地質環境のフレームワークとしての基盤テクトニクスについて

Basement tectonics as a framework of geologic environment

Abstract

小玉喜三郎*

*Kisaburo Kodama**

1994年5月18日受理.

* 地質調査所,
Geological Survey of Japan, Higashi 1-1-3,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

It is important to specify the boundary conditions of a tectonic framework in the analysis of the geologic environment system. The author analyzed the tectonic process and mechanism of formation of various kinds of geologic structures such as the Pleistocene upland hills, Tertiary folds and sedimentary basins in the Kwanto Plain (Figs. 1 and 2). These analyses revealed that the formation of these structures was commonly controlled by simple incremental deformation of the Neogene basement. The incremental deformation, however, was accumulated to varying degrees from simple flexure near the surface to the complex folding in the deeper parts (Fig. 3). The features of incremental deformation are characterized by (1) the block-like deformation bounded by faults, (2) specific dimension in size of the basement block, (3) reactivation of faulting and (4) inversive movement along faults. These conditions have governed the formation of the geologic structures in the past and will continuously control the geologic environment system in the future. Therefore, the Neogene basement and its incremental movement are the most important boundary conditions in the geologic environment system. Regarding the geologic environment of the Kwanto Plain, the precise identification of the location of basement faults and the sense of their movement are the most important targets of study in the future.

Key words: geologic environment, tectonic framework, basement tectonics incremental deformation, Kwanto Plain

はじめに

環境問題とは、自然のシステム（内部環境）に対して、人為または自然による急速なパラメータの変動が作用したときの結果が、経済的・社会的なシステム（外部環境）の中にいかに適合するかを予測・評価する問題であるといわれる（サイモン、1987）。このためには、内部環境、すなわち自然のシステムに関する正しいメカニズムの解明が必要とされている。いま、地域や地球規模の環境問題において、このような自然のシステムの解明のために地質学の果たす役割が求められている。

地質学は自然のシステムに歴史的な観点を導入する。テクトニクスはその意味でこのシステム（地質環境システム）の重要な変動因子のひとつである。一般に、テクトニックな変動は、火山や地震活動のように一度起これば大きな影響を与える急激な変動が目されるものの、通常の変動は人間生活に比べると著しく変化が緩慢なため、システムの要素として論じられることが少ない。しかし、テクトニクスは地質環境システムのフレームワークを空間的・時間的に特定していると考え、システム研究においてはこのようなフレームワーク（＝境界条件）をまず特定することが重要である。

小論では、地質環境システムの境界条件を規定するテクトニックな特性、とりわけその歴史性について分析する。話題の都合上、以下では平野地域の地質環境を中心に議論を進める。最も多くの人々が生活する平野の地質環境こそ、第一に議論するにふさわしい課題と考えるからである。結論として、平野の地質環境の境界条件としては、空間的には平野地下の先新第三系の基盤構造が、時間的にはその運動過程を解明することが重要なことを述べる。地下数メートル、数十メートルといった表層の地質でさえ、このような基盤テクトニクスの歴史的特性に最も強く規制されるからである。

なお小論で、平野とは丘陵・台地（扇状地）・低地・湖沼・内湾などを含む範囲と定義する。また、平野の基盤とは先新第三系をさし、基盤上の堆積層全体を被覆層、基盤以下について議論する場合には地殻という用語を用いることにする。

平野の地質環境とテクトニクス

平野は人間の生活、とりわけ都市の人々の生活基盤をなすが、地質学的には、第四紀の地殻変動と海水準変動の相互作用のもとに、堆積盆地に地層が堆積する過程で形成された。この過程で、テクトニクスは平野の地質環境、すなわち丘

第1図. 更新世後期の地塊運動による台地の形成過程の模式図 (小玉ほか, 1981). (a) 常総層下部 (J1) 堆積期, (b) 同中部 (Jm) 堆積期, (c) 同上部 (Ju) 堆積期, 一部の地域に下末吉ローム層上部 (S.L.) が堆積, (d) 隆起・侵食期, (e) 武蔵野・立川ローム層 (M-Tc.L.) の堆積と地塊運動期, (f) 侵食崖が形成され沖積層 (A) が堆積した現在. 矢印は差別的な撓曲運動の向き. (f) において深部の最大撓曲の位置が地表部の崖線より沖積層側にずれていることに注目. SIP, TP はローム層中の軽石鍵層

