

万之瀬川下流域の地質とその教材化

加世田高等学校 西 健一郎

1. はじめに

高等学校における新教育課程も2年目となり、本校では平成7年度から2年生文系で地学IBを週4時間開講している。新教育課程の理科では、「探求活動」が新たに加えられ、実験・観察を重点的に授業に盛り込んでゆくことが計られており、身近な教材を生かすことの重要性は益々高まっている。

南九州一带には、一般に“シラス”と呼ばれる火砕流堆積物非溶結部が広く分布する。従来、シラスに関する研究は地質学・岩石学・火山学・地形学・応用地質学など多岐にわたっているが、シラス特に“二次シラス”に主眼をおいた研究は少ない。そこで筆者は、万之瀬川流域での二次シラスの分布を調べ、その教材化をはかることを目的として、夏季休暇に万之瀬川下流域を中心とした野外調査と堆積物の粒度分析を行なった。本論の内容は、平成6年度県派遣国内留学の成果をもとに述べ、特に二次シラスの成因について考察する。

本論における「シラス」は入戸火砕流堆積物非溶結部を指す。

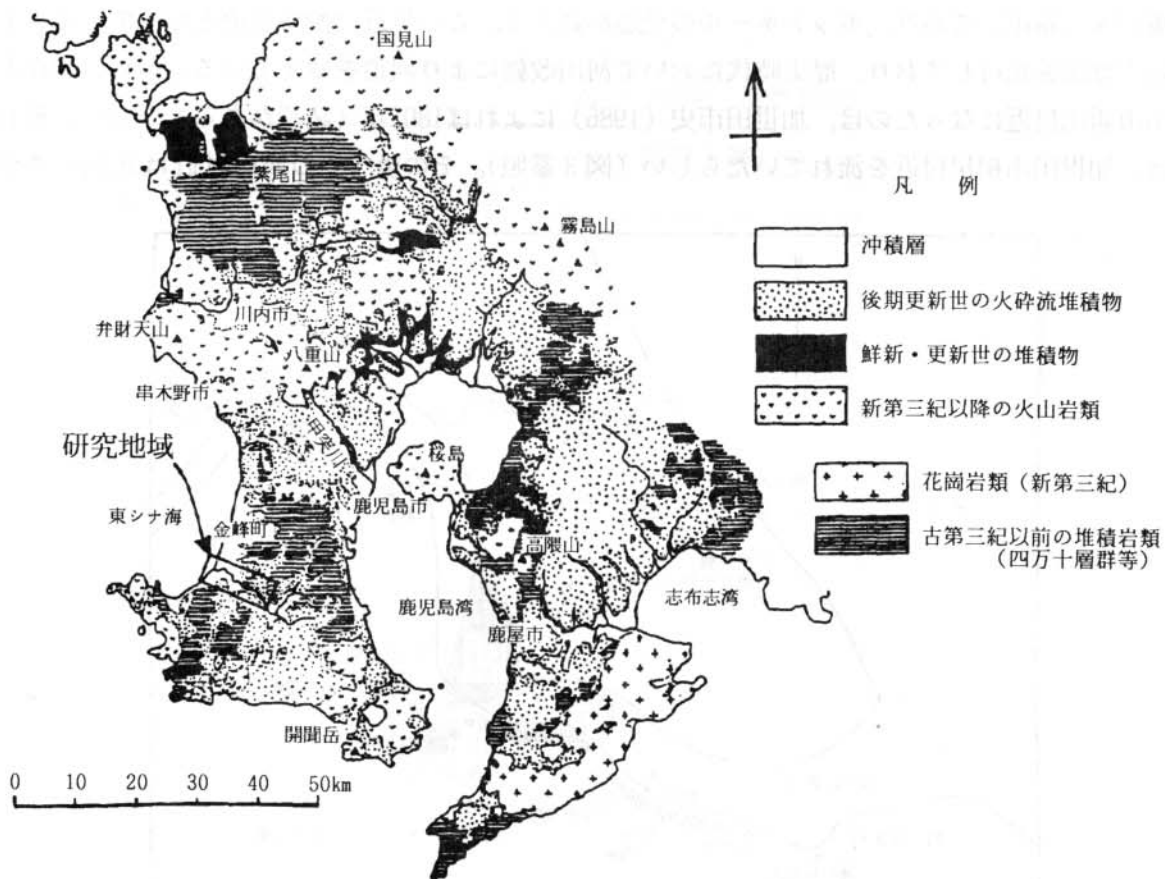


図1 研究地域位置図
(横田修一郎 原図)

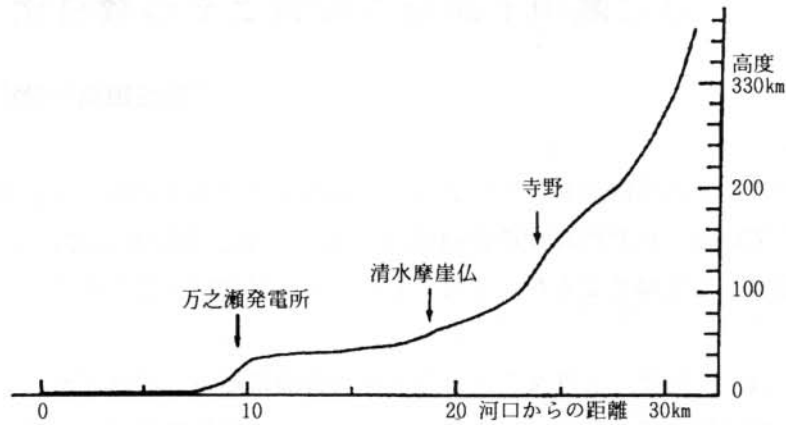


図2 万之瀬川縦断面図
(加世田市史(1986)より引用)

