

構造地質学夜話

Structural geology — fireside chat

植村 武*

Takeshi Uemura

はじめに

1995年12月16日に千葉大学で開催された構造地質研究会冬の例会で、「特別講演」を行うように、との依頼を受けた。同年の春、永年勤めた新潟大学を停年退職した機会に、これまでの研究などを回顧して話をしようにとのことであった。本稿はその講演内容を多少補足整理したものである。その時の講演要旨の冒頭の文章を引用すると、

「月やあらぬ 春や昔の春ならぬ 我が身一つはもとの身にして(伊勢物語、第四段)。これまでに経験した構造地質学との関わりを回顧(懐古)してみると、果てしなき遍歴の旅に杖を曳く姿が思い浮かぶ。だがしかし、それは一所不住の沙門のように行方さだめぬ漂泊を重ねて来たわけでもなく、そこにはいくつかの段階が区分できるように思う。それらのうちから、いささか心に残っていることどもなど、取り上げて話してみたい。日は暮れて道は遠い。何かの参考になるかどうかもさだかではない。多少の脚色はご容赦願いたい。ほとんど実録である。……」という、なにやらセンチメンタルな出だしである。そして、全体の話、プロローグ・モノローグ・ダイアローグ・エピローグの4部で構成し、演旨にはそのように書いておいたが、ダイアローグは時間もなくてできなかった。本稿ではむしろこれは無理な話である。ところで、エピローグは、こうなっている。

「この物語にエピローグはないが、語り継ぐ人々を期待してよいものかどうか疑問である。“むかし男ありき”で始まる伊勢物語にも、江戸時代になると“仁勢物語”というパロディが出現して“おかし男ありき”となる。日本の構造地質学の歴史にも“あやし男ありき”という時代があったということになろうか。

また、演旨はいう。「……物事は一面的にみるわけにはいかない。歴史にも正史と外史がある。宗教にも外道という者がいて、彼らが好む“外典”というものがある。……。今宵は“夜話”と称して、

珠玉の如き“外典”を後世に残そうと考えてみたが、力およばず“外典”というよりは“外道の戯言”とでもいうにふさわしい話になってゆくような悪い予感がしてならない。……」

本稿では、講演要旨のモノローグを構成していた「遍歴」の4段階に対応する四つの小話、第一話～第四話を辿りながら、「正統と異端」・「転換と混沌」などの言葉を交え、構造地質学の近代化・現代化・未来化のあら筋をドグマティックに描いてみたい。構造地質学以外に、35年余りに及ぶ応用地質学との関わりがあるが、これには一切触れない。うつせみの世はまさに世紀末、病葉に何をかいわん、というところであろうか。

ところで、回顧録の本論に入る前に、語る者の地質家としての生い立ちをごく簡単に述べておく。1929年、世界的な大恐慌の年に生まれ、旧制度最後の大学生として1953年3月に名古屋大学の理学部地球科学科を卒業した。卒業後、ただちに地質調査所に入所して3年余りの勤務の大半を北海道支所で過ごし、専ら5万分の1の地質図幅作成に従事した。その後、出身校の名古屋大学理学部地球科学科に移り、助手・講師を経て、1967年の暮れに新潟大学理学部地質鉱物学科に転じ、助教授から教授となって、1995年3月に停年退職し、現在は二期目の日本学術会議会員(本年7月まで)と、「(株)日さく」という会社の顧問とを務め、新潟市に在住している。

第一話 正統派の記録：野外地質の方法と構造発達史(1950～1961頃)

1. 方法

伝統的な地質学の研究は、自然の地質観察に始まり、記載・分類などによって得られる認識を基礎に、さまざまな手立てをつくして断片的な情報を総合し、「発達史」を組み立てて行くのが普通である。これは地質学にとって常に必要不可欠な方法で、その典型は層位学であろう。しかし出来事の時間的前後関係を確定する、という点では地質学の他の分野でも共通的な問題がある。元来地質学は研究の手法によって特徴付けられる学問分野ではない。必要に応じてあらゆる手段や

1996年12月16日受付・受理。

*新潟大学名誉教授、(株)日さく 顧問

Kamitokoro 1-12-B430, Niigata, 950 Japan.