陵・台地・低地といった地形的特性や堆積物の構造や物理的特性, 地下水の流動特性, 地層の液状化や地盤震動といった動的特性などを規定してきた。

関東平野を例にとれば, この輪郭は, 島弧-海溝系における前弧盆地の枠組みで規定され, 第三紀から引続く関東造盆地運動の過程で形成されてきた (矢部, 1927; 貝塚, 1974). 丘陵や台地・低地は, 更新世中期以降の海水準変動の過程で, 堆積と侵食を繰り返しながら形成された。ただし, 大きくみると台地の輪郭と高度や沖積地の分布, 河川の流路などは, 後述する更新世後期以降の地塊状造盆地運動にしたがって形成された (堀口, 1974; 小玉ほか, 1981). 盆地状の沈降運動は完新統の堆積以後も継続し, 最近 6,000 年間に沿岸部

では傾動的隆起運動が, 内陸部ではブロック状沈降運動が生じた (遠藤ほか, 1983). 沈降運動は近世の考古遺跡の埋没をもたらした (堀口, 1981), 最近数十年間の測地学的な変動にも現れている (檀原, 1971). 平野部の地殻深部では現在活発に地震が発生し, まさに現在, テクトニクスが進行中であることを示している。

以上のように, テクトニクスは, 時間的・空間的なさまざまなオーダーで地質環境に影響を及ぼしている。そこで以下では, 平野のテクトニクスが地形や表層における地質構造, 層相といった地質環境の特性をどのようなメカニズムで規定したのかについて, 具体的ないくつかの事例をあげて検討し, とくに平野基盤の係わりについて考察する。以下, 事例としてやはり関東平野を取り上げるが, これらは他の地域にも共通する多くの一般的性格を含んでいると考える。

平野のテクトニクスの機構

1. 台地・低地の成立とテクトニクス

先に筆者らは, 関東平野の洪積台地を対象に, 更新世後期の陸成水中堆積層の層序と構造を解析し, 堆積環境・堆積過程・変形過程を復元した (小玉ほか, 1981). その結果, これらの地層は, 堆積時には緩やかに下流に傾斜した平坦面を形成していたが, 更新世後期に生じた地殻変動のために, 一辺が 4~20 km の地塊単位に分割され, それぞれがさまざまな高さに変位して台地を形成し, 全体としては地塊状盆地を形成したことを明らかにした。

個々の台地における地層の変形をみると, 頂部は平坦で周囲に向かいわずかに撓曲していく。これから, 台地はそれぞれの下位の地層の地塊状変形を反映して形成され, 地表では緩やかに撓曲変形をし, 周辺部には浸食崖が発達したと解釈した (第1図)。さらに, 台地の高度, 形状, 段丘崖の形態だけでなく, それらに囲まれた低地の分布と輪郭, さらに低地を流れる河川の流路なども, 更新統より下位の地層の地塊状 (傾動) 構造運動, おそらく先新第三系基盤の構造運動を反映していると推定した (小玉ほか, 1981)。

このように, 更新統以下の地質構造を含むテクトニクスは平野表層の地形・地質構造を規定するフレームワークとして基本的に重要である。地下地質構造については, これまで構造物の支持層以浅については膨大な地質調査工事資料が蓄積されてきたが, 更新統以下の地質資料は極端に少ない。関東平野では古くから水溶性天然ガスなどの資源開発の目的で物理探査や層序試錐が実施され, 最近では地盤沈下観測井や地殻変動観測井の掘削, 屈折法地震探査 (嶋ほか, 1981; 長谷川, 1988 ほか) や重力探査 (駒沢・長谷川, 1988), 東京湾のマルチチャンネル探査 (加藤, 1984), 反射法浅層地震探査 (杉山・遠藤, 1993) などがさまざまな目的で精力的に実施されてきた。関東平野は, 基盤地質構造まで含めた地下地質構造については, わが国で最も詳しく調査された地域である。しかし, 上で述べたようなスケールでの地下の地質構造, 例えば, 台地の境界を構成する第三系や基盤の構造といった精度では一部を除きほとんど解明されていないのが現状で, 上述した基盤の構造運動についてもなお推定の域を出ていない。今後