2. 万之瀬川について

鹿児島市錫山に源を発し、川辺盆地を縦断しながら加世田市新川で東シナ海へとそそぐ二級河川である(図1参照)。全長は36km、流域面積は381km²で、昭和62年からは鹿児島市へ水を供給している重要な河川である。図2には万之瀬川の縦断面図を示す。源流から川辺盆地までは急流であるが、そこから河口までは緩流となっている。ただし、万之瀬発電所付近では阿多火砕流堆積物の溶結部が直接河床に露出しており、ポットホールの発達が顕著で、この付近はやや急流となっている。下流域は平野部を蛇行しており、歴史時代において河川改修により河道を変えている。河口は現在の加世田市新川付近になったのは、加世田市史(1986)によれば1802年(諸説がある)からで、それ以前は、加世田市相星付近を流れていたらしい(図3参照)。その後、その河口付近は北西の季節

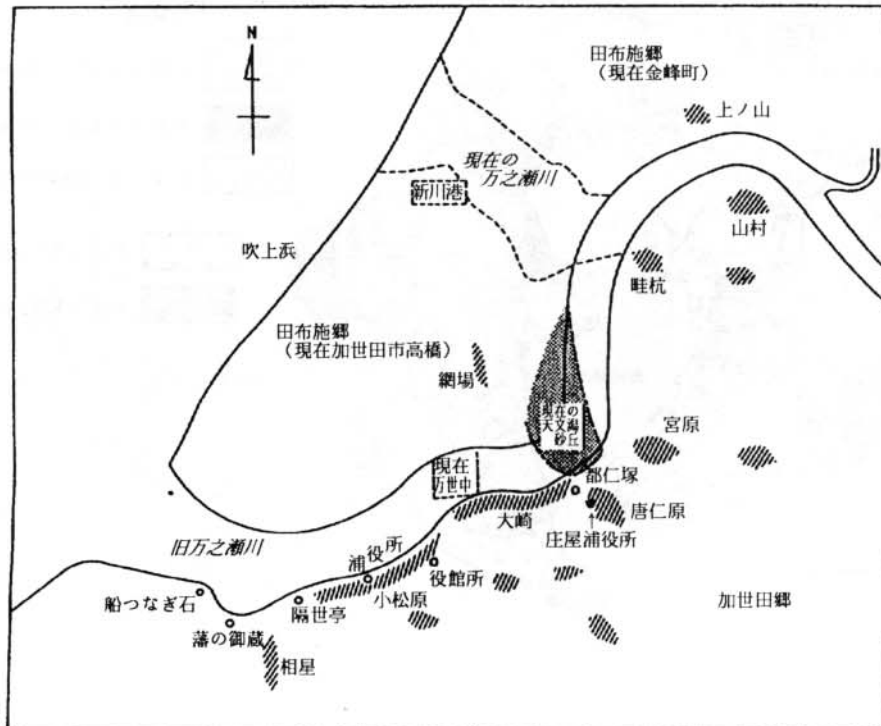


図3 1802年以前の万之瀬川河道推定図
(加世田市史(1986)より引用)

風による砂丘地の飛砂で徐々に埋まっていった。また、加世田市村原の北部は、昭和初期まで大きな蛇行部が存在していたが、その後の河川工事で現在の河道となった。旧河道は三日月湖として現在も残っている。

3. 万之瀬川下流域の地形・地質概要

四万十層群の形成する山地が、流域の北東部及び南部に分布し、入戸火砕流（一次）の形成する台地が広く形成されている。また、万之瀬川右岸の金峰町付近と加世田市の梅ノ原遺跡付近及び加世田川右岸付近に二次シラス層（入戸火砕流）および段丘堆積物の形成する段丘面が分布する。それらの間をぬうように、現河床およびその周囲にわずかに阿多火砕流堆積物の溶結部が露出する。後背湿地、突州、自然堤防堆積物などにより、加世田市中心部に沖積平野が広がっている。吹上浜から加世田市小湊一帯には、古砂丘が広く分布する。

4. 万之瀬川下流域の地質

今回の地質調査の結果、万之瀬川下流域は以下の様な地質に区分されることがわかった。

新生代 第四紀	完 新 世	沖積層（氾濫原堆積物など）・ローム層（アカホヤ火山灰〈幸屋火砕流？〉）・薩摩 _____ ? _____
	更 新 世	段丘堆積物
		入戸火砕流二次堆積物
		入戸火砕流一次堆積物（非溶結）
		大隅降下軽石層
		阿多火砕流堆積物（強溶結）
中生代	白 垂 紀	川辺層群（四万十累層群）

この結果は、山本ほか（1969）の見解を支持するものである。

5. いわゆる“二次シラス”と段丘堆積物の関係について（露頭状況）

一般に成層したシラスのことを「二次シラス」と呼び、シラス（非溶結の火砕流堆積物）が水や風などの作用を受けて再堆積したものを指す。

万之瀬川下流域の二次シラスは、現在の万之瀬川及び加世田川河道の近くに分布している（図4地質図参照）。大部分は、一次シラスの直上に風化帯を挟まずに整合関係で直接堆積している。例外的に、阿多火砕流堆積物の強溶結部の上に、数十cmの風化帯を挟んで、不整合関係で直接入戸火砕流の二次シラスが堆積している。

また、万之瀬川右岸近郊（図4のA地点）では、一次シラスの削られたくぼ地に二次シラスが整合関係で堆積している状況の露頭が見られる。ここでの二次シラスは厚さ20～50cmの軽石・角礫濃集層および凝灰質砂層が、上方細粒化の堆積構造を示しながら、露頭下部の一次シラスとの境界直上から最上部にいくに従って、全体として細粒化しながら重なっている。礫種は砂岩、頁岩、輝石安山岩が主である。

