

京都西山の地質構造からプレートテクトニクスを学ぶ

楠 利夫

同志社女子中高等学校 Tkusunoki@ma2.seikyoe.ne.jp

キーワード：京都西山，堆積岩ユニット，プレートテクトニクス，海洋プレート層序

（受付け：2004 年 8 月 12 日）

Ⅰ. はじめに

高等学校地学Ⅰや地学Ⅱの教科書には，プレートテクトニクスやその基本的な考え方の紹介がなされており，海洋底の拡大や大陸の成長，地震の発生メカニズムなど，雄大なスケールで地球の過去と未来像を示している。これらの新しい知識は，近年の海洋底における詳しい地質データと，入念に踏査された陸上の地質の調査結果を対応させ導き出し，統一的に解釈されたものである。

一方，地質を専門としない地学の高校教師も次第に多くなり，これらの“新しい知識”も具体的なイメージがないまま教えられていることが多くなっている。教科書ではその事を補うために具体的な地域地質の例から学ぼうと，北海道や四国の四万十帯など，生徒たちにとってあまり土地勘のない地域の勉強で終わっている。生徒たちと同様に，教師側も実感を伴わないのが実情のようである。地学（地球科学）が大きな変革を遂げて進んでいるにもかかわらず，主体となる生徒とその伝道者となる高校教師が進歩から取り残されつつある。

本論は，従来の“日本の地質の見方”が大きく変わった点と，そこから得られた事実を，生徒や教師が身近に感じている西山の地質（身近な山々）から地方版のプレートテクトニクスを学ぶことを目指している。内容は，実際に地学Ⅰの授業で使える“京都西山の地質構造からプレートテクトニクスを学ぶ”という実習の形態で，基本的な“地層累重の法則”と日本列島の骨格を作った“京都西山におけるジュラ紀付加体の成り立ち”に論点を絞っている。

本実習は，高校のアドバンスクラスや大学初年度の学生が使用可能なように，地学Ⅱの“付加体の成長”や“付加体の構造”の項目例とその発展として，構造形成の課題，詳しい解説と解答試案を付け加えている。この実習によって，教室で実物の地層や岩石を使って学習する等身大の地学の視点を越え，生徒や教師が身近な京都西山の地質構造から地質特有のマクロな時間と空間の広がりを実感し，地学のおもしろさを味わってほしい。

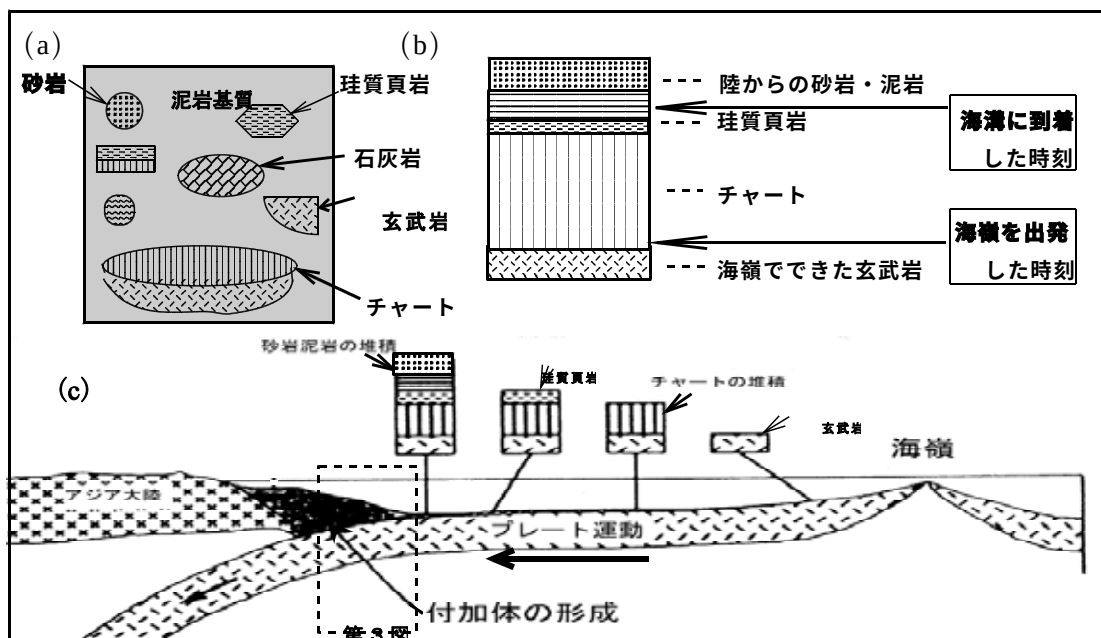
Ⅱ. 実習“京都西山の地質構造とプレートテクトニクス”（地学Ⅰ）

本実習は，発見的学習にもまとめとしても利用でき，岩石を学習していない人でも学べるように，地質を地層としてではなくユニットとして扱っている。これによって地質以外の自然地理など，他分野の方々にもプレートテクトニクスの付加体構造の学習に使用可能と考えている。しかし，郷土の地質を主なテーマとしてさらに学習を進める人には，京都でよく見かけるチャート，砂岩，頁岩，緑色岩などは地質を知る手段として重要な岩石で，やはり学ぶ必要がある。

1. 堆積岩ユニット区分と海洋プレート層序について

本論で使用する図は、地質図ではなく堆積岩ユニットの区分図で、従来の地質図とは異なっている。この堆積岩ユニットという用語は、近年では以下のような成り立ちで使われている。

