

IODP アウトリーチプログラム

第 4 回 「Sand for Students」 和歌山

テキストブック

SAND FOR STUDENTS

www.sand4students.net

2007 年 9 月

独立行政法人 海洋研究開発機構



JAMSTEC
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

目 次

1. 安全に実習を行うために-----	3
2. 砂とは何か？-----	8
3. 代表的な鉱物の種類-----	9
4. 岩石の種類-----	13
5. 地質図と年代区分について-----	22
6. 砂の採取方法-----	24
7. 野外での砂の分析方法-----	26
8. 科学分析の方法-----	29
9. 安倍川・富士川の地質的特徴-----	31
10. 海洋科学掘削と Sand for Students との関係-----	34

編纂

五十嵐智秋（海洋研究開発機構）

眞砂英樹（海洋研究開発機構）

吉澤 理（海洋研究開発機構）

協力

横山一己（国立科学博物館）

宮下 敦（成蹊高等学校）

寺戸 真（岸和田高等学校）

1. 安全に実習を行うために

出典・引用

- * 水辺の安全ハンドブック「川を知る。川を楽しむ。」（財団法人 河川環境管理財団）
- * 国土交通省中部地方整備局ウェブサイト

川の利用の基本は自己責任

普段、川の穏やかな姿に接しているだけでは、急な川の増水による危険を知るのは困難です。河川の利用にあたっては、一旦増水すると川がどのような状態になるか、川の状態から何を読み取ることができるかなど、基礎知識を身につけるようにしましょう。

河川は自由使用が原則であり、利用にあたって身の安全を確保することは自己の責任に委ねられます。基礎知識を身につけ、基本的なルールを守るという心構えの上にはじめて、安全で楽しい河川利用が成り立つのです。

河川を利用する際、どこにどんな危険が潜んでいるか？そして、どのような点に注意すればよいのでしょうか。川に潜む危険要因を知ることは、実習を行うための必須知識です。

急な増水時	雷雨など大雨によって川が増水したときは、河川の利用の種類に関係なく全て危険です。大きな事故や死亡事故につながることも少なくありません。川では、上流で降った雨が急激な水位上昇をまねくことがあるため、実習場所の天候や雨量だけで判断できません。また、上流にダムのある河川では天候に関係なく放流されることがあります。上流域の気象情報や水位情報、放流情報等を確認し、疑わしい場合には中止又は避難するといった決断が必要です。
平常時	川の水位が普段どおりの時でも、川の特徴によって様々な危険が潜んでいます。流れが速い、岩場がある、滑りやすい、深みがある・・・川に入る時には川の情報を知った上で利用するようにしましょう。また、水難事故事例にもあるように、飲酒して気が大きくなったところで泳ぐことや、保護者がいながら子供たちだけで水遊びをすることなどは普段でも大変危険です。川に潜む危険を十分認識するとともに、利用者同士でもお互いに注意することが大切です。
地震時	海に近い河口付近では地震の影響で津波が来襲することがあります。平成 16 年 12 月にスマトラ沖で発生した地震は、津波によって数十万人が死亡するといった、かつてない大惨事を巻き起こしました。河口付近で地震を感じたり、津波警報が発令されたら迷わず避難することが大切です。

まずは事前に調べよう！

気象情報	テレビ、ラジオ、新聞、電話サービスなどが一般的でしたが、パソコンによるインターネットや携帯電話のサイトにも充実した情報がたくさんあります。日本気象協会や専門会社のサイト以外にも、新聞社や放送局のサイトには地域の気象情報が掲載されています。
場所情報	出かける川がどんな川なのか？上流にダムがあるのかないのか、なども事前に調べておきましょう。

川の基本特性を覚えよう！

山間部では雨が降ると鉄砲水	日本の溪流は急峻な谷が多く、ひとたび雨が降ると川が一気に増水し鉄砲水になるケースが少なくありません。「雨が降ったらすぐに川から離れる」が鉄則です。
ダムには適時放流がある	川の上流にみられる発電用、農業用水用などの利水ダムは、水の利用に合わせ、洪水とは関係なく放流することがあります。もちろん、洪水により水位が上昇するとゲートからの放流も行われることになります。水が放流されれば天候等に関係なく川が増水して危険になる場合があります。

自然が天候の変化を教えてくれる！

天候が悪化する前には、川や空や気温などにも様々な予兆が現れます。これらの予兆から危険を察知して避難等に役立てることも重要です。

川からのサイン	<避難のタイミング> 川の水が濁る、上流からゴミが流れてくるときには、上流で水位が上昇していることが考えられます。川の水位が徐々に増しているときにはさらに危険なサインとみるべきです。川がそのような状態になったときは迷わず避難するようにしましょう。また、大雨注意報は時間雨量が 20mmになると予想されるときなどに発表されますが、わずかな雨でも上流部の雨が川に集まって思わぬ水位上昇を引き起こすことがあります。注意報が発令されたら非難する、が鉄則です。
風からのサイン	<日中の山風は雨になる> 天気の良い日中は、上昇気流により谷から山へと吹き上がる「谷風」が普通です。山から吹き下る「山風」が吹いてきたら、やがて天気が崩れ、雨が降るサインだと考えてください。
雲からのサイン	<かさ雲は雨の予兆> 山の頂上を覆うようなかさ雲があるときは、上空に湿った空気がある証拠です。湿った気流も天気が崩れるサインです。用心するようにしましょう。
雲からのサイン	<うろこ雲やひつじ雲は天気の下り坂> うろこ雲が空を覆うようだと天気は急に悪くなると言われます。また、雲の塊がやや大きいひつじ雲も同じように天気が急速に悪化するサインです。こんな雲を見かけたら、注意しましょう。
音からのサイン	<遠くの音が良く聞こえると雨が近い> 高気圧に覆われているときは空気が乾燥して音も拡散してしましますが、空気が湿って低い雲におおわれると音の反射が良くなり遠くの音も聞こえやすくなると言われます。昔からの言い伝えですが、参考にはなると考えられます。
気温からのサイン	<寒くない朝は天気の下り坂> 川の上流など山の朝は、夏でも外気が冷え込んでいたりテントに夜露が落ちていたりするとその日は晴れになります。反対に妙に暖かい朝は天気が下り坂になります。寒暖の差がなく、空気中に水蒸気が多いため、雨になることが多いといわれます。

野外実習に適した服装

- ◆ 半袖の上着か T シャツ
- ◆ 長袖の上着
- ◆ 長ズボン（G パンなど）
- ◆ 動きやすい靴（運動靴やトレッキング用の靴など。サンダル・ハイヒールは厳禁です）
- ◆ 小雨時のために上下レインウェアを持参
（傘は両手が空かないため危険です）
- ◆ 帽子
- ◆ 手ぬぐいやハンドタオルは必須
- ◆ 野外での活動のため、汚れても構わないものを着用ください



（モデルは、JAMSTEC の眞砂先生・冬）

ファーストエイド・キットを用意する

どんなに気をつけていても、自然には思わぬ危険が潜んでいるものです。野外活動時には、虫に刺されたりケガなどをしたりすることもありますので、例えば、以下のようなものを用意しておくことで応急処置が取れます。

ファーストエイド・キットの例	
☐	消毒液
☐	滅菌ガーゼ
☐	救急絆創膏
☐	水絆創膏
☐	使い捨てカイロ
☐	伸縮包帯
☐	三角巾
☐	針
☐	ピンセット
☐	毛抜き又は刺抜き
☐	はさみ
☐	安全ピン
☐	綿棒
☐	マスク
☐	ビニール手袋
☐	虫除けスプレー
☐	日焼け止めクリーム
☐	リップクリーム
☐	風邪薬
☐	胃腸薬
☐	頭痛薬など