方法を駆使すればよい。この点で地球物理学や地球化学とは性格が異なるということが出来る。が、しかし構造地質学の分野についてみても、古来研究の中心的な手法となってきたのは、いわゆる“field geology”であった。もちろん、field geology それ自体も変革をとげて来ていることは、例えば露頭の観察・記載ひとつをとってみても自明であろう。自然の地質構造認識の第一歩として、これなくしては、構造地質学は成り立たない、というところから野外の地質調査を出発点として構造発達史を明らかにすることが、正統的な構造地質学であるとされてきたように思う。学生時代から始まるこの第一話の時期は、このような方法のトレーニングが中心であった。

2. 研究例

生物層序学の手法が中心であった。お陰で新生代の貝化石は今でも多少覚えていて、巡検などで時に同行の人を驚かせることがある。

卒業研究～地質調査所時代(1952～56)：卒業研究のテーマは北海道滝川地域の滝川層の層序と構造であった。大学からは誰も指導にきてくれなかった。野外の地質調査は3ヶ月、雪が降るまで歩いた。論文は化石や層序のことも含めて、地質発達史の形にまとめた。構造地質学的には、たくさんの断面図を基に滝川層基底の“structural contour map”を作成して、かなりいい気分であった。その頃、こういう図についての知識は全くなかったので、オリジナルな考案だと思っていた。その他細部についてはもはや忘却の彼方にある(Uemura, 1958)。

地質調査所に入所して4ヶ月余の研修を終え、配属部署が決まる時、所長から直接「北海道支所に行ってくださいませんか」といわれた。銜学の誉れ高い同期入所の某君は、名代の歌舞伎「与話情浮名横櫛(よわなさけうきなよこぐし)」にでてくる、「玄治店」の名場面で、ご存じ切られの与三郎が吐く名台詞「しがねえ恋の情けが仇」をもじって、「しがねえ卒論の情けが仇、か」と、皮肉とも詠嘆ともつかぬ言辞を弄した。北海道支所は実によいところであった。すぐれた上司・先輩・同僚に恵まれ、層位学を中心とした地質学の修練に励むことができた。地質調査所の物理探査部の人たちが滝川地域で弾性波探査を実施して結果をまとめたところ、参考資料に供した卒論の断面図の一つと全く同じになったので、一体どうやってこの断面図を作ったのか、物探など不要ではないか、とあって、驚いていたという話を、時の課長からきかされた。地質調査所での仕事の主な成果は、何人かのグループで実施した「5万分の1地質図幅」5葉と、それらの説明書であった(対馬・他, 1956; 垣見・植村, 1956a; 垣見・植村, 1956b; 小林・他, 1957; 織田・他, 1959)。

学位論文(Uemura, 1961)：東濃地方(美濃の国東

部、岐阜県南東部)の第一瀬戸内堆積盆地群の構造発達史に関する研究であった。盆地群は、可児(平牧)・土岐(瑞浪)・岩村、の盆地から成り、地質調査にはかなりの日数をかけた。本格的な研究は名古屋大学にもどった1969年からだが、学生の中期(2年)のときのいわゆる「進級論文」のフィールドが土岐盆地の主要部だったので地質学的土地勘はあった。学位論文は生物層序学の知識を基礎にして、堆積盆地の発展過程をまとめたものである。その中には、復元断面図群から基盤の変形を抽出するという画期的な方法の提案があった。相い重なる二つの地層の末端部が同一地点で基盤と接するところを見つけてそこを相対的な不動点と定め、一連の地層のそれぞれの上面を近似的に海面に一致するようにして、次々と復元を進めてゆくと、海面変動による地殻の見かけの上下運動を捨象して、変動による地殻変形だけを抽出することが可能となる(Uemura, 1961)。この方法の問題点は、それぞれの地層の上限を近似的に海面に一致させたことで、その点を現在の堆積学の知識で適当な海深に補正すれば、原理的には全くそのまま成り立つ。いわば、古測地学ともいべき方法である。そのうち誰かが気付くだらうと思ってきたが、35年たってしまった。一度だけこの話をしたことがあった。故北村 信氏が代表者で実施した「文部省科研費総研(A)」の分担者の一人として、東北日本の地質断面図作成をいくつか受け持ち、また一方では地質構造のグループの一員としても若干の活動を行なったことがある。この成果はのちに、「新生代東北本州弧の地質資料集(北村編, 1986)」として刊行された。あるとき、地質構造グループの会合が東大地震研究所で開かれ、数人のメンバーが集まったことがあった。海水準の変動を除いて地殻変形の絶対量を知ることはできないだろうか、ということが問題になり、上記の話をしたところ、みんな眉唾の体であった。東京に雪が降り、それが融けかけていて、東大の構内はひどく歩きにくい日であった。

第二話 異端の道：近代化の方法(1960年頃～80年頃)

1. 近代化

自然科学の近代化とは何かという哲学的な議論をしようというつもりは毛頭ないので、漠然とした「近代化」の話である。近代化の系譜を遡ってゆくと、デカルトの解析的実証主義とニュートンの決定論的力学の確立あたりに辿り着くらしい。事物はすべて、より要素的な部分から構成され、初期条件と境界条件とを与えれば、結果は一義的に決定されるという因果律(causality)の考えである。このような考え方は自然科学のあらゆる分野で、その近代的発展に多大の貢献を果たしてきたし、現在なお幾多の分野で有効に機能していることは疑問の余地がないところであろう。