京都西山に分布するような岩石の多くは、プレートテクトニクスではおもに付加体の堆積物に区分されている。一般に付加体の堆積物は、正常の状態で堆積した堆積物が、変形を受けたり岩塊（上下・側方に不連続な岩体）化した混在岩（泥岩を基質としていろいろな岩石が混じり合っできた岩石でメランジとも呼ばれる：第1図-(a)）になっている。これまでは、西山に分布する地質のほとんどは現地で堆積した正常な堆積物の地層（地層累重の法則が成り立つ）と判断され、従来の層序区分に対応した〇〇層や××部層と呼ばれていた。しかし、付加体の混在岩に従来の層序区分を適用することが困難となったため、最近では混在岩の面的な広がりを持ったまとまりをユニット（unit）やコンプレックス（complex）といった用語で呼ぶようになった。本論の西山の堆積物は混在岩と判断されるので、この呼称に従って区分の基本単位という意味を重視し、ここではユニットという用語を使っている。



第1図 基本となる海洋プレート層序とその形成過程（日本地質学会地質基準委員会，2001を基に改変作成）(a):ユニット内の混在岩のイメージで、各岩石は岩塊を成している，(b):混在岩から推定される海洋プレート層序，(c):プレート運動に伴う海洋プレート層序の形成過程

一般に、このユニットをなす混在岩となる前の岩石の理想的な基本層序は、下部から玄武岩、チャート、砂岩・頁岩が年代順に順序よく重なるような海洋プレート層序

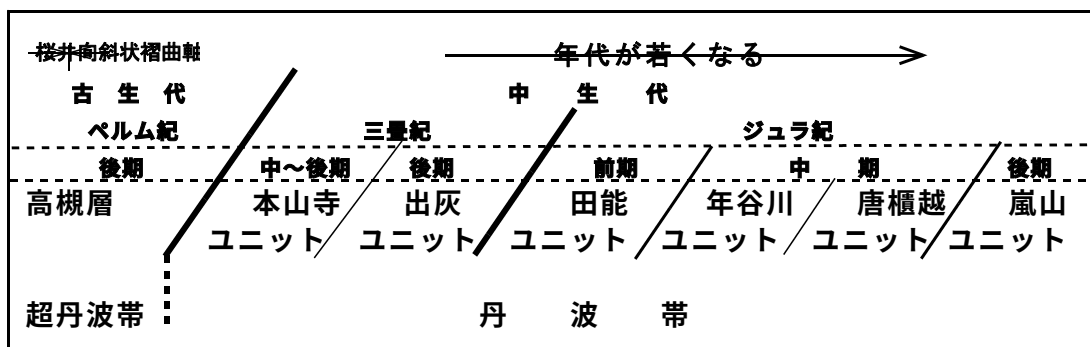
(井本・八尾, 1986; Isozaki and Maruyama, 1992など)である(第1図-(b))。海洋プレート層序は、海洋プレートが海嶺から出発(出発時刻)して海溝に到着(到着時刻)するまでにかかる時間(年代)を化石などで記録し、堆積物の形で出来事と場所を保存している基本層序で、地層累重の法則が成り立っている(第1図-(c))。

この基本層序は付加体形成時に生じる褶曲や断層運動によって地層が繰り返し、次第にばらけて原形を留めず混在岩を形成していく。このため、地質の研究者たちがフィールド調査で一連の海洋プレート層序を確認することはほとんど不可能である。そこで、地質を研究する人たちは野外調査でわかった断片的な海洋プレート層序の構成岩と砕屑岩の年代(到着時間)などから総合して、1つのまとまった地質体として認識でき、分布しているものを基本単位のユニットと呼んだ。したがって、ユニットは地質体の呼び名で地層の概念ではないため、ユニットに層序区分を適用することはできないし、異なる概念のため地層累重の法則もユニットには当てはめられない。では、混在岩よりなる各ユニットの並び方の構造は年代的にどのようなになっているのか、西山の堆積岩ユニット区分図(以後ユニット区分図と呼ぶ)で確かめてみる。

2. 京都西山のユニット構造の特性

海洋プレート層序が陸域に到達すると、先に到着した海洋プレート層序の下底に後続の海洋プレート層序が底付け付加され、混在岩からなるユニットを形成していく。各ユニットの上下は必ず断層で画され、構造的な下位のユニットほど砕屑岩の年代が新しいという一定方向の極性が認められる。

西山の丹波帯の各ユニットは、大局的に見て構造的な上位(桜井向斜状構造の軸から右へ)から、本山寺ユニット(中期三畳紀後期～後期三畳紀前期)、出灰ユニット(後期三畳紀)、田能ユニット(前期ジュラ紀)、年谷川ユニット(前期ジュラ紀後期～中期ジュラ紀前前期)のように砕屑岩の年代が新しく、それらが褶曲や断層で繰り返した(覆瓦構造)と読み取ることができる(第2図)。



第2図 大局的に見た西山のユニット構造の順序と年代傾向 付図2のA-B-C-D断面で構造的な下位のユニットほど年代が新しいことがわかる。各ユニットの間の線は衝上断層を示している。

