

# 付加体学事始め：黎明期における私的回想

## 第一部 地質学の道へ

小川 勇二郎<sup>1)</sup>

### 緒言

付加体とその周辺を構成する地層・岩体は日本列島の基盤を構成している。付加体の成り立ちを明らかにする研究の進展は、1980年代以降の付加体地域の地質図幅作成にも大きな影響を与えてきた。このことは、100万分の1地質図では第2版(1978)と第3版では凡例構造が全く異なっていることなどからも見てとれる。

今回、GSJ地質ニュース編集委員会は筑波大学名誉教授の小川勇二郎先生に「付加体学事始」と題してご寄稿いただいた。小川名誉教授は四万十帯や秩父帯の付加体、フランスカンのメランジュの成因などをご研究され、付加体地質学の黎明期から長くフィールドに根差した付加体学を牽引してこられた。また地質調査所と産総研地質調査総合センター(以下、GSJ)とも関わりが深く、例えば1995年の地質調査所研究発表会「海洋地殻そしてオフィオライト」では、地質調査所のメンバーとともに付加体地質の観点から海底鉱物の成因について議論いただくなど、地質調査所の研究成果に多くの影響を与えた。小川名誉教授はまた国際地質科学連合(IUGS)理事などを歴任される中で、アジア太平洋地域大規模地震・火山噴火リスクマネジメント(G-EVER)や東・東南アジア地球科学計画調整委員会(CCOP)での活動においてGSJの研究活動に大きく貢献されてきた。付加体の概念や野外での捉え方は数10年の間に大きく進展したが、その変化を目の当たりにした第一人者に個人的なご経験をもとに語っていただく。(GSJ地質ニュース編集委員会)

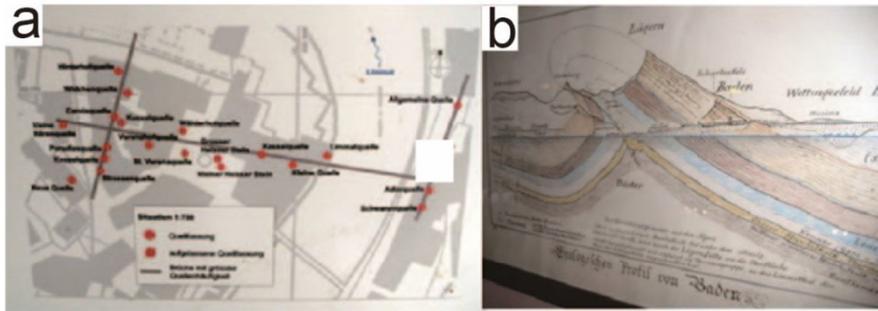
### 1. はじめに

地質学は、最近こそTVなどのメディアで取り上げられるようになり、環境、資源、災害や文化・教養との関連からも、市民レベルで語られるようにはなったが、日本では、従来は地味で国策上の事情や趣味以外には、あまり人気のない分野だった。ところが、西欧では地質は人間、社会、自然の基本中の基本事項であり、生活の重要な一部になっている。その最たるところがイギリスとスイスである。私がスコットランドの田舎で一人で調査していた時に、地元の若者数名に行き合った。何をしているのかと聞かれたので、ジオロジーと答えると、頭がいいんだねと言われた。日本でそんなこと言われたことはなかった。そこでは医学(生物学)と地質学が最も人気のある分野なのだそう。さすが、ドーリーとハットンの国だけはあった。また、スイスのバーデン(風呂、温泉)という名の保養地でホテルの周りを散歩していたら看板があり、自噴している泉源がプロットされている。その配列はほぼ直交するパターンで、おそらく共役断層に沿って泉源があることを示していた。ホテルの食堂には、その地域の地質断面図までもが額に入れられて展示されていた(第1図)。スコットランドのユースホステルやアメリカのモーテルにも、地域の地質図が展示されていたことがあった。

私は今までに初心者のための解説書の「付加体地質学」(小川・久田, 2005)を上梓し、また付加体や海溝のテクトニクスおよび未固結堆積物の変形についての簡単な総説(小川ほか, 2006; 小川, 2010; Ogawa, 2019)などを著してきた。付加体研究の萌芽は、1960年代後半におけるスタンフォード大学のWilliam Dickinson, コーネル大学のDan Karig, 中国南京出身でカリフォルニア大学ロスアンゼルス校で学位を取り、1967年にスイスETHに移ったKen Hsu教授らによる提案、即ち、過去のスラスト帯やメランジュ岩体が、現在の海溝における沈み込みコンプレックスと呼ぶものに対応するとの考えに見られるのであるが、学問分野としての付加体学の黎明期としては、1960年代

1) 筑波大学名誉教授 〒300-2358 茨城県つくばみらい市陽光台

キーワード：地質学入門、野外地質、海外研究者の来訪、地角斜＝縁海モデル、沈み込みコンプレックス、フランスカン



第1図 スイスバーデンの散歩道で見た泉源の位置を示す看板(図aの幅は約200m)と、ホテルの食堂に額に入れて展示されている地質断面図(図bの幅は約5km)。a)では、見事に水平圧縮の共役剪断面に沿って温泉が出ていることが直線で示されている。