2. 砂とは何か？

01. 砂の分類

まず「砂」とは何かを説明しましょう。「そんなこと説明されなくても知っているよ。」と思われるかもしれませんが、地質学にはちゃんとした「砂」の定義があるのです。地質学の分類では、直径が2mm から 1/16 (0.0625) mm の堆積粒子を砂と呼ぶことになっています。これより粗いものは礫（れき）と呼ばれ、これより細かいものはシルトと呼ばれます。

02. 砂とは何か？

砂を含めた多くの堆積粒子は、岩石が風雨にさらされて壊れた（風化作用）「かけら」からできています。一般には、はじめ大きな「かけら」（礫：れき）だったものが、河川によって下流に運ばれる途中でさらに細かく砕かれ、細かいものほどより遠くまで運ばれます。つまり、上流の河原では大きな礫（れき）が多く、中流、下流と下るにつれて、細かい礫（れき）から砂へと変化していくのです。



砂粒は多くの場合、鉱物結晶 1 個（鉱物単結晶）からできています。岩石はさまざまな鉱物の集合体ですが、これが壊れて運ばれる過程で鉱物単位に分離され、砂サイズになるとほぼ 1 個の鉱物から成る粒子になります。しかし中には（特にやや粗い砂には）、まだ完全に単結晶にまで分離しきれていない複合粒子もあり、これを岩片と呼んでいます。また、原岩が非結晶質の岩石（泥岩やチャートなど）の場合にも、壊れたかけらは鉱物ではなく岩片になります。それから、鉱物ではありませんが、火山ガラスのかけらなども同様に壊れて砂粒になることがあります。また、海岸では炭酸塩や珪酸塩の殻を持った生物の死骸（化石）が砂として溜まっているものがあります。有名な「星砂」はこの例です。

3. 代表的な鉱物の種類

03. 代表的な鉱物の紹介

河川や海岸の砂を構成する代表的な鉱物を紹介しましょう。（一部、岩片など鉱物以外の粒子も含む）

石英（せきえい、英：quartz クォーツ）



ほとんどの岩石に含まれる鉱物で、最も普通に見られる鉱物です。次に述べる長石と似ていますが、長石のように風化によって変質しないので、透明感があります。大きくて透明度の良いものは水晶と呼ばれます。通常無色ですが、ごく微量の不純物によって、紫や薄い茶色あるいはピンクに着色することもあります。

斜長石（しゃちょうせき、英：plagioclase プラジオクレース）



ほとんどすべての岩石に含まれ、地殻の体積の約 50%を占める最も多い鉱物です。無色透明ですが、変質によって、ややにごった見え方をすることもあります。次に述べるカリ長石との区別は肉眼ではほぼ不可能なので、ひとまとめにして長石と呼んでしまうこともあります。

カリ長石（かりちょうせき、英：K-feldspar ポタシウムフェルスパー）

カリウムを含む長石です。花崗岩に多く含まれます。前項の斜長石との見分けは肉眼では困難で、顕微鏡下でもよく似ていることがあります。

斜方輝石（しゃほうきせき、英：orthopyroxene オルソパイロキシン）



火山岩起源の砂などに多く含まれる鉱物で、亜麻色～褐色で短柱状の形が特徴的です。

単斜輝石（たんしゃきせき、英：clinopyroxene クライノパイロキシン）



斜方輝石と同じく火山岩起源の砂などに多く含まれ、緑色で短柱状の形が特徴的です。

角閃石（かくせんせき、英：amphibole アンフィボール）



非常にいろいろな種類がありますが、よく産出するのは普通角閃石（英：hornblende ホルンブレンド）と呼ばれるもので、濃緑色から黒色の長柱状をしているのが特徴です。色が濃いので、不透明に見えることもよくあります。

ザクロ石（ざくろいし、英：garnet ガーネット）



宝石でおなじみのこの鉱物は、赤い色とところどころした形が特徴的です。花崗岩や変成岩、砂岩などに由来します。

白雲母（しろうんも、英：muscovite マスコヴァイト）



ペラペラと紙を重ねたような形をしています。色は無色で、キラキラとしたフィルムのような光沢があります。重鉱物ですが、その形状ゆえに水に浮くことがあります。主に花崗岩や変成岩に由来します。

黒雲母（くろうんも、英：biotite バイオタイト）



白雲母の色を濃い褐色にしたような鉱物で、他の特徴は白雲母と同じです。やはり花崗岩や変成岩に由来します。

カンラン石（かんらんせき、英：olivine オリビン）



マントルの主要鉱物ですが、地殻には「まれ」な鉱物です。黄緑色でコロコロとした形をしています。宝石級の場合はペリドットと呼ばれます。

緑レン石（りょくれんせき、英：epidote エピドート）



薄黄緑の長柱状の鉱物で、主に変成岩に由来します。

磁鉄鉱（じてっこう、英：magnetite マグネタイト）



黒光りする不透明鉱物で、立方体に近い形をしています（少し角が丸くなっているものもあります）。非常に強い磁性を持っているので、普通の磁石でもよくつきます。

黄鉄鉱（おうてっこう、英：pyrite パイライト）

磁鉄鉱同様、立方体をした不透明鉱物ですが、キラキラと金色の金属光沢を示します。磁鉄鉱と違って磁性を持たないので、磁石を近づけるとすぐに見分けられます。

－鉱物以外の砂粒子－

火山ガラス（かざんがらす、英：volcanic glass ヴォルカニックグラス）

火山噴火でできたガラスで、多くは白くにごった不透明な様相を呈します。表面に小さな穴がたくさんあいており、がさがさした感じに見えることが多いです。

岩片（がんぺん、英：lithic fragment リシックフラグメント）

色は白から灰色、黒、あるいは緑とさまざまですが、いずれもにごった不透明な感じで、形も不定です。

自然金（しぜんきん、英：natural gold ナチュラルゴールド）



非常にまれですが、自然状態の金が見つかることがあります。こうした金は不定形、不透明で鈍い金属光沢を放っていることと、他の鉱物に比べ非常に重いことが特徴です。同様に銀や、他の金属もまれに見つかることがあります。上流に鉱山跡などがある場合、注意して探してみると見つかるかもしれません。

人工物（じんこうぶつ、英：artificial object アーティフィシャルオブジェクト）

時として、人工の金属やプラスチック、あるいはガラスや陶器の破片などが混入していることがあります。こういった人工物の中には自然のものと見まがうものもありますが、たいていは角ばった不定形で、けばけばしい色をしているなどの特徴があります。