日本の地質学界における近代化の動向は1960年代に

始まり、70年代にかけてさまざまな形で議論がなされた。論点の一つは、地質学においても、数学や物理学や化学のように、解析的な方法を取り入れた「近代化」が是非とも必要である、という考えと、そのような近代化は単なるモダニズムに陥る危険が濃厚で、それを避けるためには常に「総合化」という観点を忘れてはならない、というもので、元来、厳しく対立するものではなかったように思う。近代的な手法も取り入れてこれまでより高次の総合化を目指すというのではなかったらうか。近代化論争は確たる結論を得ないまま終息していったようにみえる。

国際的には、1964年8月に“Tectonophysics”が創刊され、国内では、1965年に構造地質研究会が発足し、翌1966年7月には研究会の会誌第1号が発刊された。その年10月には金沢で開催された地質学会総会の折り、夜間集會として第1回の例会が開かれた。個人的にはこの時の地質学会で初めて「牟婁層群の歪速度」という演題の学会発表を行なったが、質問はほとんどなかった。しかし、解析的な手法を積極的に取り入れるという形で近代化の道を歩み始めた異端ともみられかねない人々が少しずつ育っていった。構造地質研究会の方も、近代化と総合化という二本の柱を中心にして順調な成長を遂げ、1971年から会長制をとるようになった。在外中のことで、議論には参加していないが、会長なんか要らないのに、と思った。初代会長は地質調査所の垣見俊弘さん(後に所長)で、帰国してみると、二代目をぜひやれ、と初代からもさんざん口説かれ、垣見さんに対しては弱いところがあり(これはprivateな理由)、結局お引受けして1973年から5年ほど務めたと思う。

それはさておき、解析的な手法に立つ構造地質学には、2つの系列があるように思う。一つは構造幾何学(structural geometry)といわれる分野で、1930年代のSander(例えば1930)やSchmidt(例えば1932)に始まり、Ramsay(1967)、Ramsay and Huber(1983, 1987)あたりでその頂点に到達した観がある。日本では横山(1944, 1949)の先駆的な研究紹介があり、また小島を創始者とする「広島学派」がSanderの流れとみられ、その後、80年代以降にいたってRamsay流の歪み解析が行なわれるようになった。Ramsayとは、彼がロンドン大学のImperial College在職中、1年近くその研究室に滞在した誼みもあって、1986年に学術振興会に申請して新潟大学に招いた。8月の佐渡での構造地質研例会でも講演してもらったが、それに先立つ3日間、新潟大学で公開講義を実施し、学外にも案内して希望者の参加を歓迎した。

ところで、これらとは別なもう一つの系列に、構造物理学(tectonophysics)といわれている分野がある。この術語は1960年代になって用いられるようになったもので、日本語の訳語は適切とは思わないが、いつの

まにか定着してしまった。近代構造地質学はこの面では、岩石力学とか岩石のレオロジーという分野と深い関わりを持ち、特に岩石の破壊や高圧条件下での低速流動などは変形構造の形成機構ときわめて密接な関係にある。日本では、この分野でも先駆的な研究の紹介と導入を行なったのは、横山次郎氏であった(前記文献)。構造地質学にとって重要な側面として、例えば高圧下における岩石の変形・破壊に関する実験的研究をみると、1890年代にカナダのMcGill大学でAdamsとNicolsonが始めた岩石の高圧三軸試験であろう。文献として現われる最初の研究成果としては、Adams and Nicolson(1898, 1901)などであろうか。PiccadillyのBurlington Houseにあるロンドン地質学会の図書室でその文献のオリジナルを初めて見た。1972年に、ロンドンから帰国の途次、Montrealの24th IGC(この時初めて英語で講演した)に出席し、Canadian Rockiesの巡検に参加したが、MontrealでMacGill大学の地質科学教室を訪れ、Adamsらの武骨な実験装置の写真や図面と実験結果の実物展示を見ることができ、いいしれぬ感動を覚えた。岩石の高圧三軸試験は、1930年代のGriggsによる大改革を経て、Handin, HagerやDonath, などによって発展してきた。1960年に刊行された論文集“Rock Deformation”(Griggs and Handin, ed., 1960)は当時、岩石の変形機構などを模索していた者どもにとっては、まさに画期的な論文集であった。

1966年にはISRM(International Society for Rock Mechanics, 国際岩の力学学会)が創立された。同年、日本では材料力学学会会員中の有志が、いち早く岩石力学の重要性を察知して一著を刊行した(日本材料学会編, 1966)。その序文は横山次郎氏が執筆し、同氏はそのほかに、構造地質学に最も関係の深い二つの章を書いている。その後、材料力学学会のなかに岩石力学委員会ができ、横山氏が初代委員長となって活動を続けた。やがてISRMの国内委員会が発足し、岩の力学連合会として活発な活動を開始して現在にいたっている。構造地質学に近代的な手法を取り入れようとして「苦学」していた頃だったので、材料力学学会に入会し、ISRMの会員にもなり、お陰で国際的にも地質学の分野とは大きく異なる性格の学会やシンポジウムに出席したりして、地質学とはいささか異なる分野で国の内外に知己を得ることができた。