後半から1980年前後にかけての国際深海掘削計画(DSDP-IPOD)の、特にメキシコ沖およびグアテマラ沖の中米海溝における1979年のLegs 66, 67とそれらが紹介された1980年イギリスでのLeggettシンポジウムとサザンアプランズ巡検、およびODPのバルバドス海嶺付加体の1986年のLeg110までと考えられる。さらにその後の1984年から1992年にかけて、日本周辺の海溝域での日仏KAIKO計画と関連する研究が行われ、また各地域で陸上と海域での研究が進んで、沈み込み帯の地球科学が体系化され、黎明期から発展期へ入った。

この付加体学の黎明期から発展期には、世界のいくつかの陸上と海溝域での過去と現在の褶曲スラスト帯が付加体であるとの概念が発案され、沈み込み境界でのさまざまな地質作用が精力的に観察・記載・研究され、付加体の認定や比較が試みられた。それらの研究では、堆積から構造要素の形成プロセスとメカニズムの議論がなされ、沈み込み境界での堆積物や岩石の集積・変形を主とする発達史が幅広く議論された。その間、多くの新しい研究手法が開発され、1990年前後からの深海掘削技術の進展とともに、海底での潜水船による目視観察や試料採集、現場観測なども行われるようになった。さらに各種の新技术による3次元音波探査や現場での種々の掘削時同時孔内計測なども行われるようになり、付加体中を流れる流体の構造地質的および生物化学的意義が論じられるようになったことで、2000年前後には、付加体学は新しい時代に移行した。研究地域も世界の代表的な陸域と海溝域に広がり、得られた試料の物理的、力学的特性を知るための室内実験やサンドボックス実験や2004年と2011年に起きた二つの海溝型の巨大地震や巨大津波との関連の議論も進んだ。国際深海掘削研究が複数の掘削船により統合されIODPに代わってからは、日本を主導として「ちきゅう」によるライザー掘削(二

重パイプ)を用いた南海付加体の掘削が実現し、さらに日本海溝の陸側斜面の先端部での掘削と計測が行われ、付加体および海溝研究は発展期を脱して、統合的な学問としての再挑戦が始まったとあってよい。本回想では、黎明期から発展期の初期におけるこうした海陸での付加体研究全体を通して、世界の研究者がどのような場でどのような発想を行動したのかについて、私自身の経験や研究交流のエピソードを中心に3回に分けて紹介したい。

## 2. はじめての地質学

私は東京オリンピックの年1964年に大学に入学してすぐに、人生初めての地質学の実験・実習を、地学実験の一環として受けた。地質学の用語や手法はすべて全くの初耳であった。手ほどきして下さったのは当時東京大学教養学部の助手であった私の人生最初の地質学の教師、徳山明氏と歌田實氏であった。相模川上流の桂川沿いの上野原の河岸段丘での野外実習を行ったが、最初から最後まで何がなんだか全く分らず、内容もほとんどチンプンカンプンであったが、これこそ自然科学そのものだとも思った。学期の最後に、厳しくも優しいところがあった徳山先生は私に言った。もし本格的にやりたいなら教えてやるよと。それが正夢になるうとはその時は全く思わなかった。当時は米ソの宇宙競争が進んでおり、同時に経済と科学技術が急進展し、社会は目まぐるしく成長していた。私は世間については自然科学以上に無知であったが、そのような社会の科学技術の発展が実生活や将来の世界の状況に密接に関連しているということは、2年後の1966年に理学部に進学するころになってやっと分かった。今では地質の情報は地政学の重要な一部分となっている。

### 3. 野外地質の初心者としての訓練

私たち地質学鉱物学課程の11名は1966年夏、久野久教授、山下昇助手の指導の下に、教養学部1年の時の野外実習と同じ相模川上流の桂川沿いで進級論文のための調査を行った。今回は段丘の基盤の新第三系中心の1か月ほどをかけての地質調査実習だった。久野教授からは、「露頭ごとにハンマーでたたき、新鮮な面を出しルーペで観察し、特に、異なる岩相や地層の境界に注目して観察し、スケッチをしてそれらの意味や成因を考え、その日の最後の露頭で一日の地質図と断面図を描きなさい」と指導された。現場主義を重視するフィールドジオロジストとしてのこうした指導は、まさに久野教授の真骨頂だった。そのとき地域の北部に分布していた小仏層群は、その後白亜紀の付加体であろうと考えられるようになったが、その時は内部の大小様々なスケールの変形構造は私には全く分からなかった。

1967年には木村敏雄教授、佐藤正助教授、徳山明助手の指導の下に、徳島県勝浦川流域の秩父帯北帯の白亜系について卒業研究を行った。白亜系の基盤は非常に複雑な層序と構造で様々な岩体が入り混じり、何が何だか分からなかったが、それも後日ペルム紀やジュラ紀の付加体だと考えられるようになった。卒論指導を徳山明助手から受けた時に、「砂岩を露頭の前でルーペで観察するとともに、サンプルのチップを持って歩き、次の露頭で比較する。大学に戻ったらただちに薄片を作り顕微鏡で観察し、顕微鏡を見ながらチップをルーペで比較することによって、次にはフィールドでルーペで見るだけで、顕鏡下での組成と組織の見当をつけることができる」と学んだ。その方法を私は「人間偏光顕微鏡」と名付けた。それはその後の研究に大いに役立った。