4. 岩石の種類

代表的な岩石

岩石は大きく分けて、堆積岩、火成岩、変成岩に分類されます。

堆積岩とは、水中で（主として海中、まれに湖や河川敷などのこともある）砂や泥などが堆積したものが、長い時間をかけて押し固められて岩石になったものです。

火成岩は、マグマが冷え固まってできた岩石で、地上もしくは比較的浅い地下で固まった火山岩と、地下深い所で固まった深成岩に大別されます。

変成岩は、もともと堆積岩や火成岩であったものが、高温や高圧などの条件にさらされて、鉱物組み合わせや組織が変化したものです。

岩石の表面は、風化による変質や汚れで見にくくなっていることがよくあるので、鑑定の際にはハンマーなどで割った新鮮な面を観察するようにすると良いでしょう。



- ハンマーを使用する際には、周りに人がいないかよく確認しましょう。
- 岩石用ハンマーのヘッドは片側が平らで反対側が尖っていますが、通常は平らな方の面で叩きます。
- 岩石が割れた瞬間に小さなかけらが跳ねて飛ぶことがありますので、気をつけましょう。特に目に入ると危険なので、使用時には眼鏡をかけると良いでしょう（安全眼鏡=ゴーグルがあればさらに良い）。また、頸動脈も同様に危険なので、首にもスカーフやタオルを巻いておく安全です。
- 岩石を割る際にはハンマーを持っていない方の手や足で、割ろうとする岩石を固定すると割りやすくなりますが、この時手足の指を叩かないよう、十分注意しましょう。万一叩いた時にダメージを最小限にする為に、手袋や、先端の硬い靴（安全靴など）を装着するようにしましょう。
- 岩石を割るにはコツがあります。岩石の平らな面を上にして、その真ん中辺りにハンマーの角の部分当てると、比較的上手く割れます。

代表的な岩石			
地殻を構成する岩石	堆積岩		砂岩、泥岩、礫岩、チャート 石灰岩、凝灰岩
	火成岩	火山岩	流紋岩、安山岩、玄武岩
		深成岩	花崗岩、閃緑岩、ハンレイ岩
	変成岩		片岩、片麻岩、角閃岩、緑色岩、
マントルを構成する岩石	カンラン岩		

以下に、それぞれの代表的な岩石を紹介します。なお、文中に出てくる鉱物名については「3. 代表的な鉱物の種類」の章を参照してください。

堆積岩

砂岩（さがん、英：sandstone サンドストーン）



砂が固まってできた岩石です。色は砂岩を構成する砂粒子の種類によって変わります。石英や長石が多い場合は白っぽく、火山岩など他の岩石の破片（岩片）が多く含まれている場合は灰色っぽくなります。

泥岩（でいがん、英：mudstone マッドストーン）

泥が固まってできた岩石です。一般に黒っぽく、砂岩よりも緻密な組織を持っています。

礫岩（れきがん、英：conglomerate コングロメライト）

礫（直径 2 mm 以上の粒子）が固まってできた岩石です。礫と礫の間は、泥や石灰質の微細粒子が充填して、接着剤の役割を果たしています。礫岩を構成する礫は、通常、角が取れて丸くなっていることが多いのですが、中には角張った礫で構成されているものもあり、これらは特に角礫岩（かくれきがん）と呼ばれます。

チャート（ちゃーと、英：chart チャート）

ごく微細なシリカ（二酸化ケイ素： SiO_2 ）が深海底で降り積もってできた岩石です。主にシリカの殻を持つプランクトンの死骸が降り積もって形成されます。非常に硬く、つるつるした表面が特徴的です。玉砂利などによく利用されています。シリカ自体は無色ですが、シリカと共に含まれる微量な不純物によって赤、緑、灰黒、などさまざまな色のチャートができます。

石灰岩（せっかいがん、英：limestone ライムストーン）

炭酸カルシウム（ CaCO_3 ）が浅海底で降り積もってできた岩石です。主に、炭酸カルシウムの殻を持つプランクトンの死骸が降り積もって形成されます。珊瑚礁などは石灰岩の典型です。純粋な炭酸カルシウムのみでできているものは白～象牙色（ややピンクがかかることもあり）ですが、砂などの不純物がある程度混じると灰色になります。鉄より柔らかいので、ナイフや釘などの鋭利な金属片で引っかくと傷をつけることができます。また、塩酸やクエン酸（レモン汁等）をかけるとシュワシュワと二酸化炭素の泡を出しながら溶けることでも他の岩石と容易に見分けられます。

凝灰岩（ぎょうかいがん、英：tuff タフ）

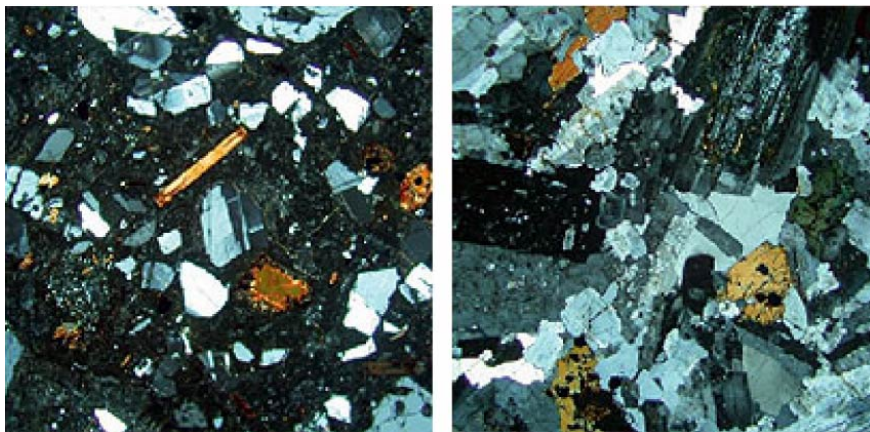


降り積もった火山灰が押し固められてできた岩石で、その意味では火成岩と堆積岩の中間的な性格を持つ岩石と言えます。基本的には白っぽいものが多いですが、火山灰の種類や変質によって様々な色のものができます。岩石が形成される過程で、火山灰同士の間にあった空気・ガス成分が抜けた跡である孔が多く空いていることもあります。表面がガサガサした感じで、低密度であるのが特徴です。

火成岩

火山岩と深成岩は組織で区別されます。火山岩は急冷されてきたため、細粒な基質（石基）の中に、比較的早い時期にマグマから結晶化した一部の鉱物結晶（斑晶）が浮いているような組織（斑状組織）が特徴的です。石によっては、斑晶が全く認められないものもあります。深成岩は、地下深い所でゆっくりと冷え固まったため、すべての鉱物が大きく成長している（等粒状組織）のが特徴です。また、火山岩、深成岩それぞれについて、化学組成（シリカの含有量）によって、酸性岩、中性岩、苦鉄質岩に分類され、この順にシリカの含有量は少なくなります。また、色はシリカの含有量が多いほど白く、少なくなると黒に近づきます。この色の変化は、色指数（いろしすう）という数値で表すこともできます。色指数とは、岩石に含まれる有色鉱物の体積比を表したもので、黒い岩石ほど値が大きく、白い石ほど小さくなります。

火成岩の分類			
	酸性岩	中性岩	苦鉄質岩
SiO ₂ 含有量 (wt%)	> 66	66～52	< 52
色指数	< 10	10～35	> 35
火山岩	流紋岩	安山岩	玄武岩
深成岩	花崗岩	閃緑岩	ハンレイ岩



火山岩（左）と深成岩（右）の代表的な組織を示す偏光顕微鏡写真

火成岩＞火山岩

流紋岩（りゅうもんがん、英：rhyolite ライオライト）

シリカの多い火山岩で、基本的に白色～明灰色です。造岩鉱物は石英と斜長石が多く、他に角閃石などの有色鉱物が点々と認められることがあります。表面はガサガサした感じのことが多く、マグマが冷え固まる際にガスが抜けた跡である小さな穴が認められることもあります。

安山岩（あんざんがん、英：andesite アンデサイト）

シリカが中程度に含まれる灰色の火山岩で、日本のようなプレートの沈み込み帯には最も普通に存在する火山岩です。造岩鉱物として、石英、斜長石、輝石、角閃石、黒雲母、まれにカンラン石を含みます。