“Tectonophysics”の発刊15年後の1979年には、国際誌“Journal of Structural Geology (JSG)”が創刊された。これは先の“Tectonophysics”が解析的な方向を強めて物理学的になっていったのに対して、地質学の立場に立った近代的編集方針なので、構造地質学の近代化を求めていた人たちに非常な共感と期待をもって迎えられ、編集者たちの努力と相俟って急速に発展していった。しかしJSGは、のちに触れるようなパラ

ダイムの転換を意識したものではない。JSGとの関わりは、地質調査所の旧知、河田清雄氏がECAFÉの仕事でバンコクに在任中、知り合いのBarber氏(当時、ロンドン大学Chelsea College)に頼まれた、ということで推薦を受け、1980年からEditorial Advisory Boardに名を列ねている。何とか軌道にのるまでは、日本からの投稿者の斡旋・依頼・紹介や、いくつかの大学や個人に対する雑誌講読の依頼(強要)など、かなり奮闘した覚えがある。日本からはその後、東大地震研究所の嶋本氏がBoard memberに加わり、割引講読のことはじめ、さまざまな努力がなされている。

ところで、ここ一世紀に近い構造地質学の発展の軌跡を振り返ってみると、何人もの著名な研究者たちの名前が想いだされる。それらの中で、真に近代構造地質学の巨人といえる人を挙げるとすれば、それは多分Hans Cloosではないかと思う。以前かいま見た彼の著書、“Einführung in die Geologie (1936)”の印象などが想いだされる。1996年に、故Murawski教授の勧めで申請したDAAD (Deutscher Akademischer Austauschdienst)の研究員に採用され、Frankfurt a.M.のJohann Wolfgang Goethe大学に2ヶ月ほど滞在した。Murawski教授の案内による野外巡検の折り、Rhein川左岸のRheinisches Schiefergebirgeで、とある岩壁にはめ込まれてあったH. Cloosのレリーフを彫んだブロンズのプレートを見かけたのは、まことに印象的であった。Cloosが後年在職したBonnの大学の地質学教室で、構造地質学のWilhelm Meyer教授に見せてもらった資料室には、かの有名なGrabenその他の粘土によるモデル実験の実物が保存されていた。Murawski・Meyerの両教授はStilleとCloosのいずれが構造地質学者として偉大であったか、というような話をしていたが、二人ともCloosに傾いていた。日本で近代構造地質学の先駆者を挙げるとすれば、おそらくそれは故榎山次郎氏であろうかと思う。後継者の育成などには無関心であったらしいところも似ているようである。

構造地質学の近代化と関係して、解析的な構造地質学を二つの系列に分けて辿ってきたが、これらを統一的に理解するには、次のように考えてはどうかという提案をしたのは、丁度四半世紀前のことであった(植村, 1971)。

変形現象の3段階：変形構造(結果) ⇔ 変形運動(経過) ⇔ 変形原因(成因)

構造解析の3段階：幾何学(歪み像) ⇔ 運動学(運動像) ⇔ 力学(力学像)

基本的な考え方は次のようなものである。

変形物質(モノ) ———— 変形運動(コト) ———— 変形構造
 変形場(トコロ) ————

このような考えに基づいて、研究方法としての帰納

と演繹、分析(解析)と総合、抽象と概括、など形式論理の重要性や、システム分析とシステム構成などシステム工学の手法が有効であること、などをいろいろな機会に強調した。

2. 研究例

Boudinageの構造解析(Uemura, 1965)：紀伊半島の四万十帯に分布するboudinageの形成機構、とくに変形速度を野外地質学・構造幾何学・岩石力学などの手法を用いて議論した。手法自体はRamberg (1955)やGzovsky (1960)などによって提案されていたが、天然のものについての研究は初めてだった。

Overthrustに伴うdrag foldの構造解析(Uemura, 1967)：上記の論文と同様な方法に加えて初歩的な流体力学の手法も取り入れて変形速度を推定し、結果が地質学的な研究結果と整合的であることを立証した。悟りを啓いたところで、ついに世界を超えたと思った。論文がでた時は新潟大学に移った直後だったと思う。ある大学の学生さんから、こういうことが大好きなので、ぜひ別刷が欲しい、という手紙をもらい、直ぐに送った。

力学的異方性(Uemura, 1975)：軟岩の三軸試験によって、力学的異方性を持つ供試体では剪断面の位置が等方体の場合から偏向することを実証し、強度楕円体を発想して悦に入っていたが、これには少し修正すべき点が含まれている。印刷後「しまった」と思ってが誰にもいっていないし、誰も指摘してくれない。