1960年代後半から1970年代前半にかけて、日本では米国の月探査の進展に合わせて岩石中の鉱物分析が進んでおり、それまでの岩石や抽出した鉱物の湿式定量分析と合わせてEPMA(電子線プローブマイクロアナライザー; Electron Probe Micro Analyzer)による微細な鉱物の化学組成の機器分析法が導入され、月からの試料の分析が世界に先駆けて行われたことは周知のことである。同時に最先端の実験岩石学が進展しつつあった(久城, 2014a, b)。この月の試料採集は、1971年丁度我々の研究室一同が大井川最上流で木村教授のもとで四万十層群(広義、以後同)の調査をしていた最中に、テントの中でラジオから聞こえてきたアポロ11号からのニュースで知ったものだった。同じころ野外地質分野でも堆積構造、地層の上下判定、大小

構造のジオメトリーや変形相などからの構造解析、小断層解析などの新しい手法や見方が導入され、一気に近代化に進むかとも思われた。しかし、野外地質学には露頭の状況や条件次第ではどのような研究手法が有効か、また命題の設定やそれを解明するための概念や研究手法には何が最適かなど難題が多く、全体には手探りであった。

一般にそのころ日本では、三次元的な地層や岩体の分布を知るには、尾根を登り、藪を漕ぎ、沢を一本一本つめてマッピングをし、その上で大胆な解釈をすることを必要としていた。一方地震のたびに隆起する傾向がある日本の海岸線に沿っては、好露頭が三次元的に連続する地域が多い。特に南関東の三浦・房総半島の海岸線沿いの連続露頭や内陸の沢沿いでは、戦後精力的な調査が驚くべきスピードで行われ、多くの成果が得られたことはよく知られている(小池, 1957; 高橋, 2018)。また山岳地帯では木材や紙パルプ原料の需要増に伴って、以前から軌道敷が作られていた地域も多かったが、1960年代前後から多くのスーパー林道と呼ばれた大規模な林道が建設されるようになった。私が四国東部の秩父帯で博士論文のための調査を終える1970年代初頭まではほんのわずかだったそうした林道が、直後には全国で山腹を縫うように急ピッチで建設され、新鮮で良質な好露頭が随所に出現した。それゆえ1960年代後期までの調査と1970年代に入ってからからの調査に基づく研究には、特に層序学や構造地質学的な研究にとって材料に根本的な質と量の違いがある。

### 4. 沈み込み帯地質学の萌芽

このような新しい概念の登場や露頭状況変化に伴って、野外地質研究の手法にも様々な変革をもたらされていた。私が1973年に5年間の大学院生活を終えて日本大学文理学部に奉職した前後に、すでに各大学やグループで新手法、新概念に基づく研究は広範に進んでいたが、年1, 2度の学会で知るそうした最新の知識や見解が、果たして一般性、広域性、国際性があるものなのか、それとも地域ごとの特性なのかを判断する料簡は私にはなかった。そのころ、地球物理学や新生代(特に第四紀)の地質分野では、プレートテクトニクスを受容する動きは速かったのであるが、野外地質分野まではそれが十分に浸透してはいなかった。後日、四万十層群の大構造を中心として九州から関東地方までのレビューを試してみたところ、各地域ばらばらの結果だった(Ogawa, 1985)。それが研究グループごとの調査方法、考え方や解釈の違いによるものか私には分からなかった。

指導教官の先生方は豊富な経験をもとに親切に指導してくださった。特に美祿<sup>みろく</sup>地域の三畳紀の挟炭層を秋吉造山運動の造山期のモラッセ堆積物としてとらえる斬新な研究を行っていたドイツ帰りの徳山明先生は、私の勝浦川の領石・物部川層群もそうしたものだろうととらえていた。ただ主として米国や西欧の諸国を中心として、多くの海洋関連あるいは地震、重力、地磁気、音波探査などの地球物理的観測に基づく大陸縁の新しい地球科学が、プレートテクトニクスに基づいて急速に進展していることが国際誌や書物で知られるようになっていたので、私は大陸縁での造山運動の研究について外国から学ぼうと思うようになった。

学部・大学院の学生時代、私が参加した講演会やセミナーには、カリフォルニア大学スクリップス海洋研究所の Victor Vacquire 教授、ケンブリッジ大学の Sir Edward Bullard 教授と Dan McKenzie 博士、米国海軍海洋気象局の Robert Dietz 博士、トロント大学学長の Tuzo Wilson 教授、ニュージーランドのヴィクトリア大学の Harold Wellman 教授らの、まさにプレートテクトニクス最初期の話題の紹介があった。特に 1971 年、東大地震研究所の笠原敬一教授、中村一明助教授、松田時彦助教授らが組織し、上記の McKenzie, Wellman 氏らを案内した糸魚川静岡構造線に沿う巡検 (Bowler, 2017) は、私に多くの新しい目を開かせてくれた。大学院を修了してすぐに大学に職があったのは今から考えると感謝の一語ではあるが、教職をしながら日進月歩の最新の知見を吸収し理解し追いつくのは簡単なことではなかった。大学院までの野外地質を補強するには三軸変形破壊実験などの実験的研究が重要だと分かったものの、それに身を投じる現実性はなかった。