玄武岩（げんぶがん、英：basalt バサルト）



シリカの少ない火山岩で、新鮮なものは黒に近い色をしています。風化や変質によって緑色や茶色などに変色することもあります。石英を含まず、輝石（単斜輝石もしくは単斜輝石と斜方輝石）と斜長石が主な構成鉱物で、カンラン石を含むものもあります。

火成岩＞深成岩

花崗岩（かこうがん、英：granite グラニット）



石英と長石（斜長石、カリ長石、またはその両方）を主体とする深成岩で、その他に雲母（黒雲母、白雲母、またはその両方）や角閃石、磁鉄鉱などを含んでいることが多いです。みかげ石とも呼ばれ、建材や墓石などによく使われています。

閃緑岩（せんりょくがん、英：diorite ダイオライト）

花崗岩とハンレイ岩の中間的な化学組成を持つ深成岩で、主に斜長石、角閃石、輝石（単斜輝石、斜方輝石）、黒雲母と少量の石英を含みます。有色鉱物は輝石よりも角閃石が多いのが特徴で、この点でハンレイ岩と区別できます。比較的石英を多く含むものは、石英閃緑岩と呼ばれます。

ハンレイ岩（はんれいがん、英：gabbro ガブロ）

主に輝石（単斜輝石もしくは単斜輝石と斜方輝石）と斜長石からなる深成岩です。石英を含まないので、白色鉱物はすべて斜長石です。黒っぽい輝石類と、白っぽい斜長石がごま塩状に見えることがよくあります。その他に角閃石やカンラン石を含むものもあります。

変成岩

鉱物には安定に存在できる温度・圧力の範囲があります。身近な例を挙げれば、ダイヤモンドと石墨（せきぼく・グラファイト）は共に炭素のみからなる鉱物ですが、高圧ではダイヤモンドが、低圧では石墨が、それぞれ安定な鉱物です。岩石が形成時と大きく異なる温度・圧力状態に置かれた場合に、岩石を構成する鉱物の種類が、その温度・圧力で安定なものに変化する現象を変成作用と呼び、こうしてできた岩石を変成岩と呼びます。

結晶片岩（けっしょうへんがん、英：schist シスト）

地下の深い所で大きな力を受けて変形を伴いながら変成されたために、ぺらぺらと剥がれやすいシート状の構造（片状構造）を持つようになった岩石のことを結晶片岩（けっしょうへんがん）と呼びます。結晶片岩には原岩の名前を冠して、例えば原岩が砂岩であれば砂質片岩（さしつへんがん）、泥岩であれば泥質片岩（でいしつへんがん）のように呼びます。原岩が玄武岩の場合のみ、緑色片岩（りょくしょくへんがん）と呼ばれます。シート状に剥がれやすいのは、雲母や緑泥石（りょくでいせき）のようなシート状鉱物が多く含まれ、これらが面状に並んでいるためです。

片麻岩（へんまがん、英：gneiss ナイス）

結晶片岩同様、強い縞状構造（片麻状構造）を持った岩石ですが、結晶片岩より粗粒であるため、結晶片岩ほど剥がれやすくはありません。結晶片岩より高温（> 600℃）で変成作用を受けたため、鉱物が大きく成長しており、雲母やザクロ石などが肉眼で確認できることが多いです。

角閃岩（かくせんがん、英：amphibolite アンフィボライト）



玄武岩やハンレイ岩を原岩とする変成岩で、ほとんど角閃石と斜長石から構成されます。深緑色の硬い岩石で、片岩や片麻岩のような構造を持たないのが特徴です。

緑色岩（りょくしょくがん、英：greenstone グリーンストーン）

緑色片岩に似ていますが、面構造を持たないものを緑色岩と呼びます。緑レン石（りょくれんせき）の黄緑色と、緑泥石の深緑色の織りなす斑模様が特徴的です。

その他の岩石カンラン岩（かんらんがん、英：peridotite ペリドタイト）

上に挙げた岩石はすべて地殻の岩石ですが、カンラン岩はマントルを構成する主要な岩石です。そのため地表に露出することは稀で、特殊な地域にしか分布しません。カンラン岩、主にカンラン石と輝石が構成しており、斜長石やスピネルを含んでいることもあります。色はカンラン石の色を反映した明るい緑色をしています。粗粒であるために、一つ一つの鉱物がはっきり肉眼で確認できることが多いです。カンラン石は変質に弱く、変質すると蛇紋石（じゃもんせき）という鉱物になります。カンラン岩が変質した結果できた、ほぼ蛇紋石だけからなる岩石を蛇紋岩（じゃもんがん）と呼びます。

5. 地質図と年代区分について

地質図の見方

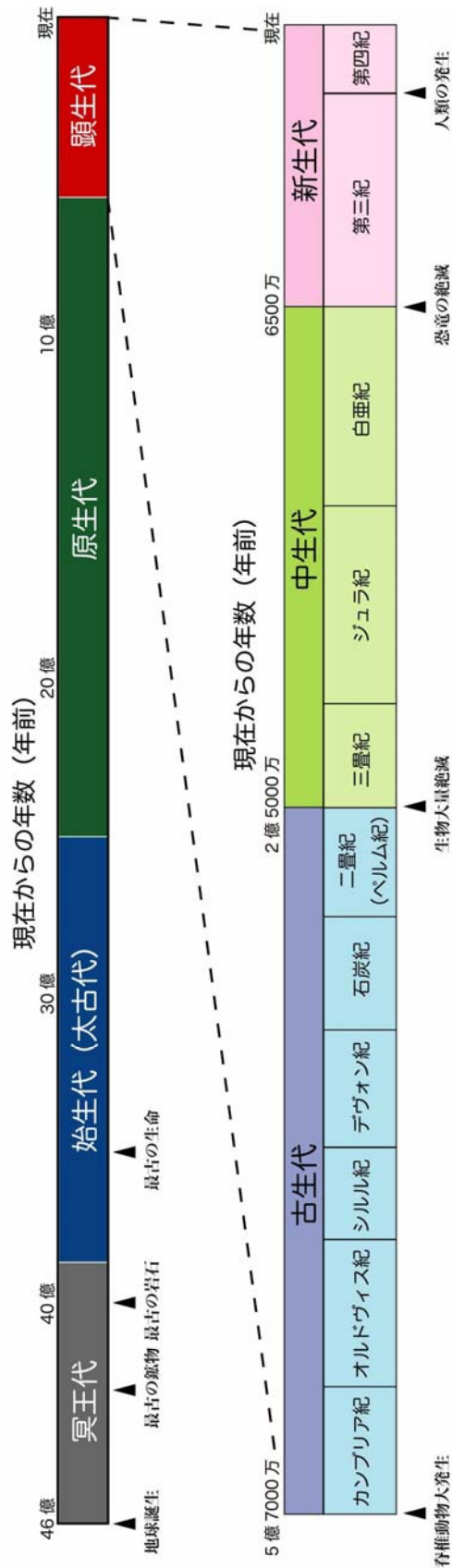
地図の上に、地表における岩石の分布（植生や土壌を取り除いた直下の岩石）を色分けして描いた図を地質図と呼びます。小縮尺の地質図では岩相（岩石の種類）ごとに分けるなどして表すことが多いのですが、大縮尺のものになるといくつかの岩相を時代などによってひとまとめにした「層群」や、さらに大きな単位である「累層」ごとに色分けすることが多いです。

それぞれの岩相に用いられる色は、ある程度慣習的に決まっており、花崗岩や閃緑岩などの深成岩は赤系、砂岩や泥岩などの堆積岩は黄～茶系、玄武岩及び玄武岩起源の変成岩（緑色岩、緑色片岩、角閃岩など）は緑系、カンラン岩は紫系、が多いようです（ただし例外もあり）。これにより、地質図をぱっと見ただけでその地域にどのような岩石が分布しているかがだいたい分かります。