クリープと褶曲の成長速度(Uemura, 1981a)：日本で初めて開催された「国際岩の力学学会」総会で講演したもので、岩石変形用の高圧三軸試験機によるクリープ試験から第三紀泥質岩の粘性係数相当値を求め、造構応力の絶対値や褶曲の成長速度を議論した。三軸試験機の導入は、1970年度に文部省科学研究費補助金(一般A)に申請して採択されたもので、このときの審査委員がどなたであったかは存じ上げないが、深く感謝している。

そのほか、褶曲の中立面(Uemura and Shimohata, 1972：Montrealでの24th IGCで講演)、地震と地質構造の形成(植村, 1976：杉村 新氏らの計画した日本地質学会のシンポジウムで講演)、岩石のキンクバンド(植村・竜, 1987：形成機構と応力場)、など解析的な手法によって得られた結果に基づいて、全体像の構成や形成機構の考察を行なおうという試みであった。

東北本州弧南部における後期新生代の褶曲機構と地殻変動(植村, 1990)：魚沼層の褶曲機構を小断層の解析から議論し、異なる応力場における二回の褶曲ではなく、基本的には一連の褶曲運動の進展による二つの段階として認識されることを立証した。

方法に関係した講演や論文には次のようなものがある。

流動変形に関する若干の問題(植村, 1971) : 場と物性, レオロジーの提言. これは, 星野一男氏らの計画した日本地質学会のシンポジウムでの講演.

構造地質学における実験とモデルの役割(植村, 1973) : システム分析とシステム構成, 一次モデル・二次モデル, 帰納と演繹の相補性, モデルの方法の提唱, など.

3. 近代化外史

かなり物理学的なことをいったり, したりしてきたし, 時には多少の勇氣は必要だったかもしれないが, 異端として迫害されたことはなかった. 物理はあくまで手段であって, 目的は構造地質学の問題解決であった. 地質図のない論文は, 近年を除きほとんど書いていない.

構造研の冬の例会(1976)で, 変形と変成の関係に触れた問題提起があり, それに対して即座に, 「それは activation energy だ」という発言をしたことがある(会誌19号はこの点に誤記がある). 当時, 岩石の造構性流動の問題を手がけ, 粘性係数などは結局は, より基本的な物理量である activation energy や Avogadro 数などが関係する形式で表わされることが頭にあり, このあたりに, 変成と変形の問題の根本的な接点があるとみていたのだが, ここまでくると, そろそろ解析的な近代化の限界が見えてくる. 物理学になってしまっただけで地質学ではなくなるなら, 地質家がやる意味がない. 変形と変成の統一的な研究を試みた本が一度だけ出版されたことがある (Fyfe, Price and Thompson, 1978). しかしこの三人の著者の考えは十分統一されているとは思えなかったし, その後の発展も聞かない. この問題は次の第三話で触れたい.

IASTG (International Association of Structural/Tectonic Geologists, 国際構造地質学協会)の設立は1990年のことであった. 発足以来, 嶋本さんとともにIASTG Committee (当初, Backing Committee)のメンバーを委嘱されている. そもそもこのような学術団体の必要性については, JSG の Board member として当初から, 初代編集委員長の Hancock 氏に進言していたのだが, 全く応答はなかった. 学術誌の編集とは筋違いの問題と思ったのかもしれない. しかし, 別な方法を考えれば, ICSU (International Council of Scientific Unions, 国際学術連合会議)所属の IUGS (International Union of Geological Sciences, 国際地質科学連合)の中の COMTEC (Commission on Tectonics, 構造地質委員会)あたりにコンタクトするしかないのだが, この委員会は当時から Hancock が委員長だったから, 彼は当然考えたと思う. 二代編集委員長の Susan Treagus 女史にも同じ提案をしたところ, 一年後に長文の手紙がきて, 熟慮の結果, 呼び掛けに踏み切るといふことで, ようやく日の目をみるにいたった. Sue

さんもかなり慎重に考え, 同じような意見の JSG の Board member が, もう一人現われたところで決断したとのことだった. とにかく構造地質学者の初めての国際的な組織であり, 1992年に京都で開催された29th IGC (万国地質学会議)の折り, 日本の構造地質研究会 (TRG) が主催して, 構造地質学研究者の “Get-together” を開催したところ200人近い人が集まりたいへん盛況であった. 昨年の北京の30th IGCでも開催を希望し, なおその際の実行責任者として適任であると思う中国の人の名前も書き添えておいたのだが, Sueさんも来なかったし, 計画もなかった.