## 5. 四万十層群の国際巡検

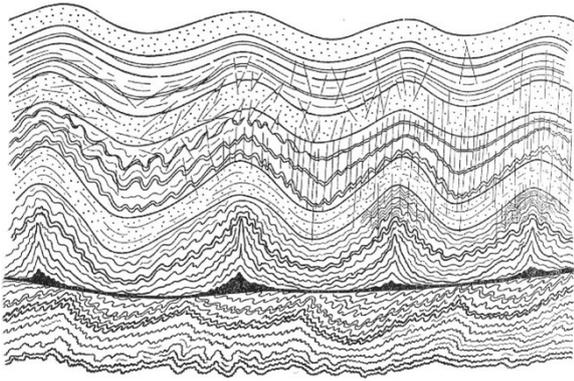
1976 年 6～7 月にカリフォルニアのスタンフォード大学の William Dickinson 教授が来日し、複数の大学を訪問した。京都大学や九州大学の研究者たちは Dickinson 教授に新しい日本の地質学の進展を紹介したが、一方で、教授の地道な露頭観察と斬新で大胆なテクトニクス アイディアに基づいたアメリカ西海岸で行われている研究からは、大いなるヒントを得たようだった。東京にいた私は Dickinson 教授らを案内した木村敏雄教授にお供して、静岡県大井川上流の四万十層群巡検に参加させていただいた (第 2 図)。帰京時のジープの中で Dickinson 教授が得意のウェスタンを歌う中、東大助手であった吉田鎮男氏と私は教授がセミナーで強調した arc trench gap の意味について質問責めにした。Oceanic trench の手前に forearc basin



第 2 図 1976 年 6 月, Dickinson 教授らとの大井川四万十層群巡検。中列右から二人目が木村敏雄教授, 後列, 左から Reinhart Hesse 教授, 岡田博有教授, 右隅が William Dickinson 教授, 中列中央が, Alec Smith 教授。前列中央が静岡大学に移っていた徳山 明助教授, 左端が筆者。吉田鎮男氏撮影。Dickinson 教授は, この砂泥互層の露頭によじ登り, タービダイトの砂岩の組織をなめるように観察していたのが印象的であった。

があって堆積物をためるのだ。砂泥互層の多くはここにトラップされるのだ。白亜紀のカリフォルニアでは、その外側のフランシスカン・コンプレックスが今でいう付加体の主体だという考えが彼の眼目だった (Dickinson, 1971, 1974, 1978)。

一つ強調しておきたいのが大井川流域の四万十層群相当層の野外調査と当時アメリカで進んでいた堆積岩の三軸変形破壊実験の結果からの考察に基づいて、木村敏雄教授がこのころすでに現在付加体とされる岩体の内部の大小構造の変形様式のありさまは、深さに対応する封圧、温度と歪 (歪速度) の条件による変形特性によって変わる、それも地域によって二つの褶曲シリーズの違いがあるとの着想を得ていたことである (Kimura, T., 1968; 木村敏雄, 1971; Kimura, T. and Tokuyama, 1971)。木村教授はのちに付加体と考えられるようになる地層群の変形相の議論とほとんど同じことをすでに 1970 年代初期には把握していたということである。すなわち、第 3 図に示すように、1) 砂泥互層を中心とする堆積体がある地域ではレンズ褶曲のシリーズ (不均一歪の破断変形卓越; 図の左側部分)、別の地域では剪断褶曲のシリーズ (均一歪の流動変形卓越; 図の右側部分) と、異なる変形様式のシリーズを持つこと、2) 全体に水平に近い褶曲包絡面を持ち、それらがデコルマンゾーン (ほぼ水平の地層に沿うすべり面) の上ですべり、二階建て構造を持つことなどを明らかにしていた。同じようなことは、砂泥互層を中心とする現在では付加体だろうとされる岩体の三次元的な構造相の意義がすでに共同研究者の徳山



第3図 木村敏雄(1971)に示された、日本での(特に、大井川流域の白亜系四万十層群を例として)褶曲や破断、流動の変形様式の違い。二つのシリーズがほぼ水平の褶曲包絡面(Enveloping surface, Faltenspiegel)がほぼ水平のデコルマンゾーンの上ですべてっており、いわゆる二階建て構造となっているとの図。全体の厚さは10 km内外という。後から考えると、付加体の全体の变形構造の基本を1970年代初頭に、予言していたかのようである。ただし、教授はその後も地向斜・造山論の概念の内部での議論を続けた。それは玄武岩やチャートなどと砂岩泥岩などが、すべて整合一連の堆積体であることを前提としたものだった。このことは、1970年代になっても、世界のほとんどの研究者が考えていたことだった。(地質学雑誌より許諾の上転載)

明氏や吉田鎮男氏によっても議論されていた(Tokuyama and Yoshida, 1974)。木村教授はそれらの地層は一般に整合一連であって、それをためた場所として地向斜を考えていたので、またそれは海溝域ではないと考えていたので、プレートテクトニクスを適用した海溝域での付加体の発想までは至らなかったが、内容的には極めて肉薄していたことになる。