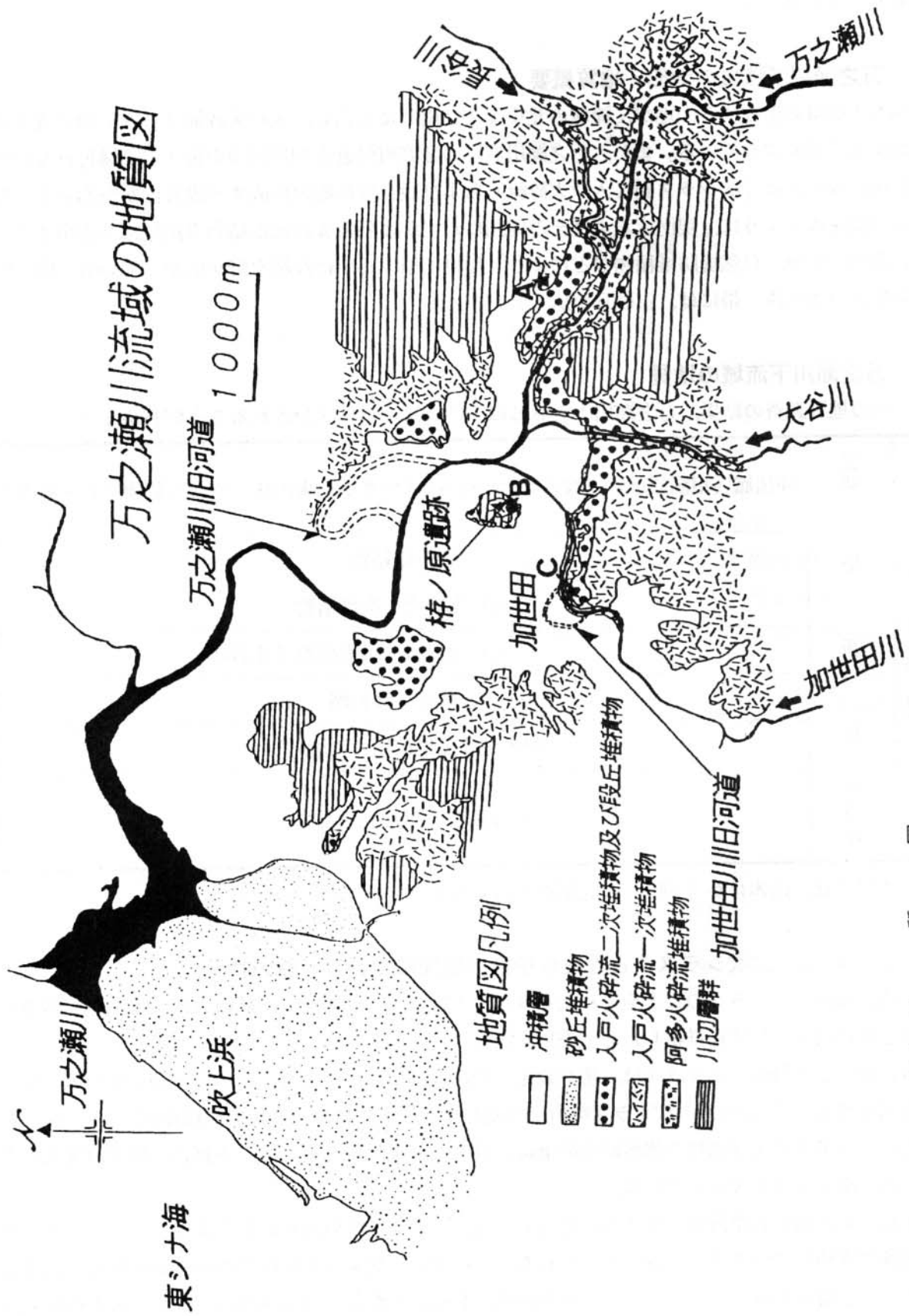


図 4 地 質 図

加世田市梶ノ原遺跡（図4のB地点）周辺でも二次シラスは、一次シラスの直上に整合関係で堆積している。ここでは基盤の川辺層群の砂岩（頁岩を挟む）層が、頂上の地表付近まで露出しており、それにへばりつくように阿多火砕流堆積物強溶結部・一次シラス・二次シラスが堆積している。ここでも二次シラスの側方変化は激しいが、クロスラミナは見られないのでベースサージ堆積物ではないものと考えられる。

加世田川右岸付近（図4のC地点）でも、一次シラスの直上に風化帯を挟まないで、整合関係で二次シラスが堆積している。二次シラスの上位では段丘堆積物へ漸移しており、段丘堆積物中には斜交層理の発達も見られる。段丘堆積物は、凝灰質の粗粒～細粒砂、砂岩・輝石安山岩を中心とした礫からなる。礫は二次シラス中の礫とは、礫の粒径が明らかに大きいこと、礫が円磨されていることから明瞭に区別が可能である。

6. 粒度分析の結果

一次シラス、二次シラス、段丘堆積物の違いを粒度組成の観点から調べるべく、自分で予め篩い分け法による粒度分析を行なった。その結果を図5および表に示す。

積算曲線の比較では、一次シラスの曲線よりも段丘堆積物と二次シラスの曲線の方が、全般的に急傾斜である。これは一次シラスよりも段丘堆積物と二次シラスの方が、粒径がそろっていることを示す。淘汰度は一次シラスよりも二次シラスの方が「淘汰が良い」状態にある。

平均粒径・尖度では、どの堆積物も大体同様の傾向になっており、大きな違いは見られなかった。ただし、実際に露頭においてそれぞれの堆積物を比較するとそれらの値に差がでるような印象を受ける。これは、今回のサンプル数がまだかなり少ないことが原因と考えられる。