地質年代区分

地層や岩石は、地球の歴史を通じてゆっくりと形成されてきたものです。地質学では、地球ができてからの歴史をいくつかの時代に区分しています。「ジュラ紀」や「白亜紀」などは、みなさんも耳にしたことがあるでしょう。正確な年代が分かる場合には「〇〇万年前の地層」というように呼んでも良いのですが（実際そういう言い方も使います）、地質時代区分は地質学上の大きな変化（例えばある生物群の絶滅など）を境目としていることが多いので、例えば「ジュラ紀の地層」のように呼んだ方が、その地質学的な意味が分かりやすいこともあります。人間の歴史でも「西暦 1630 年頃」という代わりに「江戸時代の初期」と言った方が分かりやすい場合があるのと同様です。

地質年代区分と地球史上の重要イベント



6. 砂の採取方法

01. なにを採るか？

地質学では、直径が 2 mm から 1/16 mm (0.0625 mm) までの堆積物を砂と呼びます。世間一般にはもっと粗いものも砂と呼んでしまっていますが、これは地質学では礫（れき）に分類されますので、「ちょっと細かいかな？」と思うくらいのもを選んでちょうど良いと思います。逆に細かい方はあまり気にする必要はありません。指で挟んでこすり合わせた時にざらざらとした感触のあるくらいのものであればだいだい大丈夫です。



02. どうやって採るか？

実習では 2 種類の砂試料を採集します。

1 つは砂全体に含まれる鉱物比を調べるための試料（バルク試料）で、これはスコップ等でザクッと採ったものを、そのまま試料袋に入ればオーケー。

もう 1 つは砂の中に含まれる重鉱物だけを濃集させて採った試料です。なぜ重鉱物だけを集めるのかというと、一般に石英や長石といった軽鉱物よりも、輝石や角閃石、あるいはジルコンといった重鉱物の方が多くの情報を与えてくれるからです。

砂全体に含まれる鉱物比を調べるための試料（バルク試料）の採取方法

1. スコップ等でザクッと砂を採る。
2. 2mm 径位のふるい（台所のザル程度）でふるって、木の根や葉、粗い礫などを取り除いておく。
3. そのまま試料袋に入れるだけ。

03.重鉱物の集め方

野外で重鉱物を濃集させて採るための方法として「椀かけ」という方法を使います。これは鉱物の比重（密度）の違いを利用する方法で、水中で砂を入れた盆を傾けつつ回転させて、比較的軽い鉱物を飛ばし、後に残った重い鉱物を回収します。

砂の中に含まれる重鉱物だけを濃集させる採取方法（椀かけ）

1. 盆にスコップ（移植ゴテ）1杯分くらいの砂を入れる。
2. 水面下ギリギリのところで盆を傾けながら回転させる。
＜コツ！＞盆の中央部が常に水面下にあり、縁部は盆を揺らすたびに水面から出たり入ったりする感じ。
3. 盆の中の砂が最初の量の1%以下になるまで減らす。
4. 盆に残った砂の色が黒っぽくなってきたら成功。

初めは上手くできなくて、盆の中の砂を全部流してしまったりするかもしれませんが、慣れるとかなり効率良く重鉱物だけを濃集させることができるようになります。あきらめず挑戦してください。



7. 野外での砂の分析方法

鉱物の種類を調べるにはさまざまな方法がありますが、ここでは野外で手軽にできる鑑定方法を紹介します。また、鉱物ではありませんが、火山ガラスと岩片についてもあわせて説明します。

01. 磁性による分類

鉄（二価鉄： Fe^{2+} ）を含む鉱物は磁性を示します。鉄の含有量が多いほど、強い磁性を示すので、ここでは2種類の磁石を使った分類方法を紹介します。



普通の磁石（フェライト磁石） につく鉱物（強磁性鉱物）	磁鉄鉱
強力磁石（サマリウム磁石、ネオジム磁石）につく鉱物（弱磁性鉱物）	ザクロ石、斜方輝石、単斜輝石、角閃石など

（注）鉄の含有量（鉄／マグネシウム比）によってはつかないこともある。



鉱物に直に磁石を近づけると、あとで取り除くのが大変なので、ビニール袋越しに磁石を当てるなどの工夫をすると良いでしょう。



強力磁石は、キャッシュカード等の磁気カードや携帯電話等の誤作動を引き起こすことがありますので、使用時、携行時にはこれらに近づけないよう注意しましょう。特に、心臓ペースメーカー等の医療機器を使用している方は充分ご注意ください。

02.形状による分類

ここからは肉眼観察による分類ですが、数倍から5倍程度のルーペがあると良いでしょう。いわゆる虫眼鏡でも良いのですが、鉱物・宝石鑑定用のルーペがあればなお良いです。



長柱状（一方向に長く伸びた形）	石英、角閃石、斜長石、緑閃石など
短柱状（縦横比の小さい直方体）	斜方輝石、単斜輝石など
平板状（ぺらぺらとした平べったい形）	白雲母、黒雲母、緑泥石、蛇紋石など
球状および立方体（ころころとした形）	ザクロ石、カンラン石、磁鉄鉱、黄鉄鉱など
不定形（角の尖った物が多い）	火山ガラス、岩片など

運搬・堆積の過程で割れるなどして、鉱物本来の形を失っているものもあるので、あくまで鉱物同定の目安と考えてください。

03.色による分類

一般に軽鉱物は無色、重鉱物は色がついています。大半の鉱物は透明ですが、重鉱物の中には不透明なものもあり、これらは不透明鉱物と呼ばれます。

無色	石英、長石、火山ガラス、白雲母 (火山ガラスの中には褐色のものもある)
褐色	斜方輝石
緑色	単斜輝石、カンラン石
赤	ザクロ石
黄緑色	緑レン石 (エピドート)
濃緑色から黒	角閃石 (一部に青色もある)
緑色	緑泥石
黒 (不透明)	磁鉄鉱
金色	黄鉄鉱 (不透明で、金属光沢あり)
不透明 (にごった感じ)	岩片

色の観察をするポイント

1. 同じ鉱物でも、化学組成の違いによって色が異なることがある。一般に重鉱物では鉄／マグネシウム比が大きくなるほど、色が濃くなる傾向がある。
2. 鉱物に限らず、色彩学の一般的特徴として、量が多いほど色が濃く見えるという特徴がある (マス効果)。つまり同じ鉱物でも 1 粒の時はほとんど無色に見えたものが、たくさん集まるとはっきりした色を呈する、ということがある。
3. 形状同様、色も鉱物同定における 1 つの目安と考えてください。

8. 科学分析の方法

01. 試料準備

野外授業で採集した砂試料は、実験室でより詳しい分析を行います。まずバルク試料をふるいにかけて、 $250\mu\text{m}$ （マイクロメートル）よりも粗いものを取り除きます（1 マイクロメートルは $1/1000$ ミリメートル）。粗いものには岩片などが多く、単結晶の鉱物に分離されていないものが多いからです。その後、ふるいにかけて試料と椀かけで濃縮した重鉱物の2種類の砂試料のそれぞれについて、薄片と呼ばれる試料に加工します。

02. 薄片製作

岩石や鉱物をスライドガラスに貼り付けて薄く削ったものを薄片と言います。不透明鉱物を除く鉱物は非常に薄くすると光を透過するようになり、顕微鏡で観察することが可能になります。