3. 実習方法

付図1と付図2は実習用のプリントで、利用する場合は白い B4 の上質紙1枚に作り直して使用すると、塗色する際に色目が目立ちユニット区分が見やすくなる。

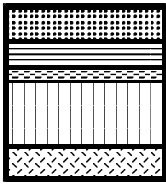
このユニット区分図を作成するに当たっては、宮地ほか（印刷中）『京都西南部地質図幅』や楠（未公表）の再調査結果を基本に作成し直した。さらに、ユニット区分を際立たせ、ユニット構造をわかりやすくするため、ユニット区分に必要な断層以外は消して書き換えている。また、塗色する際の色は入手しやすい 12 色セットで販売している市販の色鉛筆でできるように作成した。

塗色順序やユニット年代、ユニット名など生徒実習に必要な事項は付図1の凡例に記入している。生徒実習の前には必ず海洋プレート層序とその形成過程について説明する必要がある。また、生徒の学習状況に合わせて質問を作りかえるとよい。例えば、

設問1 “海洋プレート層序”は、下部から上部へどのような岩石が順に並んでいるか。また、これらの岩石は海洋底のどのような場所で形成された岩石と考えられるか。海溝、半遠洋、半遠洋～遠洋、遠洋、海嶺の各名称で答えよ。

などである。

解答：ア:砂岩・泥岩、海溝、イ:頁岩、半遠洋、ウ:珪質頁岩、半遠洋～遠洋
エ:チャート、遠洋、オ:玄武岩、海嶺：（第3図-(a)参照）

	岩石名	形成された場所
	ア ()	()
	イ ()	()
	ウ ()	()
	エ ()	()
	オ ()	()

III. 西山のユニット構造形成過程 (地学II)

次に付加体の発展学習（地学IIやアドバンスクラス）として構造形成過程を考えるための課題を作成した。

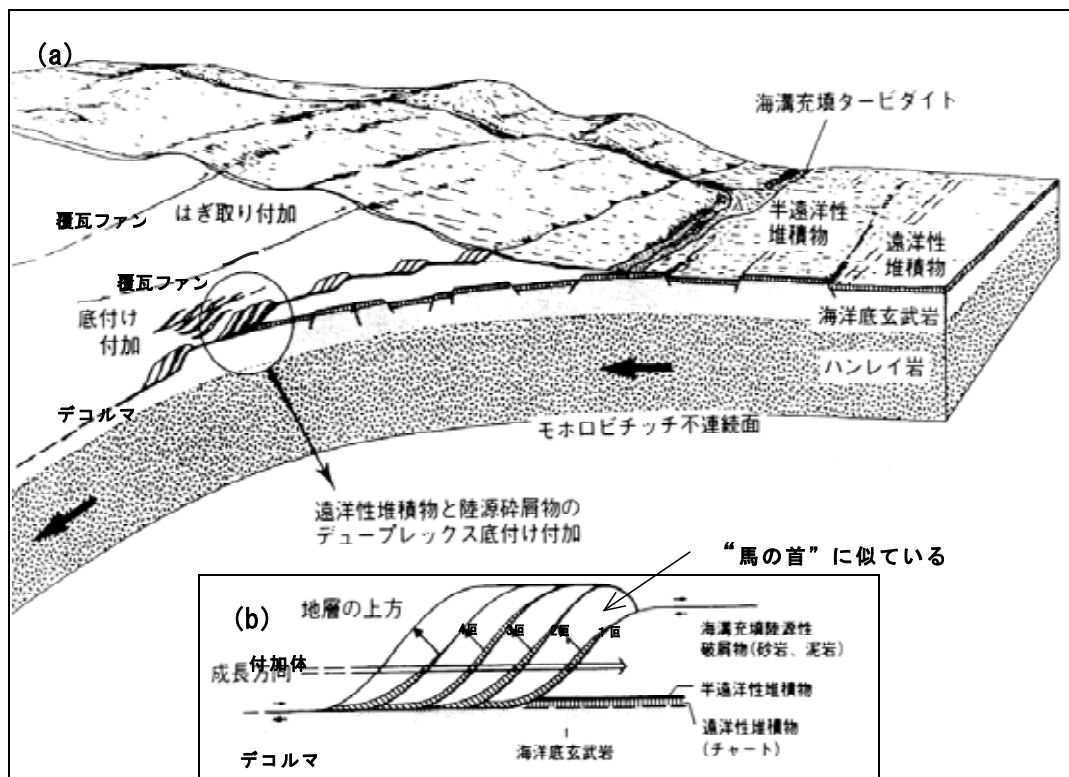
高等学校の地学IIの教科書では“付加体の構造”という項目である。例えば、数研出版の p.48 の“図 31 付加体の地層の重なり方とそのでき方”がこれに当たる。図を見て教科書を読んだだけでは、かなり興味を持っている生徒でさえ理解するのみに終わってしまい、具体的な付加体との結びつきまでには至らない。これは構造（デュプレックス）と、そのでき方の簡単な紹介で終わっているためと考えられる。本論では、これらの新しい内容や定義を省略せず簡単に説明し、なぜ必要なのかを身近な西山のユニット構造形成過程と結びつけ、地史の一端を編むことによって考えさせていく。

さて、西山の構造形成過程を明らかにするには、上記のデュプレックス構造のほかに現世付加体の詳細な調査によって明らかになったデコルマ（*decollement*：断層面の傾斜が地層面と同じでほぼ水平な断層）の存在や、アウトオブシーケンススラスト（*out-of-sequence thrust*：デュプレックス形成後陸側でできるユニットを切るような衝上断層）などによって付加体が肥大化する過程を使って解決していくことになる。こ