活動的な縁辺地域、つまりプレート沈み込み帯陸側の褶曲スラスト帯(後に付加体と呼ばれるようになった部分)の陸上の代表的な例として、最初に話題になったのは、上に述べたようにカリフォルニア州のフランシスカン・コンプレックスであり(Hsu, 1968)、特にそのメランジュ(混在岩)の成因と意義が大議論になっていた。1971年から1979年にかけてDickinson教授はのちにShell石油研究所のSeely博士とともに、すでに世界の沈み込み帯の海溝から島弧に至る断面を系統立てて区分し、地形と堆積との関連を一般論として議論していた(Dickinson, 1971, 1974; Dickinson and Seely, 1979)。彼らは、そのモデルにおいてすべてのケースに、海溝の陸側には沈み込みコンプレックス(subduction complex)と呼ばれる地質体が形成されており、それはメランジュ岩体を主体とすると考えていた。彼らのモデルは、カリフォルニア州ではフランシスカン・コンプレックスとその東側のグレイトヴァーリー層群および

シエラネヴァダ・バソリスを白亜紀における triad(三つ組み)として、島弧海溝系における岩体の発達と配置が考えられるとしたものだった。現在では、このセットは一般論としては成り立つとも考えられているが、北米西岸地域のいわゆるコルディレラ造山帯でのそのようなモデルは、発達史的に見るとそう単純でもないという意見も出されている。

この沈み込みコンプレックスの発端となったフランシスカン・コンプレックスは、すでに1970年代には、Dickinson教授の学生であり後にシアトルのワシントン大学に移ったDarrel Cowan博士によって、サンタバーバラ北西方のサンシメオン海岸においてメランジュとされる高圧変成岩ブロックを含む混在岩は、その詳細な露頭観察に基づいて堆積性であろうと解釈された(Cowan, 1978)。また1980年代の初期には、カリフォルニア大学ロサンゼルス校で学位を取り、テキサス大学オースティン校へ移ったMark Cloos博士によって、同じ地域の混在岩がメランジュの沈み込み帯でのリターンフローによって上昇するとの物理学的な考察もなされていた(Cloos, 1982)。この二人の対照的な研究は、その後長く続くメランジュの成因論争、堆積性メランジュ説(オリストストローム説(大規模な地すべり岩体))か、構造変形によるとのテクトニック・メランジュ説かとの議論(Raymond, 1984; Moore, J. C., Cowan and Karig, 1985)の発端であった。その議論は、21世紀になっても続き、イタリアのボローニャ地域のオリストストロームやスケイリークレイ(鱗片状へき開)といった付加体学ではお馴染みの用語の発祥の地ともいえる地域で、精力的に研究を行っているAndrea Pini, Andrea Festa, Kei Ogataらの研究者(Pini, 1999; Festa *et al.*, 2019; Ogata *et al.*, 2019)と、Cowan, Cloos氏らと同じ地域でのOgawa, Mori, R. *et al.* (2015)による、ダイアピル説を含む包括的な成因論へと発展している。

一方で海溝集積体としての付加体(accretionary prism)なる用語と概念は、現世と近過去(新第三紀以降)の西太平洋およびインドネシア地域を広く研究していたコーネル大学のDan Karig教授らによって1970年代から使われ始めており(Karig and Sharman, 1975)、プレートの沈み込みに伴うスラストの形成によって褶曲スラスト帯が形成されると陸上調査に基づいて考え始められていた(Moore, G. and Karig, 1976)。だが現在と過去の海溝域での地質作用の具体的な実態の解明や関連の議論は、陸上では九州の四万十帯での勘米良(1976)が初めてであった。ついで、スコットランドのサザンアプラズ(南部高地)でのLeggett *et al.* (1979, 1982)も同様な見解を示した。実際の海底下の現象や実態の具体的な研究は、メキシコ沖の中米海溝

での DSDP-IPOD Leg 66 での Moore J. C., Watkins *et al.* (1982a, b) によるものであった。日本でもそれまで時代未詳中生層とされた四万十層群(広義)や類似した砂質タービダイトを主とするスラストスタック(スラスト岩体の積み重なり)による堆積体は、フリッシュ堆積物と考えられる以上にテクトニックな意義を含めて論じられるようになった。こうして、タービダイトとメランジュの集合体としてのそのような地層群は広く accretionary prism (付加体)と呼ばれるようになった。つまり、付加体の概念は世界の各地の海陸でほとんど同時に発想されるようになったわけである。

初期における代表的な陸上での研究地域は、フランスカン、インドネシアのニアス島、アラスカのコディアク島、カリブ海東端のバルバドス島などの地層群と日本の四万十層群(Moore, G. and Karig, 1976; 勘米良, 1976; 平ほか, 1980; Taira *et al.*, 1982; Ogawa and Horiuchi, 1978; Ogawa, 1982a) などである。これらの研究の多くは陸上と海洋の地質学の最新研究のリンクによる詳細な観察・記載・発想にもとづく成果であり、付加体学の初期の具体的な成果であったといえる。このころのテーマのうち、発達史を中心としてはロンドン地質学会特別号 10 号(Leggett, 1982)に、さらに構造地質学的土質力学的な議論については Moore J. C. (1986) と Maltman (1994) に紹介されている。1980 年代になってからは、付加体の全体像や流体の流れなどについて、多くの国際シンポジウムが開かれるようになっていた。それらのいくつかは、Moore, J. C., Taira and Moore, G. (1991), Tarney *et al.* (1991) などや、後に述べる KAIKO 計画の 4 部作特集号などに紹介されている。