採取した砂試料の観察準備

1. 野外で採集したバルクの砂試料をふるいにかけて、 $250\mu\text{m}$ （マイクロメートル）よりも粗いものを取り除く
2. 濃集させた重鉱物の試料は、重液と呼ばれる比重の大きい液体で、さらに純度良く重鉱物を濃集させる（重液分離）
3. 砂試料は、そのままではバラバラになってしまうため、エポキシ系接着剤と混ぜてペースト状にし、スライドガラスに貼り付けて固定する。
4. 完全に固化したら、グラインダーなどで削って観察できる厚さまで薄くする。

* 重液分離とは？

水よりも比重(密度)の大きい液体を重液と言います。軽鉱物の密度は 2.6 から 2.7 g/cm^3 くらいなので、これよりも比重の大きな液体の中では軽鉱物は浮きます。一方、重鉱物の密度はおおむね 3.0 g/cm^3 以上なので、液の密度をこの間に調整してやれば、軽鉱物は浮き、重鉱物は沈みます。このようにして鉱物を分離する作業を重液分離と言ひ、鉱物分離の手法の一つとしてよく使われています。

03.顕微鏡観察

偏光顕微鏡という特殊な顕微鏡を用いて、薄片の観察をします。顕微鏡観察によって、肉眼（ルーペ）で見た時よりも詳細に鉱物の種類や組織などの特徴を観察することができます。

04.電子顕微鏡による観察と化学組成分析

鉱物の中には通常の顕微鏡観察だけでは見分けのつきにくいものもあります。そういった鉱物は、電子顕微鏡で化学組成を測定することによって判別します。また、鉱物の中には同じ種類であっても化学組成が微妙に異なるものがあります。たとえば、斜方輝石の化学式は $(\text{Fe, Mg})_2\text{Si}_2\text{O}_6$ で表されますが、この最初の項「 $(\text{Fe, Mg})_2$ 」は、鉄（Fe）とマグネシウム（Mg）を足して2になる、という意味です。つまり同じ斜方輝石であっても、 $\text{Fe}:\text{Mg} = 1:1$ のものもあれば、 $\text{Fe}:\text{Mg} = 0.5:1.5$ のものもあるということです。電子顕微鏡を用いた化学測定ではこういった化学組成の違いを明らかにすることができ、それによって、それぞれの鉱物の起源などを推定することができます。

05.年代測定

ジルコンやモナズ石といった鉱物は、ごく微量の放射性元素（ウランやトリウムなど）を含んでいます（もちろん微量なので、人体には無害です）。これらの元素は鉱物ができた時に取り込まれ、その後、徐々に崩壊して他の元素に変わっていきます（放射壊変）。この崩壊は一定の速度で起こるので、今残っている放射性元素の量と、それが崩壊して新しくできた元素の量の比をとれば、今から何年前（実際には何万年、何億年という単位ですが）に、この鉱物ができたのかを知ることができます。これらの鉱物は、あたかも鉱物ができた時にタイマーのスイッチを入れたかのように正確に時を刻んでおり、これは鉱物の起源を知る非常に有力な手がかりとなります。

9. 有田川・紀ノ川の地質的特徴

地質概略

西南日本の地帯構造は、海溝軸（南海トラフ）に平行な方向に伸びた帯状の地質帯の重なり合いで特徴付けられます。最も典型的なのが四国で、北から南に向かって、白亜紀の花崗岩類を主体とする領家帯、白亜紀の広域変成帯である三波川帯、古生代～白亜紀の堆積層である秩父累帯、白亜紀～第三紀の付加体からなる四万十累帯などが、東西方向にきれいな帯状をなして分布しています。それぞれの地質体の境界は断層になっています。紀伊半島においてもこの基本構造は概ね保たれていますが、三波川帯の分布幅は東に向かって狭くなり、半島東部では見られなくなります（図1）。

広域変成岩とは、プレートの沈み込み帯において、一旦地下深くまで（時には100 km以深まで）沈み込んだ岩石（堆積岩や火山岩）が上昇して、再び地表に露出したものを言います。地球の深部は高温高圧なので、岩石を構成する鉱物は、その温度圧力条件下で安定な鉱物の組み合わせに変化します（変成作用）。このため、火成岩や堆積岩にはあまり見られない、独特の鉱物を多く含みます。また、沈み込み及び上昇の過程で激しい変形を被るために、多くの広域変成岩には強い片状構造が見られるのも特徴です。これらの岩石は、沈み込み帯深部の情報をもたらすものとして非常に有用です。

中央構造線

九州から、四国、紀伊半島を経て関東山地にまで至る大構造線（断層）で、西南日本の地帯構造はこれを境に内帯（陸側）と外帯（海側）とに区分されます。地形図を見ると、紀伊半島から九州東部まで達するはっきりとしたリニアメント（直線構造）として中央構造線が表れているのがよく分かるでしょう（図2）。これは、断層のところは強度が弱く侵食されやすいので、地形的なギャップになりやすいからです。

有田川について

有田川は、高野山（楊柳山）を源流として、湯川川、白馬川、早月谷川など多くの支流を合流させながら、有田市まで全長67.2kmを流れ下る、集水面積457km²の川です。有田川の名前の起源は「荒れた川」からきています。荒地を流れる川筋は常に流れを変え、定まりがなかったといいます。流路は鳥尾川のあたりを流れた弥生時代から、次第に流路が北へと移り、平安末期ごろから現在のようになったと言われています。

有田川流域の地質について

有田川流域の地質は、5 つに大別できます。

1 つ目は、高野山付近を中心とし、さらに清水から金屋の流域にみられる秩父累帯です。秩父累帯は先白亜系、いわゆる秩父古生層と白亜系とからなります。先白亜系は砂岩・頁岩・礫岩・チャート・石灰岩・緑色岩などからなり、石炭紀から三畳紀の堆積岩です。白亜系は砂岩、頁岩を主とし、礫岩や凝灰岩を伴います。

2 つ目は、二川付近および金屋以西の流路の北側に分布する三波川変成帯です。砂質片岩、泥質片岩、珪質片岩、塩基性片岩を主として、若干の石灰質岩片、礫質岩片、変輝緑岩、変ハンレイ岩、超塩基性片岩類を伴います。

3 つ目は、中南から板尾にかけておよび二川の下流を主とする地域で四万十累帯からなります。構成岩石は、秩父累帯と同じく、砂岩、頁岩を主としチャート、凝灰岩などを伴う白亜系です。

4 つ目は、吉原から吉備町、下津野にかけて発達しているのは、約 200 万年前に形成された堅い地層で洪積層といいます。河川の中・下流域の流路に沿って発達する階段状の地形、河岸段丘が形成されています。河岸段丘は、かつて河底であった所が、地殻変動によって隆起し、その中央部に新たな流路が形成される、という過程を繰り返すことによって発達します。隆起が地震周期と関係していることも多く、また、段丘の発達史と津波性堆積物の関係を調べることで、過去の津波の規模を知ることができるなど、様々な情報をもたらしてくれます。

5 つ目は、吉備町から小島にかけての吉備平野、有田市須谷、古江見などの地域に発達する沖積層で表層部は河川堆積物からなります。沖積層とは、約 2 万年以降に形成された比較的新しい地層で、河川などにより運ばれた腐植土、泥土が堆積して形成される層です。日本の平野部の大部分は沖積層からなる平野です。また、沖積層には比較的最近の時代に噴火した火山に由来する火山灰も含まれています。