7. 考察

今回の野外調査及び堆積物の粒度分析から以下の様なことが考察される。

野外での観察から二次シラス層は、一次堆積物との間に薩摩やアカホヤ火山灰などの指標テフラの存在が認められないことから時代は特定できない。しかし、一次堆積層の上位に風化帯を挟まずに重なっていることから整合関係と推察される。その堆積物はほぼ一次シラスと同様であり、礫がほとんど円磨されていない。このような事実から、比較的短い時間で流水により運搬され再堆積したのと考えられる。斜交層理の発達は、河川性堆積物（礫岩がよく円磨されている層）からしか認められず、この二次シラス層がベースサージ堆積物である可能性も低い。堆積物の粒度分析による比較からも、一次シラスよりも二次シラスの方が粒径が揃っていること、二次シラスの礫が一次シラスと同様圧倒的に角礫で構成される点から次のことが推測される。

入戸火砕流が堆積（一次シラスの堆積）してまもない頃、大雨により土石流が発生して、それが河川（古万之瀬川）により運ばれ、比較的短時間で再堆積した。その後二次シラスの再堆積が原因で古万之瀬川は流路が変わり、二次シラス層の上位に上流の山地等から供給された砂岩、頁岩、輝石安山岩が堆積した。その後地盤の隆起と河道の下刻作用によって、河道が下がっていったと考えられる。ただし、古万之瀬川の流路の変更については、露頭での堆積物のインプリケーション（方向性）を測定して、当時河川の流れていた方向を推定していく必要がある。これを今後の課題としたい。

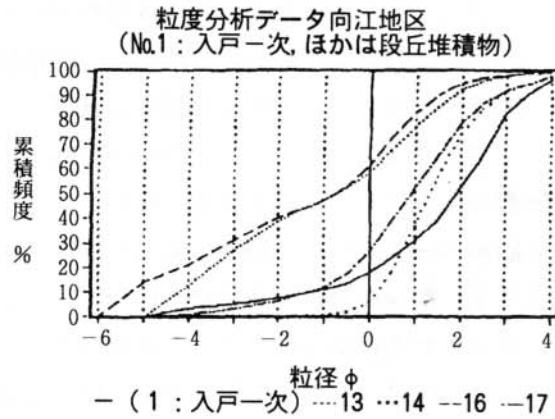
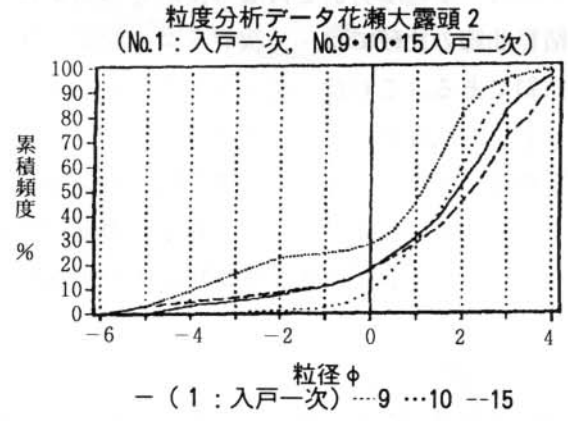
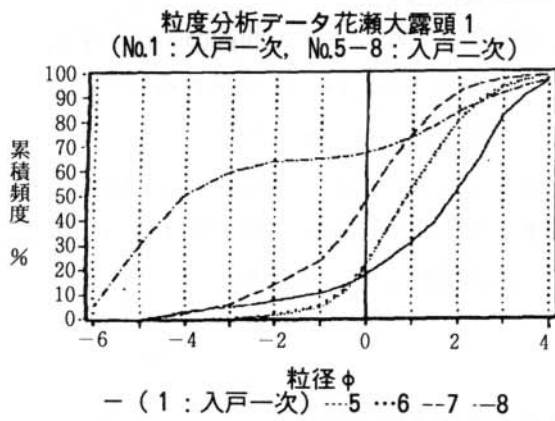
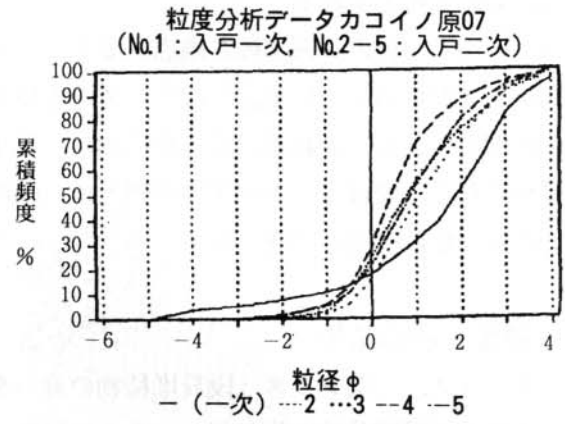
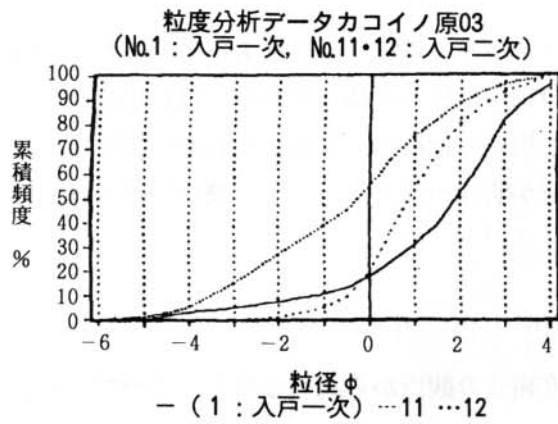


図5 粒度分布曲線
(実線は一次シラス, 他は二次シラスのデータ)