は、このような特定な場所を対象を絞った地下構造の精査が必要だろう。

2. 基盤構造の動的な単位

関東地震(1923年)直後の復興局による地下地質調査以来、軟弱層の分布と地震動の強さの相関が定式化された。最近では、主として沖積低地を対象に、地層の厚さや岩相、力学的性質などによって地盤の動的特性を定量的に評価するまでになっている(例えば、東京都土木技術研究所, 1987)。しかし、その後の研究では、完新統縁部の層厚急変部や更新統の台地内部において、場合によっては完新統の最大層厚部以上に局所的な強震動域が発生する例が報告され注目されている(角田, 1980; 1990; 春川, 1990; 市原震害研究グループ, 1993など)。

地盤の液状化の発生範囲についても、従来は地震の規模と震源からの距離に応じた一定の式で予測されてきた。しかし、1987年12月17日に発生した千葉県東方沖地震では、予想よりはるか遠方で地盤の液状化が発生した。液状化した地層の多くは人工的な埋め立て層や旧河川の流路沿いの地層で、発生条件はこれらの土質特性に依存していると考えられる。しかし、広域的にみた発生場所の特異な分布は、地震動の強さ自体の不均質性を反映していることを予測させ、それは更新統以下の地質構造の特性に依存している可能性を推測させる(市原震害研究グループ, 1993; Nirei et al., 1990)。

以上のような局所的な強震動域は、細かい密度での震動調査や地震観測によって初めて明らかにされたもので、マイクロゾーニングとか異常震動域と呼ばれ、なお実態の解明が進められている。これまでの研究では、現象は帯状に分布する強震動域や直線状境界で境された急激な震度コントラストとして現われ、震源域のこととなる地震に際しても繰返し再現するなどの特徴が明らかにされている(角田, 1988)。すなわち、この現象は、その地域固有の地下地質構造によって複雑に規制されていると考えられており、一部には第三系や基盤の直線的な地質構造との関連が大きいと推定されている。そのメカニズムについても完新統の縁辺部の層厚変化部における静振現象などのほか、基盤構造の形態や不連続に由来する地表部への地震波の集中による焦線領域の形成(Focusing; Jackson, 1971)が推定されている(角田, 1993)。

いずれにせよこれらは更新統や基盤の構造が、直接地表の地盤震動分布などを規制している例であり、前節と同様に、基盤まで含めた被覆層下部の詳細な地質構造とその動的な特性の解明が必要であることを示している。

3. 被覆層の上部と下部の構造の違いについて

地表下数百メートルまでの被覆層上部や、特に地下数十メートルの被覆層表層部の地質構造と、被覆層の下部や基盤の地質構造との関係を検討するとき、しばしば両者の構造が不調和な場合が問題となる。例えば、地表付近の断層のずれと基盤の断層の位置やずれのセンス・落差が調和していないことが多い。このような原因には2つの可能性が考えられる。すなわち、(a) 基盤の剛体的な変形機構と、被覆層上部の地層、とりわけ表層の地層の変形機構が異なること。(b) 地質構造の形成史が被覆層の上部と下部で異なること、であ

る。

一つの地質断面で深さごとに変形形状が異なる地質構造からこれら2つの要素を分析し、その中から最近の基盤運動の特性を抽出する作業は、平野における地質環境システムの解析にとっては重要な課題だが、実はなかなか容易ではない。従来から、石油地質の分野では、断面図を歴史的に復元するさまざまな幾何学的解析法が開発されてきた。しかし、被覆層の変形過程や応力分布など、力学的プロセスもふくめて基盤変形の変遷を解析した例は数少ない。