紀ノ川について

奈良県と三重県の県境にある大台ヶ原を源流として、和歌山県及び奈良県を流れる、全長 136m、流域面積 1660 km² の一級河川です。奈良県では「吉野川」、和歌山県では「紀ノ川」と呼ばれています。奈良県五條市付近から中央構造線のすぐ南側をまっすぐ西流し、和歌山市で紀伊水道に注いでいます。

紀ノ川流域の地質について

中央構造線の南側を流れる紀ノ川は、中流域以西には平野部がひらけ、北岸には白亜紀後期の堆積層である和泉層群や、主に花崗岩類からなる領家帯が分布します。一方、南岸には白亜紀の広域変成帯である三波川変成帯や、白亜紀～第三紀の付加体からなる四万十累帯が広く分布しています。

川原の礫や砂は流域の地質を反映しています。有田川との違いに注目して、川を旅する礫や砂について考えてみましょう。

10. 海洋科学掘削と Sand for Students との関係

河口から海へと流れ込んだ砂や泥などの堆積物は、海底でもさらに流れ続けます。図 5 は西南日本の海底地形図ですが、海底にも山や谷があり、陸上に劣らず起伏に富んでいることが分かるでしょう。陸上同様、堆積物は海底の谷地形（海底河川：チャンネル）に沿って流れ、海溝や盆地（海盆（かいぼん））のような低いところに溜まります。

日本はアメリカ、ヨーロッパと共同して統合国際深海掘削計画（Integrated Ocean Drilling Program: IODP）を推進しており、世界の深海底を掘削し、環境変動や地震発生、地殻内微生物、地殻やマントルの構造などの調査研究を行っています。日本は海底下 7000 メートルまで掘削可能な最新鋭の地球深部探査船「ちきゅう」（図 6）を提供し、この計画の中で主導的役割を担っています。

その「ちきゅう」による IODP の最初の掘削計画は、2007 年秋から始まる「南海トラフ地震発生帯掘削計画」（南海掘削）です。南海トラフとは、西南日本の下にフィリピン海プレートが沈み込んでいる所で、ここでは約 100 年おきにマグニチュード 8 クラスの大地震が繰り返し起こっています。南海掘削は、紀伊半島の沖でこの南海トラフを掘削し、地震の発生メカニズムなどを解明する壮大な計画です。この「Sand for Students」プロジェクトで収集・鑑定した砂のデータは、南海トラフ掘削によって得られた砂試料と比較され、その起源を特定する重要な手掛かりとなるでしょう。