表 積算曲線データ分析値

入戸一次堆積物

試料No	Mz	Ski	σI	Kg
1	1.61	-0.58	1.85	1.28

入戸二次堆積物

試料No	Mz	Ski	σI	Kg
2	1.00	-0.19	1.36	0.94
3	1.24	-0.24	1.25	0.88
4	0.62	-0.26	1.12	1.23
5	1.00	-0.29	1.26	1.04
6	0.95	-0.37	1.27	1.00
7	-0.09	-0.45	1.77	1.34
8	-0.26	-0.91	3.58	0.65
9	0.09	-0.80	2.53	1.19
10	1.59	-0.50	1.12	0.95
11	-0.54	-0.50	2.16	0.83
12	0.97	-0.35	1.31	1.00
15	1.90	-0.60	2.10	1.32
平均値	0.71	-0.46	1.74	1.03
最大値	1.90	-0.19	3.58	1.34
最小値	-0.54	-0.91	1.12	0.65

段丘堆積物

試料No	Mz	Ski	σI	Kg
13	-1.05	-0.53	2.29	0.69
14	1.38	-0.22	1.01	0.96
16	-1.45	-0.69	2.55	0.74
17	0.91	-0.38	1.58	1.18
平均値	-0.05	-0.46	1.86	0.89
最大値	1.38	-0.22	2.55	1.18
最小値	-1.45	-0.69	1.01	0.69

(※) Mz : 平均粒径, Ski : 歪度, σI : 淘汰度 (分級度), Kg : 尖度

8. 教材化

(1) 指導案

以上の成果をもとに、地学ⅠBの「火山活動」での教材化をはかった。内容は一次シラスと二次シラスの粒度分析を行なって、火砕流の堆積の特徴を理解し、火山噴火と火山災害について理解することを目的とした。粒度分析用のふるいが1セットしかないので、同一試料を班ごとで目の異なる篩い分けすることにして、並行して堆積物の観察を作業項目に取り入れた。授業の際、一次シラスを「下位のシラス」、二次シラスを「上位のシラス」として実験を行なった。以下に指導案を示す。

地学ⅠB学習指導案（略案）

鹿児島県立加世田高等学校教諭 西 健一郎

1. 日時・場所 : 平成7年○月□日(△) 第☆校時: 地学実験室
2. クラスと概況 : 2年生文系(48名), 授業態度は良好で総じて元気がよい。
3. 使用教科書 : 数研出版 高等学校 地学ⅠB
力武常次・小川勇二郎・永田 豊・萩原幸男・日江井栄二郎・本蔵義守・増田富士雄・丸山茂徳 編
4. 単元教材 : 第1編 地球の構成と内部エネルギー
Ⅱ 地球の内部構造と火成作用
7. 火山活動
5. 単元目標 : 地球内部のエネルギー(活動)の現われとしてのマグマの活動や地震等の諸現象について、系統的な理解を深め、総合的に考察する能力と態度を養う。
6. 指導計画 : 火山活動…………… 3時間
7. 本時の位置 : 火山の噴火と火山災害(3時間のうちの2時間目)
8. 本時の目標 : 火砕流堆積物(シラス)の粒度を調べて、火山砕屑物の堆積・運搬のしくみを考案し、火山の噴火と火山災害について理解する。
9. 準備 : VTR, TV, OHP, TPシート, プリント, ふるい, 電子はかり, 蒸発ざら, はけ
10. 学習活動・内容・留意点

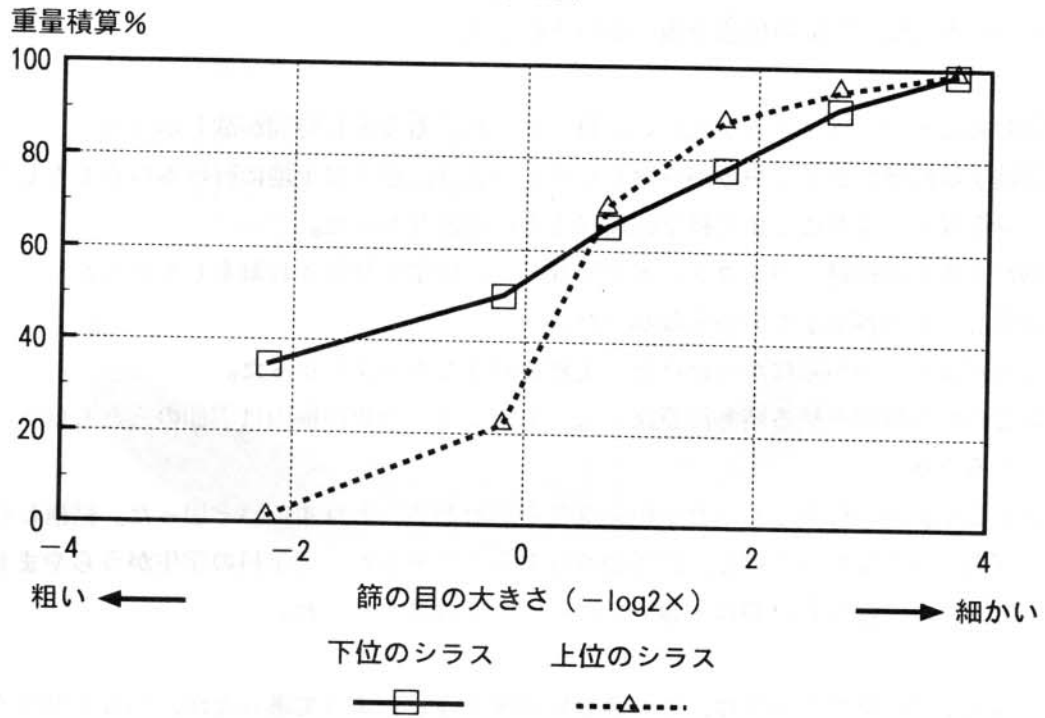
学習活動	指導内容	留意点
導入 10分	◎本時の学習目標を明らかにする。 『シラスの粒度を調べて、 その堆積・運搬のしくみを考察する』 ◎ (発問) 「鹿児島県にはどのような火山があるか」 ➡ 桜島, 霧島, 開聞岳など 「鹿児島県下で最もよく見られる火山噴出物は何か」 ➡ シラス(入戸火砕流堆積物)	前時までに、火山岩と火山地形との関連について学習しておく
	◎地形を構成する地質を調べる VTRで露頭の様子を観察する ・入戸火砕流(シラス)の露頭	露頭をあらかじめ、現地についてVTRに録画