これらの解決に必要な考え方とその内容は、構造形成において互いに関連して発生するため、各用語は独立した説明にはなりにくいですが、次項で簡単に説明する。

1. 付加体とデュープレックス

第3図は、海洋プレートが大陸地殻の下に沈み込んでいく際にできる付加体の形態をモデル化したものである。図のように、付加体の形成には付加体先端部や浅い場所で起こる“はぎ取り付加”と、付加体の深部底で起こる“底付け付加”の2種類が知られている（第3図-(a)）。このうち、西山のユニット構造の形成過程は、後者の“底付け付加”によって説明できる。



第3図 付加体の模式的立体断面図 (Matsuda and Isozaki, 1991を改変作成)
(a)はぎ取り付加と底付け付加 (b)デュープレックス底付け付加過程。

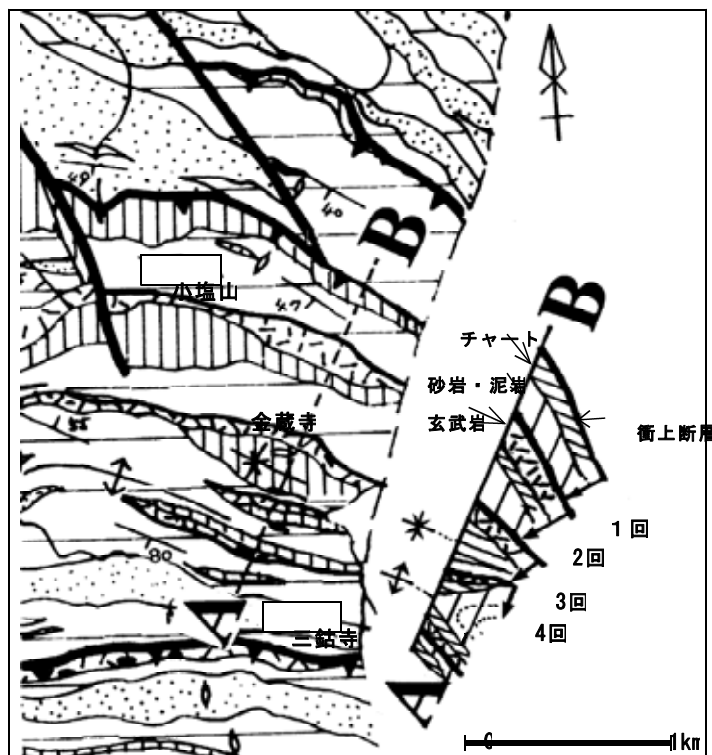
はぎ取り付加：海洋プレートが大陸地殻側に進むと、海洋地殻（玄武岩）の上の浅部で生じたデコルマからのびた衝上断層（スラスト）によって、扇子を 1/4 程度開いたような構造形態（覆瓦ファン：第3図-(a)）で海洋プレート層序の上部がはぎ取られていく。例えば、道路に水平に積もった雪を、ブルドーザーがはぎ取っていくようなイメージである（数研出版の地学Ⅱ p.47 にその例が示されている）。

底付け付加：海洋プレートが大陸地殻のより深い側に沈み込んでいくと、デコルマ

も次第に深部に引き込まれていく。このため、デコルマは海洋プレート層序下底に生じ、さらに深部へ潜り込んでいく。深部に進むと、横圧力のためデコルマを含む海洋プレート層序が衝上断層によって断ち切れ、将棋倒しのような構造（デュプレックス構造）で底付け付加され、付加体全体が陸側に厚くなりながら成長していく（第3図-(b)）。

デュプレックス：duplex はフランス語で“二階建て”の意味である。1980年代に褶曲衝上断層帯で発見された比較的新しい構造である（第3図-(b)）。おもに横圧力によって衝上断層が順序よく連続的に生成され、結果として断面図では衝上断層によって取り囲まれた“馬の首”状の地質体が重なってできている。第3図-(b)は、最も単純な形態を示している。地質平面図で見ると、玄武岩－チャート－砂岩・泥岩の海洋プレート層序が何回か繰り返す構造が認められる。

西山には底付け付加によるデュプレックス構造の断片と推定される部分が地質図上でコンパクトに見られるところがある。付図2のユニット区分図では田能ユニット東端部にあたるところ（点線の四角で囲った部分）で、第4図の地質概略図では小塩山から南の金蔵時や三鈴寺にかけて分布する。第4図のA-B断面で示したように、構造的下位からチャート－砂岩・泥岩（1回）、玄武岩－チャート－砂岩・泥岩（2回）、



玄武岩－チャート－砂岩・泥岩（3回）、玄武岩－チャート－砂岩・泥岩（4回）という海洋プレート層序の繰り返しが認められる。これは先に述べた第3図-(b)の底付け付加によるデュプレックス構造の断片とみなすことができる。