第三話 転換期の認識: 現代化の概念と全体像の見直し (1981~)

1. パラダイムの転換 (paradigm shift)

パラダイムの元祖クーンが亡くなったのは1995年6月のことであった. 地質科学の分野でこのことが初めて論議されたのは, 1960年代~70年代の「近代化論争」の頃ではなかったかと思う. 自然科学のいくつかの分野で, 多分1980年代になって, 強く提唱されるようになったのは, 解析的な手法を駆使して進めてきた近代化が要素還元論の行き詰まりを目前にして, 「純粋要素的なものを解析的に追求するだけで, 自然の全体像や複雑系は理解できるのか」という危機感を根底的に持つに至ったことにあるらしい. 地質科学の分野ではどうであろうか. まずもって必要なのは, 昔よくいわれた「地質現象は複雑で, 物理学や化学で解釈できるものではない」というレベルのものとは次元が異なる, という現状認識である. 解析的な方法を手段として取り入れつつ, 広い視点から全体像を見直したらどうなるか. 重要なのは要素還元論的パラダイムから総合論的パラダイムへの転換, ということの認識であろう. 地球科学におけるパラダイムの転換はプレート・テクトニクスの提唱であった, と考える人が多いようであるが, これは近代化の行き詰まりの果てに出現した思考方式の転換ではあるまい. 問題は別で, それをを解く鍵の一つは, 因果律の呪縛からの自己解放による決定論の止揚と, 確立論的手法の導入にあるだろう.

変形構造の研究に例をとると, 個々の構造の形成過程や成因を解析的に研究する, 近代化の方法がある程度進んだ段階で, 次の発展へのステップが模索される時期がやってきていたと思う. このような情勢の認識に基づいて, 変形構造の問題に「相」という概念を導入し, これによって変形構造の多様性を把握し, その全体像をを統一的かつ総合的に理解することはできないだろうか, というのがその趣旨であった.

2. 変形構造の全体像と研究方法の変革

変形相概念の成立 — 変形構造の多様性の認識: 時も所も材料も異なる地質体に, 驚くほどよく似た変形

構造が形成されている、かと思えば一方、一つの地質体の中にいくつかの異なる構造が識別される。このような変形構造の多様性を統一的に理解する方法として提案されたのが「変形相」という概念である(Uemura, 1981)。ここにいたる歴史的経過を考えると、その基礎となったのは、文献は省略するが次の2系列の研究であったと思う。

- ・構造階層の識別 ← 構造のタイプ(スタイル)の認識 ← 天然の観察など
- ・ダクティリティーの認識 ← 複合概念の理解 ← 岩石三軸試験など

この2系列の研究を統一的に理解して変形構造の成因解明に迫るために重要なのは、まさに思考方式の転換であろう。例えば変成相は原岩の化学組成を決めれば、温度・圧力という単純な要素的パラメータで決まるが、変形相の場合はそうはいかない。いまのところ複合的な概念の二つのパラメータ、平均延性度(mean ductility)と延性度較差(ductility contrast)をそれらに当てている(Uemura, 1981b)。要素還元論的パラダイムから総合論的パラダイムへの転換は不完全な部分もあるが、およそ次のような経過をたどってみることができる(Uemura, 1981)。

階層構造の考えは、「深い変形」・「浅い変形」ということが基本になっている。ここでは「深さ」という空間的な因子が、温度と圧力との複合的な指標になっていると解される。しかし、変形構造の多様性の理解には、もう一つ、「速い変形」・「遅い変形」という時間の因子が不可欠である。それと同時に、ここで欠けているのは、変形材料の力学的性質の多様性が考慮されていない点である。これとは別に、歪み相(strain facies)という重要な概念が提案されたのは、いまから四半世紀前のことであつ(Hansen, 1971)。彼は、特定の歪みは特定の歪み環境下で形成される、と考え、三つの異なるタイプの小褶曲によって「歪み相」を区分し、NorwayのTrollheimen地域の“strain facies map”を作成した。しかし、彼の考えの弱点は、歪みの環境だけを取り上げ、歪み物質のレオロジカルな性質を考慮しないところにあつた。

一般に、変形を支配する諸因子によって変形原因(力学像)が構成されるが、その諸因子は環境に関するものと物質に関するものとに二大別して考える必要があり、このことが「変形相」の考えの基礎になっている。さらに、「延性度(ductility)」という時間の因子をも含む複合的な概念を導入することによって、変形構造の多様性や変成相との関係を統一的に理解することが可能となる。詳細は上記の文献(Uemura, 1981b)にゆずるが、その要約を項目的に記すと以下ようになる。

変形現象の支配因子群=力学像(変形原因)の内容
識別

変形環境—環境因子群(場)

変形物質—物質因子群(物性)

変形相の指標

平均延性度(mean ductility) ← 変形グレード
(deformation grade)

延性度較差(ductility contrast) ← 変形系列
(deformation series)

示相構造と共存構造(facies structure and structural assemblage)

変形相の展開

同定(identification)・対比(correlation)・分帯(zoning)・形成順序(sequence), など。

3. 研究例

これに関する研究としては、次のような論文を挙げることができる。

Deformation facies, series and grades (Uemura, 1981b): 変形相の総括的体系的提案。変形構造の多様性を、単に解析的な見方だけではなく、どう理解したらよいか。

Deformation facies of the folded Jurassic Kuruma Group (Uemura and Yokota, 1981): 初めて変形分帯ということを示し、これによって褶曲機構を議論した。