展 開

<p>➡ 一次シラスの上位に二次シラス（再堆積したシラス）が堆積している露頭</p> <ul style="list-style-type: none"> ・シラスの露頭であることは説明する。あるところを境に堆積物の様子が違うことに気付かせる。一次・二次の違いは、ここでは説明しない。 	<p>しておく。分析用のサンプルを採取する様子も録画する。</p>
<p>◎採取してきたそれぞれのサンプルを実際に観察する</p> <ul style="list-style-type: none"> ・どのような礫種・鉱物種で構成されるか 軽石・火山灰、安山岩の岩片、砂岩・頁岩の礫 ➡ それぞれ堆積物のスケッチを取りながら、それらを分類する。 <p style="border: 1px solid black; padding: 2px;">この作業は粒度分析と並行して行う</p>	<p>サンプルはあらかじめ乾燥させておく。ごく大まかに観察する。時間的に余裕があれば、実体顕微鏡等を用意。</p>
<p>◎粒のそろい具合を調べる方法としてふるい分け法による粒度分析を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ふるい分けの操作手順の説明 ・ふるい分けた堆積物の重量測定の説明 	<p>生徒を集めて、自分が実際にサンプルをふるってみる。</p>
<p>◎グループごとでふるい分け作業</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">ふるい分けた堆積物の重量測定</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">プリントにデータを記入</p>	<p>巡視しながら、随時指導する。</p>
<p>◎データの分析作業の説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ・グラフ（積算曲線）の書き方 ・中央粒径，平均粒径，淘汰度の算出法 	<p>パソコン（Lotus1・2・3）を利用して，ごく簡単に行う。</p>
<p>◎各グループでデータ分析作業</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>グループ毎にTPシートに積算曲線を作成させる。中央粒径などのデータを板書させる</p>	<p>黒板にデータの一覧表を作っておく</p>
<p>◎データの比較</p> <ul style="list-style-type: none"> ・中央粒径と平均粒径 <ul style="list-style-type: none"> ➡ 両者に大きな違いが見られない。 ・淘汰度（分級度） <ul style="list-style-type: none"> ➡ 下位のシラスは淘汰が悪い。 ➡ 上位のシラスは淘汰が良い。 	

<p>ま と め 1 0 分</p>	<p>◎考 察</p> <ul style="list-style-type: none"> ・観察の結果から、上位・下位のシラスとも堆積物の構成は全く同じであることがわかる。 ・淘汰度から上位のシラスは粒度がそろっており、下位のシラスは粒度がそろっていない。 <p style="text-align: center;">↓</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上位のシラスは、水中または空中である程度時間をかけて淘汰されて堆積している。 ・下位のシラスは、時間をかけて淘汰されずに短時間で堆積している。 <p style="text-align: center;">↓</p> <ul style="list-style-type: none"> ・下位のシラスは、始良火山噴火時の火砕流が堆積したものである（一次シラス） ・上位のシラスは、下位のシラスが水の作用等により再堆積したものである（二次シラス） <p style="text-align: center;">↓</p> <ul style="list-style-type: none"> ・始良カルデラで約2万年前に噴火し、堆積したシラスは、かなりのものが雨水等で運搬・再堆積したものと考えられる。 	
	<p>◎雲仙普賢岳の火砕流災害の様子を紹介。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・火砕流災害の特徴を理解する。 「淘汰されず短時間で一団となって堆積する」 ➡ 逃げる暇がない。 ・堆積後の土石流災害の懸念。 	
<p>評 価</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・火砕流堆積物（シラス）の粒度を調べて、火山砕屑物の堆積・運搬のしくみを考察し、火山の噴火と火山災害について理解できたか。 	

シラスの粒度分布曲線 (積算比率曲線)



淘汰度の計算式

$$\sigma = 1/4 (\phi_{84} - \phi_{16}) + 1/6.6 (\phi_{95} - \phi_5)$$

分析の結果

上位のシラス (二次シラス)	$\sigma = 1.3$	(悪い)
下位のシラス (一次シラス)	$\sigma = 3.0$	(非常に悪い)

淘汰度の評価 (Folk&Ward, 1957)

0.35以下	非常に良い
0.35-0.50	良い
0.50-0.71	やや良い
0.71-1.00	普通
1.00-2.00	悪い
2.00-4.00	非常に悪い
4.00以上	極めて悪い

図6 授業の結果

(2) 授業の実際と生徒の感想

ここでは、3年生文系の生徒で行なった結果について、図6に示す。篩いの数が少なかったのにも拘らず、期待以上に両者の差がでており、グラフ・淘汰度で明確に、一次シラスと二次シラスの差がでた。生徒の感想を幾つか以下に示す。