筆者は「仮想基盤変位法」(V.B.D.法: Virtual Basement Displacement Method; Kodama et al., 1985; Kodama, 1992)と呼ぶ構造運動の解析法を開発してこの問題を議論した。V.B.D.法では、“堆積盆地における被覆層の変形は、盆地基盤の変位が原因で決定される”という前提を条件にして地質構造の形成過程と機構を解析する。実際には変形の原因である基盤変位や基盤自体が不明な場合が多く、逆に変形の結果である被覆層上部の地質構造の方が明らかなことが多い。そこでV.B.D.法では逆解析問題(Inversion problem)の概念を導入し、実際には未知の基盤を「仮想基盤」とし、そこに原因である「仮想基盤変位」を与え、弾塑性有限要素法を用いて被覆層の変形を計算する。計算結果と実際に解っている構造との誤差を求め、誤差が最小となるまで仮想基盤変位を修正する作業を繰り返し、最終的に得られた条件を「最適基盤変位」とする。これらの作業を各イベントで区切った地質時代順に繰り返すことによって、それぞれの時代の変形と全時代を通した累積変形を解析しようとするものである。

第2図は、東京湾内を縦断して行われたマルチチャンネル探査による地質構造断面(加藤, 1984)のV.B.D.法による解析結果である(鈴木ほか, 1990)。各時代の地層の厚さ分布が被覆層の表面における堆積盆の沈降形態を示すとみなし、これを制御構造として各時代ごとに最適基盤変位を求め、被覆層の変形形態や応力分布・歪分布、仮想基盤の変形特性を解析した。この結果注目されるのは、(1) 被覆層のごく表層部では、力学的な自由表面という境界条件の影響で、応力分布などが被覆層下部と著しく異なっている、(2) 堆積盆地を形成するような表層部の緩やかな撓曲変形は、被覆層下部(～基盤)における断層運動で生じたものであること、(3) 時代の異なる堆積盆地の沈降や移動にさいして、しばしば同一の基盤断層が再活動していること、このときずれのセンスがしばしば逆転する傾向がある、などである。(1)、(2)は前述の(a)に対応し、(3)は(b)に対応する現象と考えられる。

被覆層の上部と下部の地質構造の形態的な差違はこのような複雑な変形のメカニズムを解析することによって解釈することができる。表層や被覆層上部の地質構造のような地質環境は、このようなメカニズムを通して基盤のテクトニクスと密接に関連しているといえよう。

4. 増分変形と累積変形の相互関係

被覆層の上部と下部の構造が異なる理由のうち、前節で示した(b)は、上部の構造が短時間の単純で微小な「増分変形」を反映しているのに対して、下部の構造は長時間にわたって変形が重複した「累積変形」を示していることを意味

する。このメカニズムは断層だけでなく、さらに長時間にわたって変形が累積した褶曲や褶曲帯、地塁・地溝などの地質構造にも適用される。

地層中に挟在する凝灰岩鍵層を同一時間面として追跡し、これを基準にある時間単位に挟まれた地層の層相・層厚を調査すると、しばしば褶曲軸を境にこれらが急変することが示される。背斜構造をまたぐ同一層準の地層について、部層単位以上のオーダーでこのような解析をすると、時代とともに層相・層厚の急変する方向が背斜軸を境に入れ替わることが見いだされる(品田ほか, 1982; 渋谷・品田, 1986; 小玉ほか, 1990 など)。

この現象を前節と同様に解析すると、まず、ある地層が堆積するとき、下位の地層には撓曲が形成され、これが後の背斜構造の一方の翼を形成する。次に上位にさらに別の地層が堆積するとき、沈降の中心が大きく移動することによって新たな別の翼が形成され、結果的にこのあいだに背斜軸が形成される(第3図)。すなわち、背斜構造は褶曲軸を挟んで時期

とセンスの異なる別々の撓曲が累積することによって段階的に形成されることが示される。このメカニズムは、褶曲帯の下部における断層(帯)や地塁構造の形成機構についても説明され、模型実験やシミュレーション実験で再現することができる(国安, 1982; 藤田・小玉, 1990)。

結局、被覆層の上部や表層部の構造として堆積盆地と撓曲が発生しそれが段階的に移動すると、その境界部には被覆層の下部構造として背斜が片翼ずつ形成され、さらに最下部には狭長な地塁や断層帯ができる。これらは、いずれも特定の場所における基盤断層の再活動の結果として形成されたものであり、深さごとに累積時間と変形量の違う構造が現れていると解釈される(第3図)。