なお accretionary prism なる用語に「付加体」との日本語の訳語を与えたのは、九州大学の勘米良亀齡教授だった。教授から聞いた話では、何がよいか考えに考えたのことだった。のちに南京大学を訪問した時の私の講演のタイトルには「増生楔」が使われていた。まさに直訳であろうが、さすが漢字の本国とも思った。その勘米良教授が九州での四万十層群の野外調査から発想した付加体の形成モデル(勘米良, 1976)は、Deep-Sea Research 誌に出た Hilde *et al.* (1969) の論文の図(小川, 2010)を見てのことであったという。これは音波源にスパーカーを使った船上での描像であるが、まさに付加体の世界初の構造描写であった。Texas A&M University の Tom Hilde 教授こそ、付加体を最初に認定する研究者になるべき人であった。Hilde 教授は、また、日本海溝での沈み込み侵食を最初に提唱した人としても知られている(Hilde, 1983)。

一方、Dickinson 教授と Seely 博士は海底下ではグアテ

マラ沖の中米海溝の陸側斜面下がスラスト帯としての大構造をとっているとの解釈をしていた。のちに掘削でそこは付加体ではないとされたが(小川, 1982b), 世界のすべての海溝域で何らかの付加体が発達しているとの一般的な分類モデルを提案したのである(Dickinson and Seely, 1979)。しかし、そのわずか 1 年後に、同じカリフォルニアのメンロパークの米国地質調査所の、David Scholl 博士、Roland von Huene 博士らは、ずっと具体的な海溝斜面の発達史の類型化を世に問うた(Scholl *et al.*, 1980)。これには世界の海溝域に 6 つの異なるパターンが見られ、付加体が形成成長する場合と、そうではなくむしろ陸側斜面が侵食されて陸側へ後退する場合もある、と説明されていた(小川・久田, 2005)。日本では、これを構造的侵食(tectonic erosion)と使う場合もあるが、本来は沈み込み侵食(subduction erosion)とされた(von Huene, 1986; von Huene and Scholl, 1991)。

## 6. 外国へ

上に述べた大井川巡検の直後の 1976 年 8 月、オーストラリアのシドニーで第 24 回万国地質学会議(IGC)が開かれた。私は静岡大学の徳山 明助教授、東京大学の浜田隆士教授、名古屋大学の足立 守氏らとともに参加した。初めての外国旅行だった。ここでスイス ETH の Augusto Gansser 教授、米国ニューヨーク州立大学オルバニー校の John Dewey 教授と Kevin Burke 教授、オーストラリアメルボルン大学の Edwin Hills 教授、米国イェール大学の John Rogers 教授らと交流することができた。また、ウプサラのスウェーデン地質調査所やスウェーデンの特別教授になる David Gee 博士は、非常に薄いナップの積み重なりをスカンディナヴィアのカレドニア帯から最初に発見し、注目を浴びた(Gee, 1978)。印象的だったのはテキサス大学オースティン校の Ian Dalziel(ディエル)教授であった。皆地質学について非常に熱意を持っているのが分かった。Dalziel 教授は複数の招待講演でパタゴニアアンデスから南極にかけての大陸縁が縁海と大陸との間の衝突で形成されたとの、縁海=地向斜モデルを強調した。現在でも日本海や西太平洋海域の有様を用いて縁海モデルを過去の堆積場や造山運動に適用することはよく行われている。Dalziel 教授の講演は丁度私の講演と同時に投稿した論文で示した秩父地向斜堆積物が黒瀬川古陸と衝突するとのモデル(Ogawa, 1978)と非常によく似ていた。その後私が中村一明教授に代わって ODP のテクトニクスパネルメンバーになって会議に参加してみると、その委員長はなんと Dalziel 教授で



第4図 1989年9月、ハワイ島のキラウエア火山のPuooクレイターの巡検で、ラバレイクをのぞき込むODPテクトニクスパネルのメンバー一行。右から、Dan Davis（付加体ブルドーザーモデルの創始者の一人）、Ian Dalziel（黒リュックの人物）、一人置いてTony Wattsの各氏（敬称略）。

あった(第4図)。私は5年半ほどお世話になった日本大学文理学部を後にして、1978年9月九州大学理学部へ転職した。

なお、このころまでは、世界の多くの研究者は依然として地向斜モデルを採用しており、プレート沈み込み帯周辺(縁海を含む)での褶曲スラスト帯を認めつつも、それが今でいう付加体である、と考える人は少なかった。その最大の問題点は、過去の地質体に含まれる厚い砂泥互層の堆積場と変形場の特定と、海洋性の岩石のブロックを伴う混在岩の存在をどのように考えるか、つまり、それらがどこで形成されたのか、整合一連の層序なのか、さらに大小構造が大きな変位を持つ断層で重なり合うのか、それとも何らかのメカニズムで混在・墨重するようになったのか、働いていると想定されるプレートテクトニクスでのどのような位置づけや意義づけがされるか、が具体的に議論しつくされていなかったからであった。