- ◎おもしろい。パソコンが欲しい。難しかった。もう少し時間が欲しかった。
- ◎地学は観察など多くやるからおもしろいと思う。色々な土地に行けるからおもしろいと思う。
- ◎身近なシラスがここまで科学的になるとは思わなかった。
- ◎たくさんの機材（パソコン、ビデオなど）が授業で利用されおもしろかった。
- ◎難しくて内容がよく分からなかった。
- ◎内容はよく分からなかったけど、実験は好きだから楽しかった。
- ◎これからは崖を見る時も注意深くなってみよう。今年の梅雨は雲仙の人たちは大丈夫だったのだろうか。
- ◎すごく細かい作業であったが色々なことがわかることはすごいと思った。結構おもしろかった。
- ◎何も分からなかったけど、野外調査はおもしろそうだ。地学科の学生がうらやましい。実験は好きだが、観察と計算は大嫌い。だけど今日は楽しかった。

全体として生徒にとっては、やや難しい印象を受けたようであったが、かなり興味を持ったのではないだろうか。月並であるが如何に実験・観察が重要であるかが改めて実感できた。今回の内容が準備にかなり時間を割いて苦労したが、予想以上に生徒の反響が大きかったのが今後の良い指針となった。参考までに、以下に授業後に行なったアンケートの結果を、図7～11に示す。

地学をなぜ選択したのか

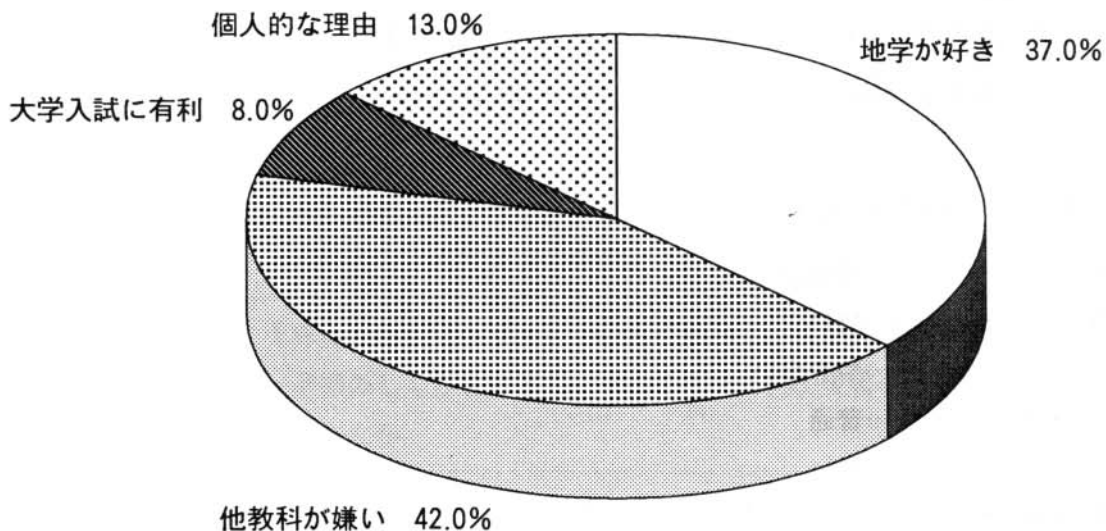


図7 地学を選択した理由

地学は好きか

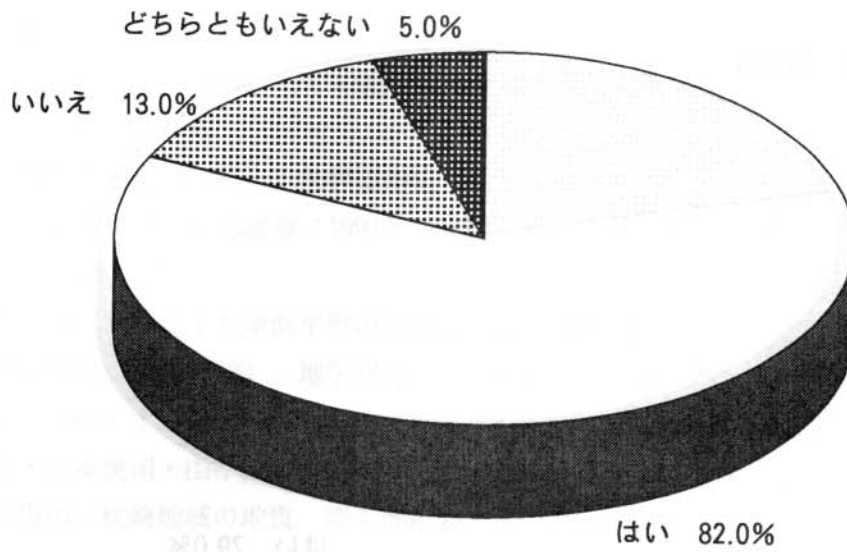


図8 地学に対する好き嫌い

地学の中で興味を抱いている分野 (複数回答)

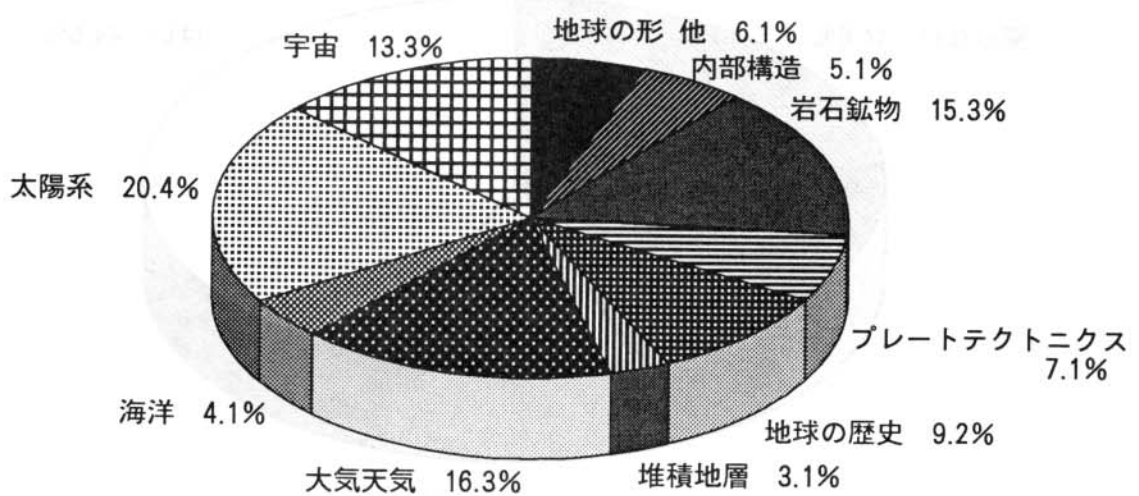


図9 地学での興味のある分野
(複数回答)