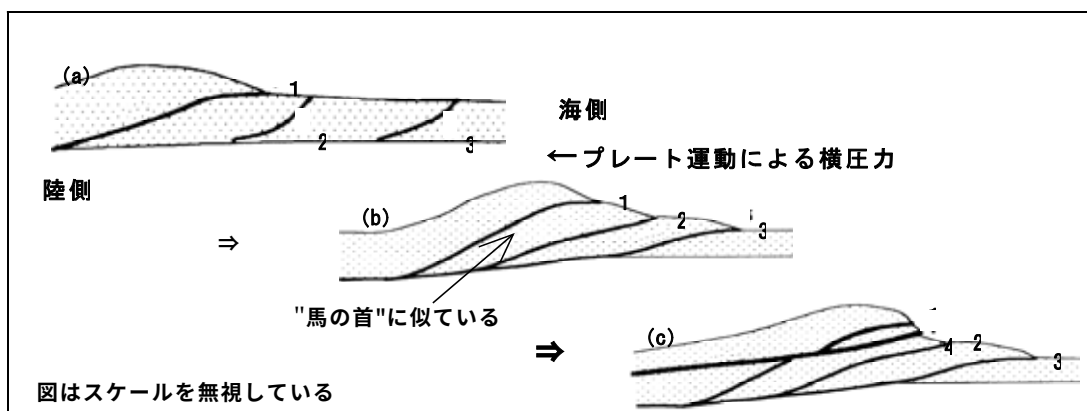
第4図 付図2で四角で囲った部分（田能ユニットの東端部分）を拡大した地質図。A-B線は右側に示した断面図の位置を示している。断面図のように海洋プレート層序（第1図-(b)）が4回繰り返し、第3図-(b)と類似の構造をしている。

デコルマ：フランス語の decollement, 英語では detachment で、どちらも同じ意味である。

デュプレックスを形成するような衝上断層帯の上下の面での大規模なすべり帯をデコルマと呼んでいる（第3図-(b)）。デコルマ面の上下は、大きく異なる岩相や構造になっている。ヨーロッパアルプスやカナディアンロッキーの衝上断層帯下底のデコル

マは大規模で、デコルマ面に沿って数十 km ～数百 km 移動している。また、デコルマ面は、剪断強度の弱い泥岩などに形成されることが多く、ヨーロッパアルプスのジュラ山系では蒸発岩層の内部にあることがわかっている（狩野・村田，1998 による）。

アウトオブシーケンススラスト：造山帯の縁辺部に発達する褶曲スラスト帯などでは、造山帯の中央から周辺に向かって順次スラスト（インシーケンススラスト：in-sequence thrust）が生成し、覆瓦構造が形成される（第5図）。しかし、こうした整然とした順に生じるスラストとは異なり、整然とした順序からはずれた後方（付加体では陸側）で発生するスラストがあり、前方（海側）のインシーケンススラストとそれによる覆瓦構造が斜めに切られる。これがアウトオブシーケンススラスト（out-of-sequence thrust：Morley, 1988）と呼ばれている衝上断層である。アウトオブシーケンススラストは、付加体が成長していく際には不可避に形成され、主要なユニット境界を成すものとされている（木村，1998）。



第5図 アウトオブシーケンススラストの概念図（木村，1998を改変） (a)，(b)はインシーケンススラスト（1，2，3の順に生じる衝上断層）によるデュプレックス構造，(c)はアウトオブシーケンススラスト（4の衝上断層）の形成

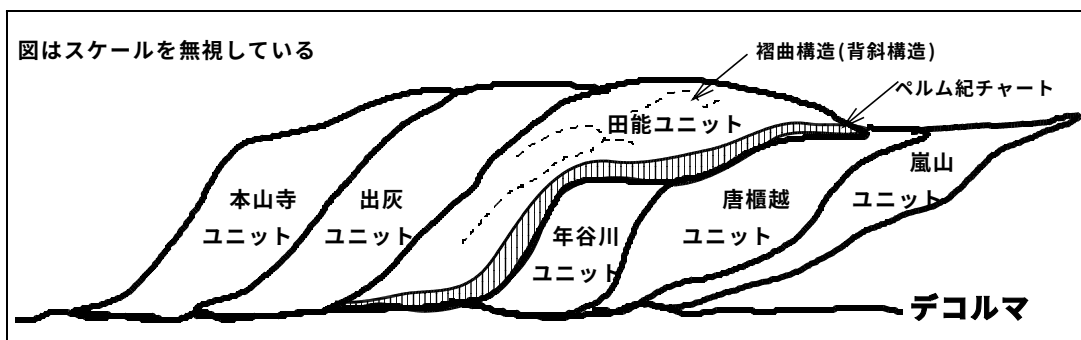
2. 実習-付図2のA-B-C-D断面図からの課題

詳しいフィールド調査によると、田能ユニット基底には厚いペルム紀のチャートが分布している。同様に、少し離れた嵐山^{からとこえ}付近の田能ユニットの基底（田能ユニットと唐櫃越ユニットとが衝上断層を挟んで接している部分）にもペルム紀のチャートが分布している。同じユニットの同様の年代と構造形態であることから、この部分のスラストはインシーケンススラストと推定できる。そして第6図のように、田能ユニット下底の大規模なスラストは、唐櫃越ユニットが付加されたときに年谷川ユニットを乗り越えたために生じたと考えられる。このことは、田能ユニットの岩石が泥岩主体で流動性に富むこと、年谷川ユニットをまたいだ部分で背斜構造が生じていることなどの地質状態から、チャート下底面のスラストが大規模であったことが推定される。このチャート基底の大規模なスラストは、以前から“小塩山衝動”と呼ばれよく知られていた。

このような底付け付加によって生成されたデュプレックス構造は、陸側から海側へ順にできるものがインシーケンススラストで、途中でスラストの順序を狂わせ、できあがった覆瓦構造を切断し、全体の整然とした構造を複雑にしているのがアウトオブシーケンススラストということになる。