## 文 献

- Bowler, S. (2017) Fifty years on Dan McKenzie, plate tectonics, and more. *Geoscientist*, **27**, 10-15.
- Cloos, M. (1982) Flow mélanges: Numerical modeling and geologic constraints on their origin in the Franciscan subduction complex, California. *Geological Society of America Bulletin*, **93**, 330-345.
- Cowan, D. S. (1978) Origin of blueschist-bearing chaotic rocks in the Franciscan Complex, San Simeon, California. *Geological Society of America Bulletin*, **89**, 1415-1423.
- Dickinson, W. R. (1971) Plate tectonic models for orogeny at continental margins. *Nature*, **232**, 41-42.
- Dickinson, W. R. (1974) Plate tectonics and sedimentation. In: Dickinson, W. R. ed., *Tectonics and sedimentation. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication*, no. 22, 1-27.
- Dickinson, W. R. (1978) Plate tectonic evolution of north Pacific rim. *Journal of Physics of the Earth*, **26**, Supplement, S1-S19.
- Dickinson, W. R. and Seely, D. R. (1979) Structure and stratigraphy of forearc regions. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologist*, **63**, 2-31.
- Festa, A., Pini, G. A., Ogata, K. and Dilek, Y. (2019) Diagnostic features and field-criteria in recognition of tectonic, sedimentary and diapiric mélanges in orogenic belts and exhumed subduction-accretion complexes. *Gondwana Research*, **74**, 7-30.
- Gee, D. G. (1978) Nappe displacement in the Scandinavian Caledonides. *Tectonophysics*, **47**, 393-419.
- Hilde, T. W. C. (1983) sediment subduction vs. accretion around the Pacific. *Tectonophysics*, **99**, 381-397.
- Hilde, T. W. C., Wageman, J. H. and Hammond, W. T. (1969) The structure of Tosa and Nankai Trough off southeastern Japan. *Deep-Sea Research*, **16**, 67-75.
- Hsu, K. J. (1968) Principles of mélanges and their bearing on the Franciscan, Paradox. *Geological Society of America Bulletin*, **79**, 1063-1074.
- 勘米良亀齡 (1976) 過去と現在の地向斜性堆積体の対応. *科学*, **46**, 284-291, 371-378.
- Karig, D. E. and Sharman, G. F. (1975) Subduction and accretion in trenches. *Geological Society of America Bulletin*, **86**, 377-389.
- Kimura, T. (1968) Some folded structures and their distribution in Japan. *Japanese Journal of Geology and Geography*, **19**, 1-26.
- 木村敏雄 (1971) “破断”と“褶曲”. *地質学雑誌*, **77**, 335-340.
- Kimura, T. and Tokuyama, A. (1971) Geosynclinal prisms and tectonics in Japan. *Memoir of the Geological Society of Japan*, no. 6, 9-20.
- 小池 清 (1957) 南関東の地質構造発達史. *地球科学*, **34**, 1-19.
- 久城育夫 (2014a) マグマ研究における“論争”の回顧. *地学雑誌*, **123**, 31-46.