IODP 南海掘削についてより詳しく知るには、以下のウェブサイトで調べてみましょう。

◇統合国際深海掘削計画（IODP）（英語）

<http://www.iodp.org/nantroseize/>

◇南海掘削・地球深部探査「ちきゅう」のウェブサイト

<http://www.jamstec.go.jp/chikyu/>

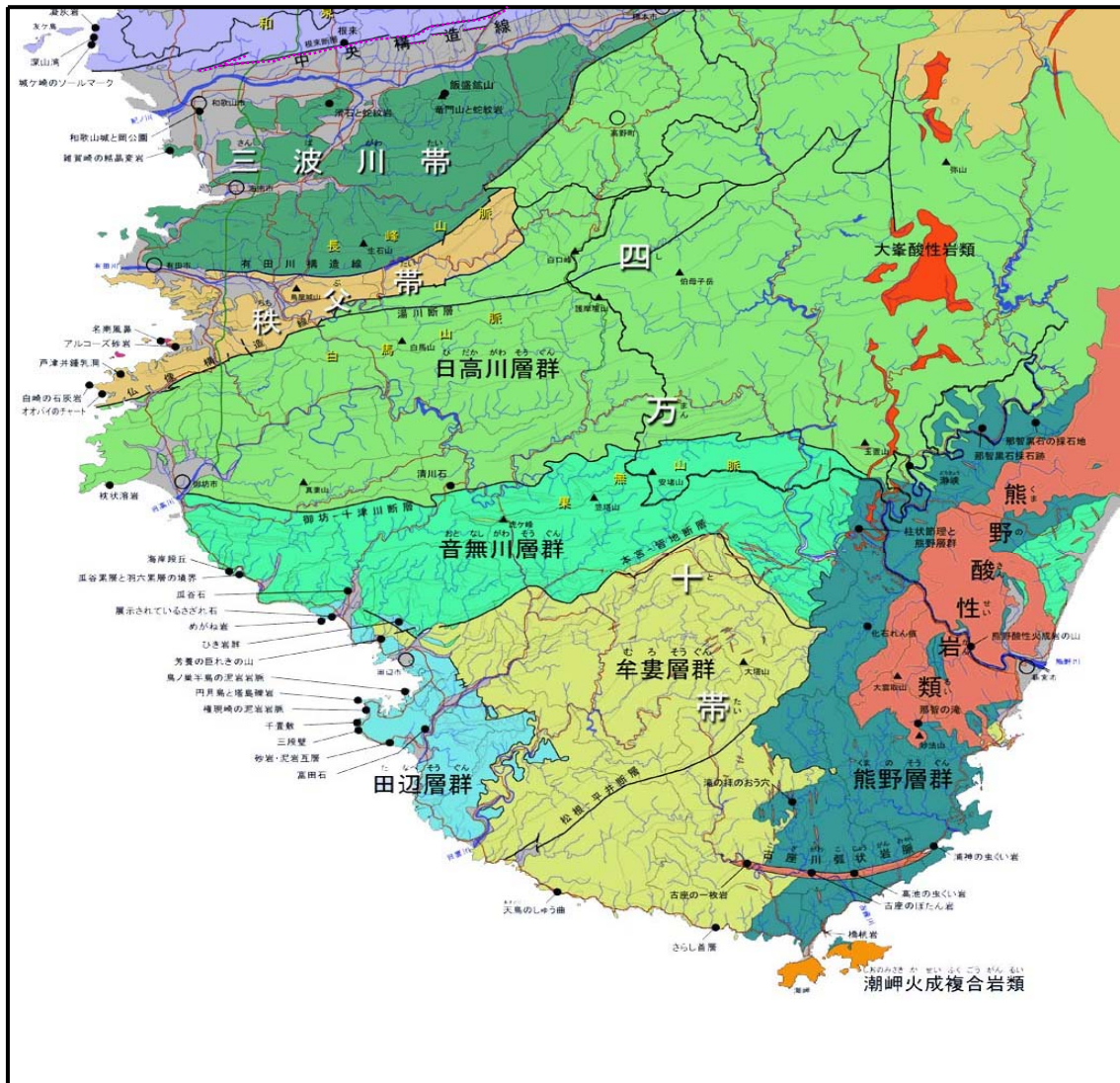


図 1. 有田川、紀ノ川流域の地質図

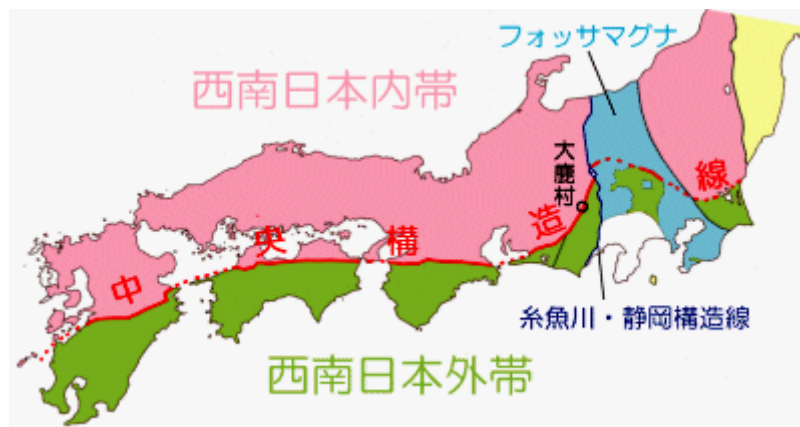


図 2. 中央構造線（中央構造線博物館HPより抜粋）

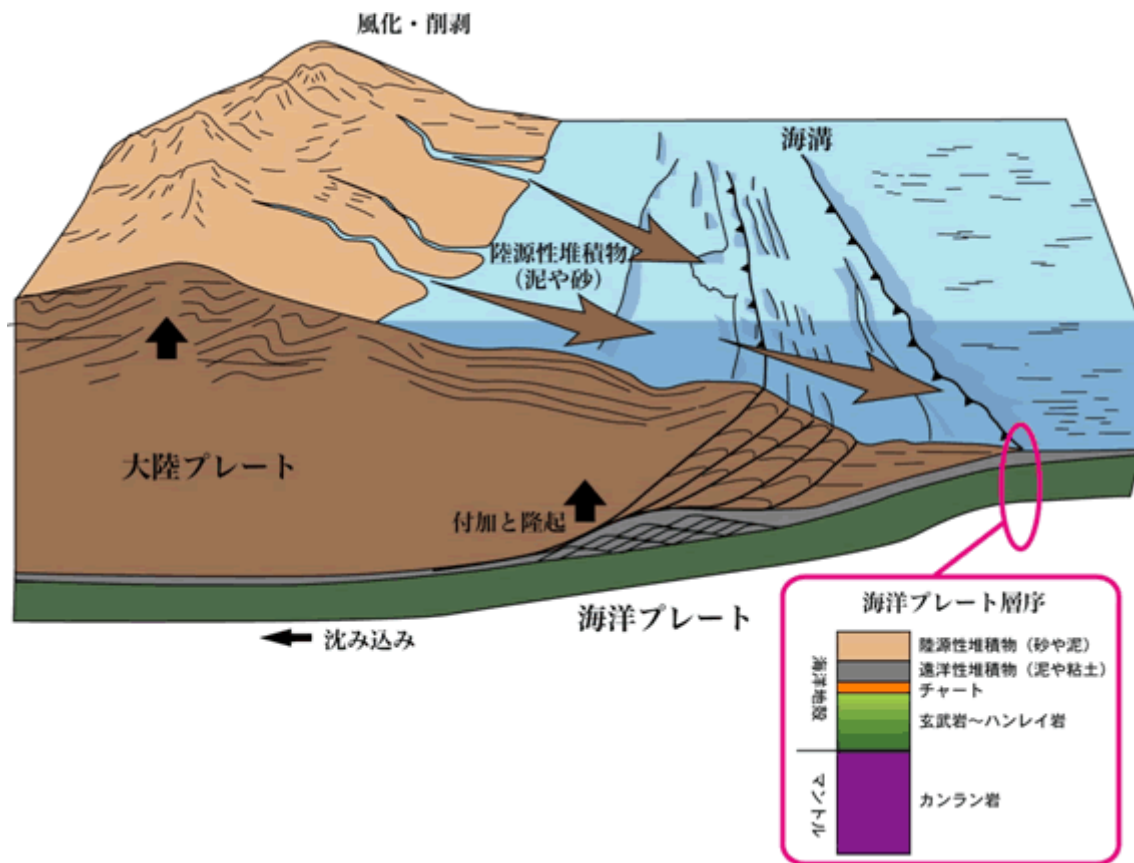


図 3. 沈み込み帯の断面図。沈み込む海洋プレートの一部は、沈み込む途中で剥ぎ取られ、切り身のように上盤側のプレートに付加し、付加体を形成する。こうしてできた付加体は、日本列島のような大陸辺縁部の変動帯に特徴的な地質体で、日本列島の大部分は付加体からできている。



図 4. 陸上に露出した付加体の例（宮崎県延岡市の四万十帯）

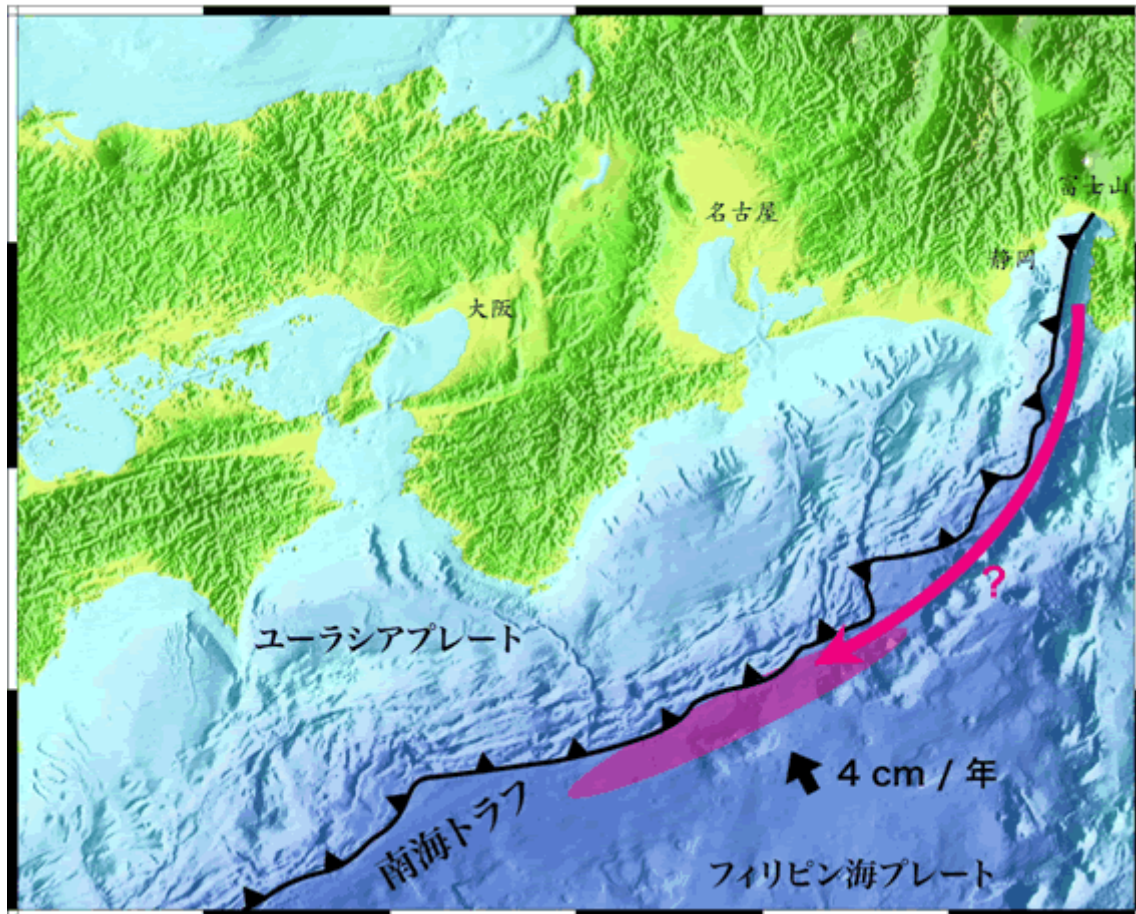


図 5. 西南日本太平洋側の海底地形図



図 6 下北半島東方沖で掘削試験中の地球深部探査船「ちきゅう」(提供: 朝日航洋)