これを一般化すると、堆積盆中にみられる褶曲、撓曲、断層、活断層、活褶曲、測地的地塊運動、堆積盆地の形成など、形態的・時間的・力学的に一見まったく異なる場で形成されたと考えられる構造は、いずれも増分変形という単位では単純な地塊運動という同一の変形を行ったとみなすことができ

るだろう。それぞれに差が生じるのは、変形に要した累積時間と累積変形量の違いによると考えることができる (Kodama, 1992)。

増分変形と累積変形の関係は、第四紀の地質環境システムを解析する際にたいへん重要な考え方を提供する。しばしば、地震時の地殻変形や測地学的変形は地質構造と比べると単純で単元が大ききように見える。第四紀の構造運動の波長は、第三紀の堆積盆地などに比べて波長が大ききように見え、地質構造は現在のダイナミックな運動とは異質なのかという問題が提起される。この問題を増分的 (または微分的、鈴木・小玉, 1987) 変形と累積的 (積分的) 変形の差違としてみれば、時代の古いものほど複雑で変形量が大ききことが解釈できる。

植村・高橋 (1974) は、地質構造の形成機構の研究には歪像 (= 累積変形)、運動像 (= 形成過程)、力学像 (= 増分変形、かつこ内は著者の解釈) の解析が必要だと指摘した。これを上で示した褶曲の例で示せば、褶曲をもたらした力学像の解析には、現在の褶曲の形態ではなく、形成過程を分析し、増分的な変形の力学像を解析することが必要なことを示している。小断層による応力場 (力学像) 解析で褶曲の形成機構を議論する場合にもこの注意が必要である。地質学は現象の歴史性を対象に研究してきたわけだが、特にこのような増分的な変形と累積的な変形の関係については、まだ多くの課題が残されていると考える。

基盤テクトニクスの特性

1. 関東平野の基盤の増分変形の特性

以上のように、平野の地質環境システムにおけるフレームワークとしては、平野の基盤テクトニクス、とりわけその歴史過程の復元から解析された増分変形の特性が重要であることがわかる。これまで解析した一部の結果による基盤の増分変形の特性をまとめると

- (1) 変形は地塊状である。
- (2) 地塊の幅には最小 1.5-2 km, 3-4 km, 5-7 km といった固有な単元がある。
- (3) 特定の地塊境界は層群オーダーの時代を超えて再活動する。すなわち、動きやすい場所は特定されている。
- (4) ただし再活動の際、運動のセンスはしばしば逆転する。

などである。これらの特性は、地質学的な過程から復元された歴史性であるが、おそらく将来にわたっても継承されると考える。

関東平野のどこにこのような地塊境界が集中するか、その運動特性はどうかを特定することは本システム研究の重要な課題であるが、以下には、これまで解析した範囲の一部の結果を紹介する。なお、紙面の都合で詳細については触れられないので、詳しくは稿を改めて報告したい。

三浦層群や上総層群の堆積盆地をもたらした基盤変形の中にはオーダーが異なるいくつかの構造が識別される。これまで解析したなかでの第 1 級の構造は、(1) 多摩川河口から横浜に至る幅で東京湾を西北西-東南東に横断する地塁構造

第 3 図. 堆積盆の形成と移動、地層の撓曲、基盤断層の変位、地塁形成の過程を時間順に示した立体模式図。基盤断層が一定の幅で発生し北へ移動する過程で、堆積盆地が段階的に北へ移動し、背斜構造が片翼ずつ形成されていく。褶曲の波長 (λ_f) は基盤断層の幅 (λ_b) で規定されていることに注目。