- 久城育夫 (2014b) アポロ月岩石のこと. 地学雑誌, **123**, 74-86.
- Leggett, J. K. ed. (1982) Trench-forearc geology. *Geological Society of London Special Publication*, no. 10, 576p.
- Leggett, J. K., Mckerrow, W. S. and Eales, M. H. (1979) The Southern Uplands of Scotland; a Lower Palaeozoic accretionary prism. *Journal of the Geological Society, London*, **136**, 755-770.
- Leggett, J. K., Mckerrow, W. S. and Casey, D. M. (1982) The anatomy of a Lower Palaeozoic accretionary forearc: The Southern Uplands of Scotland. in Leggett, J.K. ed. Trench-Forearc Geology. *Geological Society London Special Publications*, no. 10, 494-520.
- Maltman, A. J. ed. (1994) *The geological deformation of sediments*. Chapman & Hall, 362p.
- Moore, G. F. and Karig, D. E. (1976) Development of sedimentary basins on the lower trench slope. *Geology*, **4**, 693-697.
- Moore, J. C. ed. (1986) Structural Fabric in Deep Sea Drilling Project Cores from Forearcs. *Geological Society of America Memoir*, no.166. 160p.
- Moore, J. C., Biju-Duval, B., Bergen, J. A., Blackington, B., Claypool, G. E., Cowan, D. S., Duennebie, F., Guerra, R. T., Hemleben, C. H., Hussong, D., Marlow, M. S., Natland, R. H., Pudsey, C. J., Renz, G. W., Tardy, M., Willis, M. E., Wilson, D. and Wright, A. A. (1982a) Offscraping and underthrusting of sediment at the deformation front of the Barbados Ridge, Deep Sea Drilling Project Leg 78A. *Geological Society of America Bulletin*, **93**, 1065-1077.
- Moore, J. C., Watkins, J. S., McMillen, K. J., Bachman, S. B., Leggett, J. K., Lundberg, N., Shipley, T. H., Stephan, J.-F., Beghtel, F. W., Butt, A., Didyk, B. M., Niitsuma, N., Shephard, L. E. and Stradner, H. (1982b) Facies belts of the Middle America Trench and forearc region, southern Mexico: results from Leg 66 DSDP. In: Leggett, J. K., ed. *Trench-forearc geology, Geological Society of London, Special Publication*, no. 10, 77-94.
- Moore, J. C., Cowan, D. S. and Karig, D. E. (1985) Structural styles and deformation fabrics of accretionary complexes. *Geology*, **13**, 77-79.
- Moore, J. C., Taira, A. and Moore, G. F. (1991) Ocean Drilling and accretionary processes: *GSA Today*, **1**, 265-268.
- Ogata, K., Festa, A., Pini, G. A., Pogačnik, Ž. and Lucent, C. C. (2019) Substrate deformation and incorporation in sedimentary mélanges (olistostromes): Examples from the northern Apennines (Italy) and northwestern Dinarides (Slovenia). *Gondwana Research*, **74**, 101-125. doi:10.1016/j.gr.2019.03.001
- Ogawa, Y. (1978) Structural characteristics and tectonisms around the microcontinent in the outer margin of the Paleozoic- Mesozoic geosyncline of Japan. *Tectonophysics*, **47**, 295-310.
- Ogawa, Y. (1982a) Tectonics of some forearc fold belts in and around the arc-arc crossing area in central Japan. in J. K. Leggett ed. *Trench-forearc geology, Geological Society of London Special Publication*, no. 10, 49-61.
- 小川勇二郎 (1982b) 中米海溝域のテクトニクス. 科学, **53**, 467-476.
- Ogawa, Y. (1985) Variety of subduction and accretion processes in Cretaceous to Recent plate boundaries around southwest and central Japan. *Tectonophysics*, **112**, 493-518.
- 小川勇二郎 (2010) 付加体をめぐる諸問題—未解決の問題と重力の役割—. 地学雑誌, **119**, 153-172.
- Ogawa, Y. (2019) Conceptual consideration and outcrop interpretation on early stage deformation of sand and mud in accretionary prisms for chaotic deposit formation. *Gondwana Research*, **74**, 31-50.
- 小川勇二郎・久田健一郎 (2005) 付加体地質学. 共立出版, 160p.
- Ogawa, Y. and Horiuchi, K. (1978) Two types of accretionary fold belts in central Japan. *Journal of Physics of the Earth*, **26**, Suppl., S321-S336.
- 小川勇二郎・田中勝法・鈴木清史 (2006) 未固結～半固結堆積物中の変形構造形成の解釈. 地学雑誌, **115**, 326-352.
- Ogawa, Y., Mori, R., Tsunogae, T., Dilek, Y. and Harris, R. (2015) New interpretation of the Franciscan Melange at San Simeon coast, California: Tectonic intrusion into an accretionary prism. *International Geology Review*, **57**, 824-842.
- Pini, G. A. (1999) Tectonosomes and olistostromes in the Argille Scagliose of the Northern Apennines, Italy. *Geological Society of America Special Paper*, no. 335, 70p.
- Raymond, L. A. ed. (1984) Mélanges; their nature, origin

- and significance. *Geological Society of America Special Paper*, no. 198, 170p.
- Scholl, D., von Huene, R., and Vallier, T. and Howell, D. (1980) Sedimentary mass and concepts about tectonic processes at underthrust ocean margins. *Geology*, **8**, 564-568.
- 平 朝彦・田代正之・岡村 真・甲藤次郎 (1980) 高知県四万十帯の地質と起源. 平 朝彦・甲藤次郎編：四万十帯の地質学と古生物学. 林野弘済会高知支部, 319-389.
- Taira, A., Okada, H., Whitaker, J. H. McD. and Smith, A. J. (1982) The Shimanto Belt of Japan: Cretaceous-lower Miocene active-margin sedimentation. in J. K. Leggett ed. Trench-forearc geology. *Geological Society, London, Special Publication*, no. 10, 5-26.
- 高橋直樹 (2018) 地学者列伝：地質調査の達人・小池清. *地球科学*, **72**, 153-160. doi:10.15080/agcjchikyukagaku.72.2\_153-160
- Tarney, J., Pickering, K. T., Knipe, R. J. and Dewey, J. F. eds. (1991) The behaviour and influence of fluids in subduction zones. *Philosophical Transaction of Royal Society, London, Series A*, **335**, 225-418.
- Tokuyama, A. and Yoshida, S. (1974) Kinabaru fault, a large strike-slip fault in Sabah, East Malaysia. *Geology and Palaeontology of Southeast Asia*, **14**, 171-188.
- von Huene, R. (1986) To accrete or not accrete, that is the question. *Geologische Rundschau*, **75**, 1-15.
- von Huene, R. and Scholl, D. W. (1991) Observations at convergent margins concerning sediment subduction, subduction erosion, and the growth of continental crust. *Reviews of Geophysics*, **29**, 279-316.
- 
- OGAWA Yujiro (2023) The Early History of Accretionary Prism Research: A Reminiscence (Part1: Start for Geology).
- 

(受付：2023年3月6日)