実験・観察は好きか

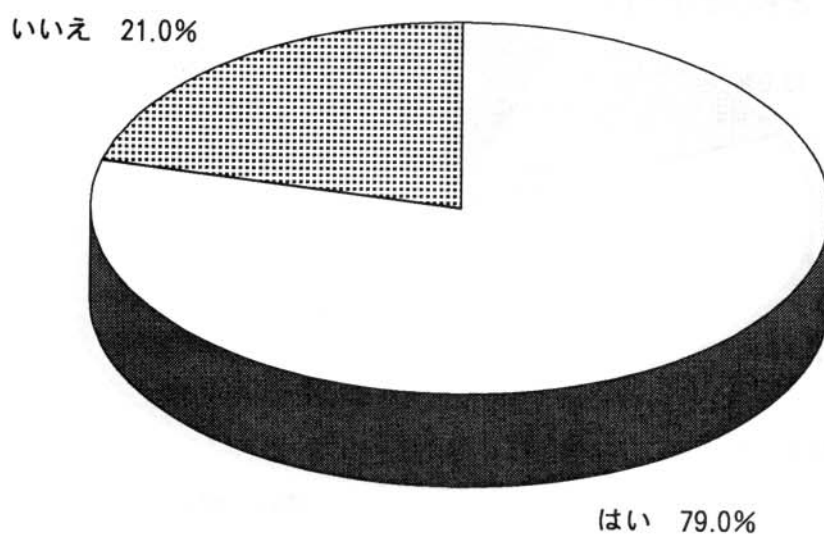


図10 実験・観察に対する好き嫌い

今回の実験で地学の印象は

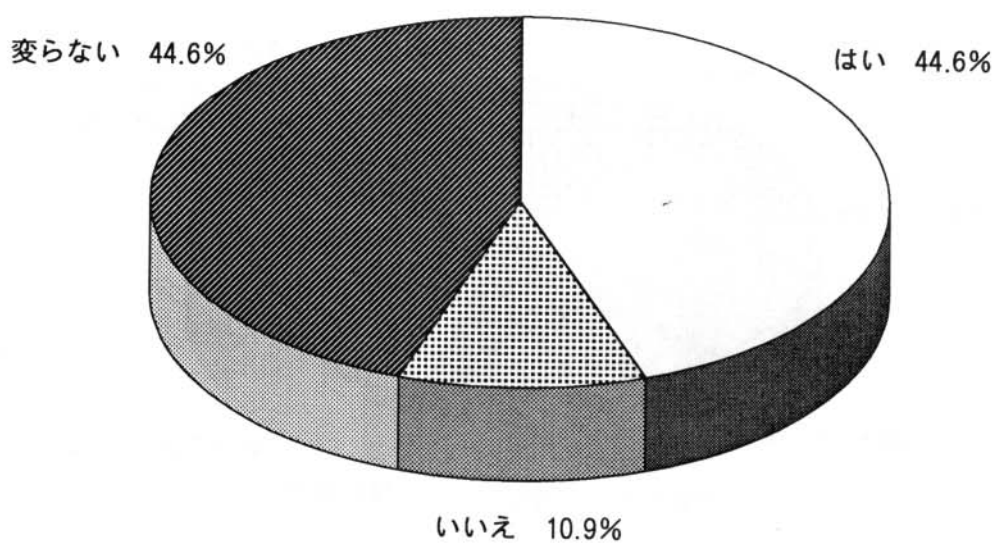


図11 今回の実験後地学は好きになったか

9. 謝 辞

鹿児島大学教育学部鈴木達郎先生には、粒度分析や野外調査種々の面で指導して頂いた。また、加世田市教育委員会には梅ノ原遺跡での調査について便宜をはかって頂いた。心より感謝申し上げます。

10. 参考文献

- 藤井昭二(1967)：“沖積層”とその絶対年代—後氷期の時代区分の試み—, 第四紀研究, Vol.6, no.4, p.192—199.
- 加世田市教育委員会(1986)：加世田市史(上).820p.
- 長岡信治・前杵英明・松島義章(1991)：宮崎平野の完新世地形発達史. 第四紀研究, Vol.30, no.2, p.59—78.
- 森脇 広(1979)：九十九里浜平野の地形発達史. 第四紀研究, Vol.18, no.1, p.1—16.
- 碎屑性堆積物研究会(1983)：地学双書24 堆積物の研究法—礫岩・砂岩・泥岩—, 377p.
- 寺園貞夫(1980)：シラスの堆積とその浸食地形. シラス台地研究, no.1, p.13—40.
- 山本温彦・山本英司・山中博之・大庭 昇(1969)：鹿児島県薩摩半島南西部, 野間半島および加世田—枕崎地域の地質. 鹿大理紀要, no.2, p.15—25.
- 横山勝三(1984)：シラス地域の河成段丘と二次シラス層(講演要旨), 火山, 2, Vol.29, no.2, p.150—151.