(第 2 図 b の “a”, 鈴木ほか, 1990) や、(2) 房総半島の東岸沖をほぼ南北に走る基盤構造である (大久保ほか, 1990)。

(1) は、第 2 図 b の下端の記号 “a” で示した単元で、南北を断層で境された地塁構造であり、時期とセンスの異なる両断層の活動で段階的に形成された。この運動の過程で三浦層群上部の堆積盆地は大きく北方へ拡大し、三浦層群最上部および上総層群の堆積盆地が形成されていった。なお、同図中の記号 “b” は三浦層群上部や上総層群下部の地層の層厚変化から復元された歪の集中帯で、わずかな逆転を伴いながらも全体としては北側の地塊が落ちるセンスを示す断層帯と解釈される。加藤 (1984) はこの場所に「東京湾北部断層」が発達することを明らかにした。b の活動は上総層群中部堆積以降はやや分散的となり、同断層そのものの活動は顕著ではない。このように、“a” および “b” などの境界は、地質過程では繰り返して再活動する 1 級の構造であるが、これらの現在の

活動度については良くわかっていない。それだけの精度で解析がされていないことによる。ただ、次節で述べる最近の地殻内微小地震の活動単位とは、一定の対応関係がありそうだという指摘がされている(三梨, 1993)。

(2) は、房総半島太平洋岸において、上総層群下部層が堆積する時期には同堆積盆地の西縁を限った東落ちのセンスの断層帯であったが、同中部層以降には堆積盆地の中心が大きく西方へ移動したため、今度は盆地の東限をかくす西落ちの断層として再活動した地塊境界である。第四紀後期以後、現在の海底地形を形成するような東傾動の地殻変動に際しては、再び東落ちのセンスで再活動したと考えられる。1987年12月17日には、ほぼこの構造に平行する南北性の節面と余震分布をもつ「千葉県東方沖地震」が発生した。ただし、震源の深さは約50kmと非常に深いので、その関係は不明である。

上記2地域や平野中央部で指摘されている綾瀬川基盤断層(角田・埼玉人工地震調査グループ, 1981)などのほか、関東平野にはさらにいくつかの第1級の基盤境界があると推定されるがまだ実態は明らかでない。それらについては時代ごとの増分変形の特性を明らかにすることが今後の課題である。

2. 地殻下部の変動と基盤のテクトニクス

基盤のテクトニクスの特性、特に最近の増分的な変形様式は、地殻下部の最近の地震活動と関係があるだろうか。以下にこの問題を検討してみる。

鈴木(1989)は関東・中部地域の深さ35km以浅の地殻内地震(主として微小地震)を解析し、この地域の地殻の応力場を詳細に検討し、応力区の区分を提案した。一つの応力区内では発震機構から求めたP軸方向がほぼ一定しているが、境界域を挟んだ隣接応力区間ではP軸やT軸の平均方向に有意な差がみられるとし、応力区境界域には帯状の低地震活動域が存在するとしている。鈴木は、この境界域に顕著な地質構造線や活断層が分布する場合が多いことを示し、応力区と地質構造に密接な関係があると指摘している。このような区分が存在すると仮定すると、構造線や活断層は地表付近だけのものではなく、地下20~30kmまで達していると考えられることや、境界付近の変形は応力区内部より大きいこと、境界では地殻の力学的性質が異なることなどの興味ある可能性も指摘している。

鈴木が示した南関東の構造と筆者らが解析した基盤地塊の構造とを比較すると、東京湾内の構造のように、あるものは良く対応するものもあるが、一部はそうでないものもあり、さらに検討が必要である。なお、対比に当たっては、すでに述べたように、単純な位置的対応関係だけではなく、特に基盤の増分的変形(力学像)との対応の検討が必要だろう。すなわち、被覆層の変形過程と地殻深部の現在の変形の両方から問題解決のモデルを提案することが必要であると考えられる。これらの対応が見いだせれば、地塊状の基盤テクトニクスの原因について、あるいは地殻内地震の発生の特性について、新たな解決の糸口が見いだされると期待される。

おわりに—地質環境システムの総合モデルをめざして

平野とは、例えてみればコンクリートの石畳の沈んだ部分に砂を薄く平らに蒔いたような構成である。盤石と思われていた基盤構造も、実際は不連続な単元の集合であるように思われる。小論では、このような基盤テクトニクスについて、特に各時代の増分的な変形を歴史的に解析することの重要性を主張してきた。この変形が特に地表付近における最近の、また近い将来の地質環境システムの境界条件を規定すると考える。