さて、実習で描かれている西山の A-B-C-D 断面図では、構造的上位から各ユニットの並び方が第 2 図のように年代順に若くならず、順序の跳んでいる部分がある（田能ユニットと唐櫃越ユニットの間の年谷川ユニットがない）。この部分はどのようにして形成されたのだろうか。

課題 第 6 図は、底付け付加によってできたデュプレックス構造を示す西山の断面図である。この断面図のどこにアウトオブシーケンススラストが生成されれば、実習の A-B-C-D 断面図のようになるだろうか。アウトオブシーケンススラストを記入し形成過程を推定しなさい。



第 6 図 西山の丹波帯でジュラ紀に形成されていたと推定されるデュプレックス構造形成時の南北断面。

IV. 京都西南部のユニット構造形成過程（解答試案）

第 3 図(b)のように付加体が成長していくが、ここでは西山に分布する付加体のユニット形成について、図とともにポイントとなる点を順に詳しく見ていくことにする（第 7 図）。

(a)プレートの運動に伴って底付け付加が進行し、田能ユニット下底のペルム紀のチャートと下位の玄武岩境界に分布する泥岩でおもに滑動しデコルマが生じる。次に年谷川ユニットが付加してくる。この時、玄武岩は前方の付加体のさらに下位の深部へ潜り込んでいく。その後、このチャート層下底はデュプレックス形成時に衝上断層に転じる。この時、田能ユニット基底部のペルム紀のチャートは、付加体が肥厚するのと同様な機構で地層が短縮され厚さを増していく。図中の各ユニットの下底はインシーケンススラストである。

(b)田能ユニットは、泥岩主体でユニット最下部に肥厚したペルム紀のチャートが分布し、チャート下底をなすユニット境界の衝上断層は褶曲しながら年谷川ユニットを一部越えて、唐櫃越ユニットに乗り上げる。この時に田能ユニット内部には背斜構造