Iso-facies and aniso-facies in deformed structures (Uemura, 1980): 地質構造の等相・異相の関係を整理した議論。

東北本州弧新生界の変形相とその指標(植村, 1989): 褶曲の波形で変形相を区分することができることを明らかにし、分帯を図示。

変形構造の相について(植村, 1992): 地質学会総会の会長講演で、変形相の問題を中心にした研究自分史の総括。

変形相の研究にまつわる回想と展望(植村, 1993): 日本地質学会100周年の記念総会で受賞した学会賞の記念論文。個人と周辺の歴史的懐古と今後の展望。

4. 現代化外史

1978年、清水の東海大海洋学部で開催された日本地質学会の学術講演会で、「変形相と変形系列」という題で初めて変形相の体系的な講演したところ、二・三の人々からひどく批判され、次元の異なる噛み合わない議論になってしまった。パラダイム転換の旗揚げ講演と思っていたので、現代化の預言者世に容れられずか、と悲嘆にくれたが、世は未だ近代化ないし近代化以前の時代で、パラダイム転換など全く理解されなかったのだろう。失礼だが度々難しい輩もいた。質疑を含めて15分という個人講演の場でやったのが間違いだろう。しかし講演直後、批判者のお一人の方と休憩室で会ったら、「やあ、さっきはすまんかった」といわれ、当方も「いいえ、ありがとうございます、もう少し考えてみます」と答えはしたが、結局考えは変らなかつた。

た。その前の年に、来馬層群の変形分帯の話をしたときは、全く質問がなかったが、おそらく理解されなかったのだろう。それはのちに論文になった(Uemura and Yokota, 1981)。

第四話 混沌の深淵：未来化への苦悩(1977頃～)

1. 方法の模索

混沌の世界。複雑系はまだしもだが、混沌(chaos)は「系」をなすのか。混沌に対しては、何が有効なのか。今までのところ、五里霧中という状態で、残念ながら体系的な手段を提言するにはいたっていない。もっとも、そんなことを考えることこそ異端の道であって、「死にいたる病い」以外の何ものでもない、というご意見もあろう。混沌に魅惑を感じるか、はたまた絶望を覚えるかは、人さまざまというところであらうか。ともあれ、若干の考えと試行を挙げておく。

第一は、背離(paradox)をなす現象の抽出である。自然現象には、論理的な矛盾は存在し得ない、という確信がその基礎にある。第二は禁制(exclusion principle)を武器として、あってはならぬ場合を摘発することである。混沌といえども形式論理～弁証法的論理は成り立つ世界であろう、という予想がその前提にある。第三は解決不可能な問題の認識である。この問題はこの方法では解けない、ということを確認にして、公表することである。そのような論文は学問の進歩に大きく貢献するであろう。それによって後の人は同じ失敗をくりかえさなくて済む。

2. 研究例若干

断層面の粗滑法則の再検討(植村, 1977): 野外地質で明らかになった事実と実験結果との疑似パラドクスを歴史科学的視点から解決。

構造地質学における二つの禁制(植村, 1986): 形式論理(formal logic)の威力を強調し、対称律について述べ、相似律を提案したが、これはまだ不完全。しかし相似律の問題が混沌への一つの鍵になるのではないか、と思っている。

おわりに

「われ、人の世の道の半ばにして暗き森に入りぬ」と、ダンテは「神曲」の冒頭に書いていたと記憶する。当時は人生70才で、その半ばは35才を指すという(まちがっていたらごめんさい)。してみれば、われもまた人の世の道の半ばにして、妖しき構造地質学の道に踏み込んだようである。今や、人の世の道の終わりを目前にしてきて、この先どうしたものだろうか。地獄だの煉獄だのというのはもうごめんだし、この一文を自らに捧げる挽歌として、ひっそりと消えて行くというのは、いかがなものか、と思う昨今である。