基盤テクトニクスの特性は被覆層の地質学的解析からのみ明らかにされる。かつてオーストラリアのキャンベラで開かれた「第9回国際基盤テクトニクス会議」に参加しており、主催者のM.J. Rickard オーストラリア国立大学教授が、ほとんど丸見えの同国の先カンブリア界のテクトニクスの特性が被覆層(この場合は二畳系以上)との相互作用の解析によって明らかにされると主張していて興味深かった(Rickard, 1992)。先カンブリア紀の構造運動と新生代の構造運動は、いずれも類似の再活動を繰り返しているからである。第四紀において著しく活発な構造運動をした我が国の平野地域の構造も、時代は異なるが共通した特性をもっていると推測される。厚い被覆層の発達には基盤テクトニクスの解明にとっては邪魔者であるのではなく、詳細な記録帳であり、未来の予定表だとみなすことができる。

被覆層と基盤との相互作用の解明は、表層から地下の原因を探るという宿命をもった地球科学の基本的な命題である。この問題は原因が地殻内にある現象、例えば地震波の伝播機構や発生機構などの研究にとっても重要であると考えられる。この種の研究では、地表付近の震動や微妙な変形を検出して地殻内部の変動を予測するわけだが、基盤テクトニクスで特徴づけられる中間の構造がこれらの現象を基本的に規制する可能性が考えられるからである。基盤テクトニクスの特性を考慮した正しいテクトニック・システムが構築されれば、あらかじめ起こりそうな地殻の変形や地震動を発生させたときの地表付近の応答を理論的にシミュレートすることが可能であり、最もセンシティブなポイントに精度の適合したセンサーを配置するなどの設計や、そうしたモデルの妥当性の検証が可能になるのではなかろうか。

はじめにも述べたように、地質環境問題においては、自然のシステムについての正しいメカニズムの把握が必要である。実際にはさまざまな内容の地質環境問題があり、それぞれは対象とする地質環境システムが異なっているだろう。小論ではこの点を必ずしも限定せずに議論を展開したために論点があいまいになったことを恐れる。しかし、そのようなさまざまなサブシステムも基本的には平野という地質環境システムの中で相互作用を及ぼし合っていると考えられるので、基盤のテクトニクスを一つの共通な境界条件にすれば被覆層内のさまざまな挙動を総合的に解析していくことができると考えたい。地下深部の基盤の構造と運動史、とくにその歴史性から明らかにされる増分的な運動特性といった基盤テクトニクスを解明するためには、さらに詳細な物理探査や

ボーリングによる地下地質構造解析, 層序対比, 各種の観測や分析, シミュレーション解析など総合的な調査や研究方法の開発が必要である。将来, 地質学, 地球物理学など多方面からこの課題のための研究が実施されることを期待して本稿を終わりたい。

謝 辞

小論作成に当たっては, 日頃よりさまざまなご討論をいただいている千葉県水質研地質環境研究室の楢井 久氏, 香村一夫氏, 元島根大学の三梨 昂氏, 埼玉大学の堀口万吉・角田史雄の各氏, ならびに工業技術院地質調査所の長谷川功・鈴木尉元の各氏のご指導に基づいた。ここに記して謝意を表す。