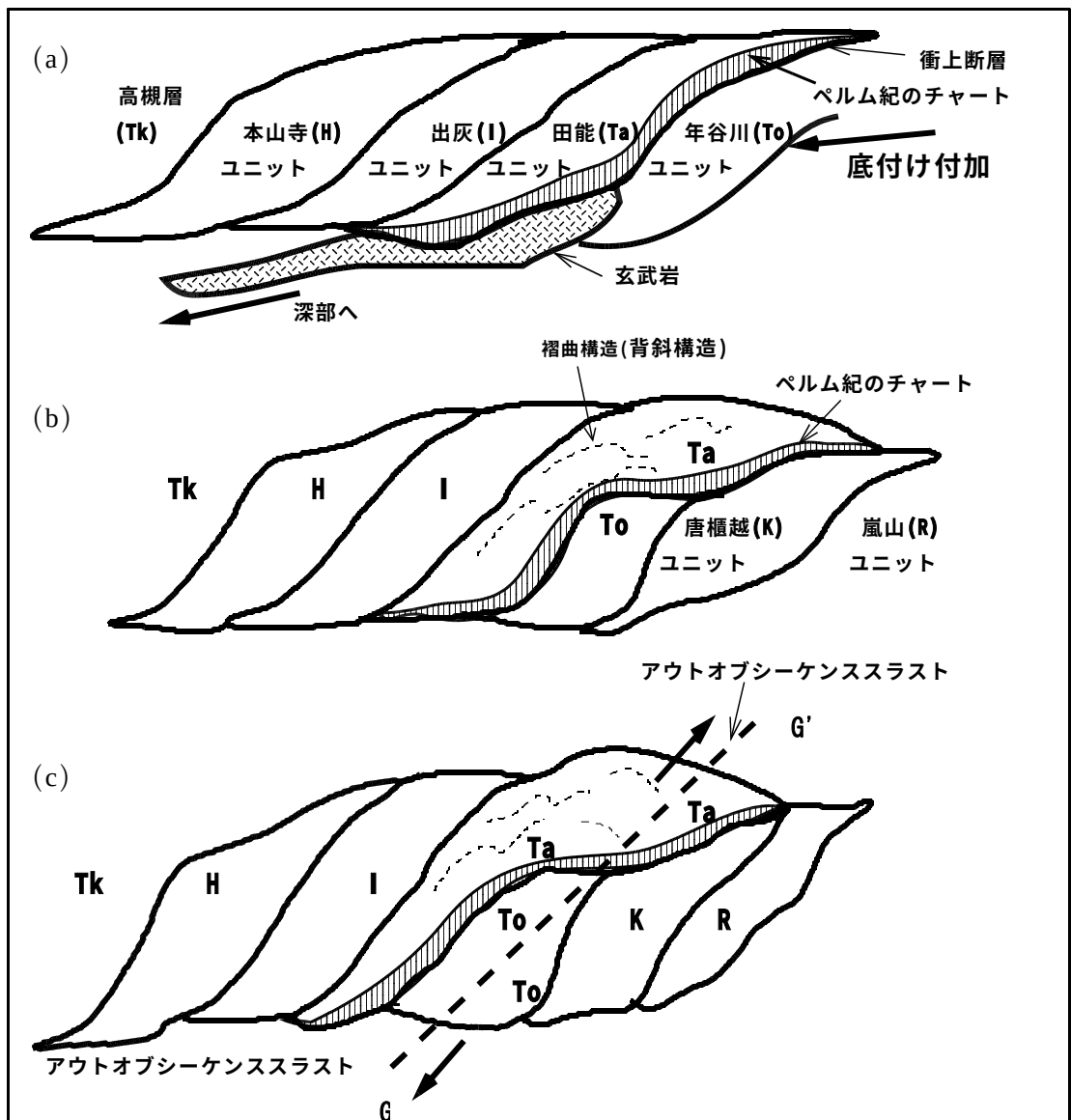
ができる。

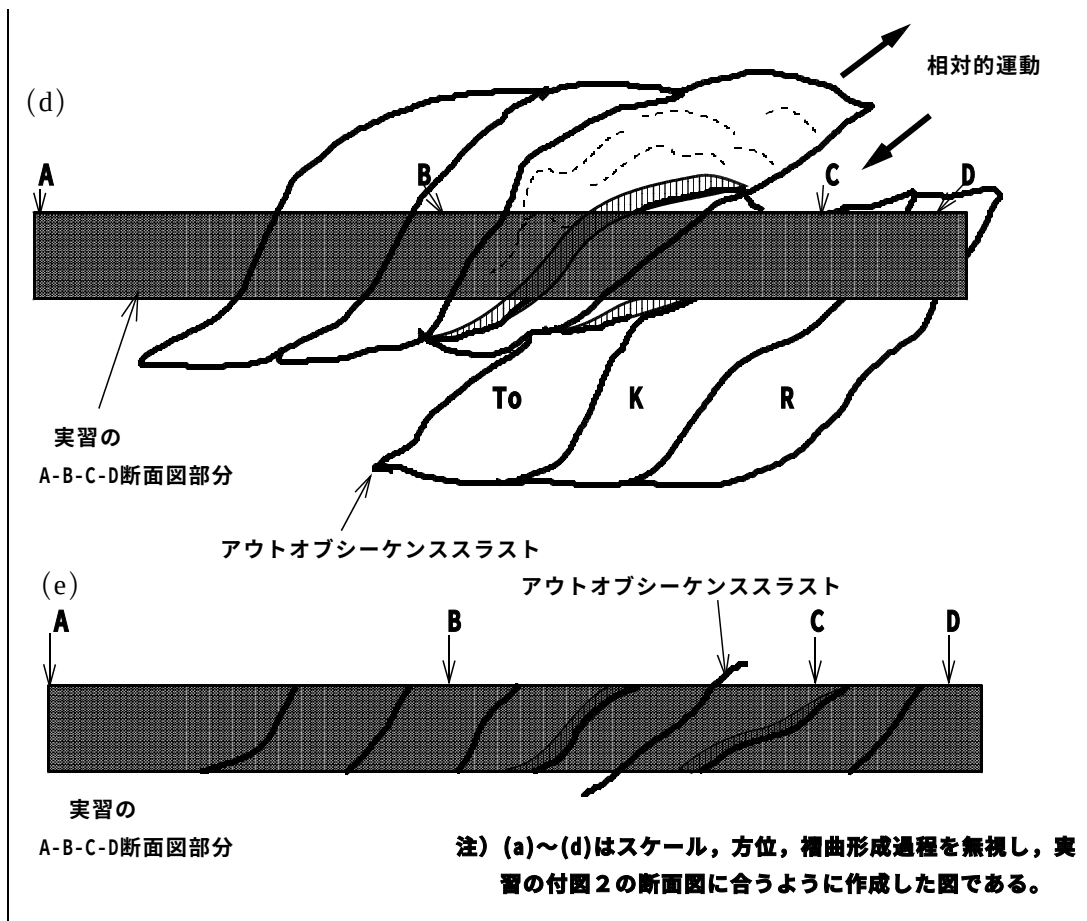
(c) 底付け付加が進み横圧力が大きくなると、年谷川ユニットと田能ユニットを切る方向に新しい低角の衝上断層 G-G' (アウトオブシーケンススラスト) が発生する。

(d) G-G' の衝上断層に沿って相対的に陸側 (左側) の上盤が衝上し、年谷川ユニットが田能ユニットとアウトオブシーケンススラストを挟んで接するようになる。

(e) 最終的に上昇した部分が削剥されて消失し、実習で描かれた A-B-C-D 断面部分のようなユニットの並ぶ構造断面ができあがる。

以上のほかにも構造形成過程の良い解答試案があるかもしれないので、生徒たちと一緒に考えてみるのが重要なポイントである。





第7図 京都西山に分布している丹波帯各堆積岩ユニットの構造形成過程 ((a) ~ (e)) を示す推定断面図。

追記) 構造形成上の注意点

上述の構造形成過程の解答試案で注意すべき点がある。第7図の最後に「注)」として書き添えた。これについてももう少し詳しく説明する。

本論の解答試案は、生徒たちの理解を助けるために地質構造発達史の中の2点を変更省略している。一点は、本論を全体に右側からのプレート運動で統一し、一貫性を保って考えるように工夫した点である。もう一点は、桜井向斜状褶曲軸を作った大きな褶曲形成過程を省いている点である。これは地質構造形成過程に多くの新しい概念が登場するため、複雑な地質構造形成過程を少なくしてできるだけ単純な形成過程で組み立てるためである。

変更した点についてやや詳細に述べると、前者のジュラ紀における海洋プレートの大陸に対する相対運動は南東から北西への斜め沈み込み運動で、デコルマとデュプレックス形成の運動もほぼ同様と考えられる (第7図からするとほぼ左側からの付加

