわぬ御指導、また常にあたたくいただいた励ましのお言葉がなければ途中で挫けていたかも知れません。ここに記してあらためて感謝の意を表します。本当にありがとうございました。

また、副指導教官である兵庫教育大学大学院学校教育研究科澁江靖弘教授には大学院博士課程の3年間講義・演習・論文作成等に関し、私が現職教員であるために講義・演習の時間に関してはその実施においてさまざまにご配慮していただき、多大のご指導を賜りました。さらに、研究を進める上でのさまざまな有益かつ示唆に富むご教示をいただき終止ご支援いただいたことを記し、ここに厚く御礼申し上げます。

加えて、本研究にあたって何よりも私の拙い授業を受けてくれて貴重な実践データを提供してくれた京都府立北嵯峨高等学校生徒の地学選択生たちおよび過去30余年にわたって私が勤務した京都府立南丹、北嵯峨、乙訓、向陽、朱雀の各高等学校の生徒諸君全てに、心からの感謝の意を記します。本当にありがとうございました。

最後になりますが、2011年東北地方太平洋沖地震による『東日本大震災』で犠牲になられた方々に哀悼の意を捧げ、本論文の成果が将来の災害に対する防災対策に少しでも寄与できることを祈念いたします。

あの津波のあと、ずっと考えていました。遠く離れた場所にいる自分に一体何ができるのか。何か役に立てることはあるのだろうか。そうおもいながらも何もしない、出来ないまま時間だけがどんどん過ぎてゆく。テレビは厳しい数字を流し続けるばかりである。日本だけでなく世界各国からボランティアが駆けつけるニュースが毎日流れるなか、自分はただ真近に迫った新学期をむか

え、授業をするしかないのだろうかと思問した。時がたてば忘れ去られてゆく記憶を何とか自分の授業の中で語り続けてゆくこと、語ったことを文章にして残すことが自分に与えられた仕事ではないか。そんなふうに思い至った。

末筆ながら、大学院受験を思い立ってはや足かけ5年経った。この間終始協力してくれた母悦子、妻栄華、はたまた受験に際し現職である自分の最弱点は語学であり、この対策として準備期間に高校英語を一から復習することにしたが、事にあたり、子どもたちの清香、雄大、明がこころよく各自の教科書やノート等を提供してくれたことが大いに役立ったことを記し、改めて謝意あらわす。

2013(平成 25)年 6 月 2 日

亡父貞一の七回忌(23日)を前にした日に寄せて

戸倉則正