文 献

- Adams, F. D. and Nicolson, J. T., 1898, Preliminary notice of some experiments on the flow of rocks. *Rept. 67th Meet. British Assoc. for Advancement of Sci.*, 642-643.
- Adams, F. D. and Nicolson, J. T., 1901, An experimental investigation into the flow of marble. *Philosoph. Transact. Poyal Soc. London, ser.A*, **195**, 363-401.
- Cloos, H., 1936, *Einführung in die Geologie*. Borntraeger, Berlin, 503p.
- Fyfe, W. S., Price, N. J. and Thompson, A. B., 1978, *Fluids in the earth's crust*. Elsevier, Amsterdam, etc., 383p.
- Griggs, D. and Handin, J. (ed.), 1960, Rock deformation. *Mem. Geol. Soc. Amer.*, **79**, 382p.
- Gzovsky, M. V., 1960, Tectonophysics and problems of structural geology. *21st IGC, Papers of Soviet Geologists*, Problem 18, 17-39. (in Russian).
- Hansen, I., 1971, *Strain facies*. Springer, Berlin, 279p.
- 垣見俊弘・植村 武, 1956a, 5万分の1地質図幅「月形」・同説明書. 工業技術院地質調査所, 54p.
- 垣見俊弘・植村 武, 1956b, 5万分の1地質図幅「当別」・同説明書. 工業技術院地質調査所, 17p.
- 北村 信(編), 1986, 新生代東北本州弧地質資料集, 第1～第3集. 宝文堂, 仙台.
- 小林 勇・垣見俊弘・植村 武・秦 光男, 1957, 5万分の1地質図幅「滝川」・同説明書. 工業技術院地質調査所, 36p.
- 横山次郎, 1944, 岩石変形学. 星野書店, 京都, 216p.
- 横山次郎, 1949, 岩石変形学(改訂版). 同上, 216p.
- 日本材料学会(編), 1966, 岩石力学とその応用. 丸善, 東京, 434p.
- 織田精徳・根本隆文・植村 武, 1959, 5万分の1地質図幅「常室」・同説明書. 北海道開発庁, 46p.
- Ramberg, H., 1955, Natural and experimental boudinage and pinch-and-swell structures. *Jour. Geol.*, **63**, 512-526.
- Ramsay, J. G., 1967, *Folding and fracturing of rocks*. McGraw Hill, N.Y., etc., 568p.
- Ramsay, J. G., and Huber, M. I., 1983, *The techniques of modern structural geology*. vol.1: *Strain analysis*. Academic Press, Lond., 1-307.
- Ramsay, J. G., and Huber, M. I., 1986, Ditto. vol.2: *Folds and fractures*. Ditto, 308-700.
- Sander, B., 1930, *Gefügekunde der Gesteine*. Springer, Vienna, 352p.
- Schmidt, W., 1932, *Tektonik und Verformungslehre*. Borntraeger, Berlin, 208p.

- 対馬坤六・垣見俊弘・植村 武, 1956, 5万分の1地質図幅「厚田」・同説明書. 工業技術院地質調査所, 24p.
- Uemura, T., 1953, *Geology of the northeastern district of Takikawa-machi, Hokkaido*. Graduation Thesis of the Dept. of Earth Sci., Nagoya University (MS).
- Uemura, T., 1961, Tectonic development of the Miocene sedimentary basins of east Mino, central Japan. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, **9**, 394-417.
- Uemura, T., 1965, Tectonic analysis of the boudin structure in the Muro Group, Kii Peninsula, southwest Japan. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, **13**, 99-114.
- Uemura, T., 1967, Kinematic and dynamic analyses of drag fold associated with over-thrust. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **73**, 527-534.
- 植村 武, 1971, 流動変形の研究に関する若干の問題. *地質雑*, **77**, 273-278.
- 植村 武, 1973, 構造地質学における実験とモデルの役割. *構造研究会誌*, **19**, 10-12.
- Uemura, T., 1975, Effect of depositional fabric on shear failure. *Sci. Rept. Niigata Univ., Ser. E*, **3**, 1-17.
- 植村 武, 1976, 地震と地質構造の形成をめぐる若干の問題. *地質学論集*, **12**, 43-49.
- 植村 武, 1977, 断層面の構造と断層運動の進展過程—「粗滑法則」の再検討—. *地質雑*, **83**, 811-820.
- Uemura, T., 1980, Iso-facies and aniso-facies in deformed structure. *Abst. 26th IGC.*, **1**, 404.
- Uemura, T., 1981a, Creep feature of soft mudstone and growth process of fold. *Proc. of Intern. Symposium on weak rock (ISRM)*, **2**, 1211-1216.
- Uemura, T., 1981b, Deformation facies, series and grades. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **87**, 811-820.
- 植村 武, 1986 構造地質学における二つの禁制. 北村教授記念論文集, 587-594.
- 植村 武, 1989, 東北本州弧新生界の変形相とその指標. *地質学論集*, **32**, 269-279.
- 植村 武, 1990, 東北本州弧南部における後期新生代の褶曲構造と地殻変動. *地質学論集*, **34**, 199-209.
- 植村 武, 1992, 変形構造の相について. *地質雑*, **98**, 1073-1084.
- 植村 武, 1993, 変形相の研究にまつわる回想と展望. *地質雑*, **99**, 1001-1009.
- 植村 武・竜 学明, 1987, 岩石のキンクバンド. *地質雑*, **93**, 681-699.
- Uemura, T. and Shimohata, I., 1972, Neutral surface of a fold and its bearing on folding. *Proc. 24th IGC, Sect. 3*, 599-603.
- Uemura, T. and Yokota, Y., 1981, Deformation facies of the folded Jurassic Kuruma Group, central Japan. *Chikyu Kagaku (Jour. Earth Sci.)*, **35**, 41-48.
- Key words:** structural geology, structural geometry, tectonophysics, rock mechanics, deformed structure, deformation facies, methodology, paradigm shift.