で右側からの付加ではない)。ところが、後者の丹波帯の大きな褶曲構造（桜井向斜状褶曲や周山向斜状褶曲など）形成に関わって、褶曲軸北翼側の衝上断層は前者と逆の運動方向に転じ、現在見られる衝上断層の運動方向になったものと考えられる。このため、褶曲軸北翼側についてのみ上記の2点を変更省略し、北西から南東の海洋プレート運動方向（第7図において右側からの付加方向）と仮定しても実際の西山の構造結果が異なる不都合は生じていないものと考えられる。

まとめ

(1)堆積岩ユニット区分図は情報量の多い複雑な地質図とは異なり、地質構造のみを理解するのに有効で、最近では地質研究者の間で広く利用されている。この堆積岩ユニット区分と従来の層序区分との違いと、地層累重の法則の適用について考察した。

(2)生徒たちが郷土の地質やプレートテクトニクスの基本的な考え方に興味を持って学習することを願って、身近な京都西山の堆積岩ユニット区分図を地学Ⅰの実習に利用した。

(3)前述の地学Ⅰの実習で使用した断面図を利用し、地学Ⅱやアドバンスクラス用に、近年の付加体堆積物の調査から明らかになった構造運動の考え方に基づいて、西山の地質構造形成過程を組み立てる課題と解答試案の作成を試みた。

謝辞 京都教育大学前学長の井本伸広先生および同大学の武蔵野実教授にはフィールド調査や現地の露頭において、様々なご指導・ご討論をいただいた。フォーラム理科教育の編集委員の方々には投稿の機会を与えて頂き、本論において様々なご助言やご指摘をいただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げる。

文 献

- 井本伸広・八尾 昭 1986. 西南日本, 中・古生界の岩相層序について. 日本地質学会 関西支部報第 100 号記念例会講演要旨集 100: 15-17.
- Isozaki, Y. and Maruyama, S. 1992. Oceanic plate stratigraphy: The prime criterion of accretionary complex. abst. 29th International Geological Congress. p.414.
- 狩野謙一・村田明広 1998. 構造地質学. pp.298. 朝倉書店, 東京.
- 木村 学 2004. プレートテクトニクス学. 271pp. 東京大学出版会, 東京.
- 木村克己 1998. アウトオブシーケンススラスト. 地球科学 52: 234-235.
- 楠 利夫・井本伸広・丹波地帯研究グループ 2001. 京都西山, 中・古生代の地層観察ー露頭からわかることー. フォーラム理科教育 3: 28-38.
- Matsuda, T. and Isozaki, Y. 1991. Well-documented travel history of Mesozoic pelagic chert in Japan; from remote ocean to subduction zone. Tectonics. 10: 475-499.
- 松田時彦ほか 9 名 2004. 高等学校地学. 287pp. 啓林館, 大阪.
- Morley CK 1988. Out-of-sequence thrust. Tectonics. 7: 539-561.
- 宮地良典 他 4 名 印刷中. 京都西南部の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター
- 日本地質学会地質基準委員会 2001. 地質基準. 180pp. 共立出版, 東京.
- 力武常次 他 12 名 2004. 高等学校地学Ⅱ 地球と宇宙の探求. 255pp. 数研出版, 東京.

実習用 付図1

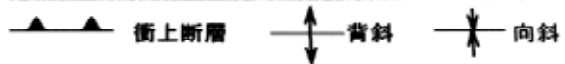
京都西山の地質構造からプレートテクトニクスを学ぶ

凡 例

方法

- ①左の凡例の各ユニット の中に指定された色を塗ります。
- ②次に、地質ユニット図の同じ記号で書かれ、細線で囲まれた部分（例えば、Hz, I, Tn など）には、凡例と同じ色を使って丁寧に塗色していきます。
- ③平面図の中の点線で書かれた A-B-C-D 断面線と E-F 断面線の上に、赤色で線を濃く上書きします。
- ④横にある断面図のユニット境界の線を鉛筆で濃く上書きします。
- ⑤次に両サイドに書かれた断面図にも、同様に同じ記号で書かれた部分（例えば、Hz, I, Tn など）には同じ色を使って色を塗っていきます。
- ⑥ユニット図と断面図の間にある点線部分で、山折りにして断面の様子を考えましょう。

地 質 時 代		色・記号	地質ユニット	地 史
億年	1.44	白亜紀		
		V(赤)	火成岩類	
		ジュラ紀	R(青)	丹波帯、各堆積岩ユニットの付加年代（陸源砕屑類の堆積年代で近似している）
			K(黄)	
	2.13	中生代	To(橙)	
			Ta(茶)	
		三疊紀	I(黄緑)	
			H(緑)	
	2.48	古生代	Tk(紫)	高槻層
			Y(桃)	山下層



設問

- 問 1 色分けしたユニットの並び方は、北から南へどのようなユニットの順番に並んだかユニットの名前を答えなさい。
- 問 2 「問 1」の順は、年代順ではどのような年代順に並びましたか。凡例を参考にして答えなさい。
- 問 3 ユニットの並ぶ順番は「地層累重の法則」をそのまま当てはめることができるでしょうか。
- 問 4 凡例にあるような順に並ばなかった地域がありますが、そこではどのような順にユニットは並びましたか。ユニットの名前と年代順を答えなさい。

実習用 付図2