文 献

- 檀原 毅, 1971, 日本における最近 70 年間の総括的上下変動。測地雑, 17, 100-108.
- 遠藤邦彦・関本勝久・高野 司・鈴木正章・平井幸弘, 1983, 関東平野の沖積層。アーバンクボタ, 21, 26-43.
- 藤田 望・小玉喜三郎, 1990, 房総半島中部の大釜戸背斜の形成過程。地質学論集, no. 34, 127-138.
- 春川光男, 1990, 千葉県東方沖地震による九十九里平野周辺の震度分布とその地質的震動区分。地質学論集, no. 35, 75-90.
- 堀口万吉, 1974, 関東平野西部の地形区分と段丘面の変動。関東地方の地震と地殻変動 (垣見・鈴木編), ラテイス, 119-127.
- , 1981, 関東平野中央部における考古遺跡の埋没と地殻変動。地質学論集, no. 20, 79-94.
- 市原震害研究グループ, 1993, 1987 年千葉県東方沖地震による養老川下流域の震害と地質構造の関連。地球科学, 47, 111-122.
- Jackson, P.S., 1971, The focusing of earthquake. *Bull. Seismo. Soc. Amer.*, 61, 685-697.
- 貝塚爽平, 1974, 関東地方の島弧における位置と第四紀地殻変動。関東地方の地震と地殻変動 (垣見・鈴木編), ラテイス, 251-256.
- 長谷川 功, 1988, 地震探査から見た関東平野の基盤構造。地質学論集, no. 31, 4-56.
- 加藤 茂, 1984, 東京湾におけるマルチチャンネル反射法音波探査。水路部研究報告, no. 19, 1-57.
- Kodama, K., 1992, Analytical study of geologic structure in the cover sediments by Virtual Basement Displacement method. In Rickard M.J. et al., eds., *Basement Tectonics 9*. Kluwer Acad. Pub., Netherlands. 151-160.
- 小玉喜三郎・堀口万吉・鈴木尉元・三梨 昂, 1981, 更新世後期における関東平野の地塊状造盆地運動。地質学論集, no. 20, 113-128.
- Kodama, K., Long X.M. and Suzuki, Y., 1985, Structural analysis of deepseated volcanic rock reservoirs by tectonic simulation. United Nation ESCAP/CCOP Tech. Bull., 17, 61-79.
- 小玉喜三郎・大竹規夫・富田 博・小野 敏・中島良員・城井浩介・鈴木尉元, 1990, 房総半島中部における三浦層群天津層の堆積と褶曲の形成過程。地質学論集, no. 34, 105-115.
- 駒沢正夫・長谷川功, 1988, 関東平野の重力基盤に見える断裂構造。地質学論集, no. 31, 57-74.
- 国安 稔, 1982, スケールモデル実験からみた反転褶曲の形成過程。月刊地球, 4, 78-84.
- 三梨 昂, 1993, 横浜地域の震央集中域の地質構造と浅発地震の発生について。第 2 回環境地質学シンポジウム講演論文集, 日本地質学会, 337-342.
- Nirei, H., Kusuda, T., Suzuki, K., Kamura, K., Furuno, K., Hara, Y., Satoh, K. and Kazaoka, O., 1990, The 1987 East Off Chiba Prefecture earthquake and its Hazards. *Mem. Geol. Soc. Japan*, no. 35, 31-46.
- 大久保秀一・戸野 聡・渡子直記, 1990, 房総半島沖堆積盆地の形成機構。地質学論集, no. 34, 21-30.
- Rickard, M.J., 1992, Basement-cover relationship in orogenic belts. In Rickard, M.J. et al., eds., *Basement Tectonics 9*, Kluwer Acad. Pub., Netherlands, 247-254.
- サイモン, H.A. (稲葉元吉・吉原英樹訳), 1987, システムの科学。パーソナルメディア, 東京, 382 p.
- 渋谷 保・品田正一, 1986, 房総半島南端の作名背斜の形成過程。地質雑, 92, 1-13.
- 品田正一・小玉喜三郎・鈴木尉元・国安 稔, 1982, 房総南端地域の褶曲と堆積運動 (演旨)。日本地質学会 89 年大会演旨, 539.
- 嶋 悦三・柳沢馬住・工藤一嘉・瀬尾和太, 1981, 東京の基盤構造その 5, 第 7 回, 第 8 回, 第 9 回夢の島爆破実験による地下深部探査。地震研究所彙報, 56, 265-276.
- 杉山雄一・遠藤秀典, 1993, 音波探査により発見された首都圏の潜在活断層。地質ニュース, 466, 33-41.
- 鈴木宏芳, 1989, 関東・中部地域の地殻内地震の発震機構と地殻応力場。国立防災科学技術センター研報, 43, 125 p.
- 鈴木尉元・小玉喜三郎, 1987, 褶曲モデルの構成。月刊地球, 9, 308-311.
- ・大久保秀一・三梨 昂・小玉喜三郎, 1990, 東京湾の地質と地質構造。地質学論集, no. 34, 11-19.
- 東京都土木技術研究所, 1987 編, 東京低地の液状化予測。土質工学会, 189 p.
- 角田史雄, 1980, 関東地方における異常震動域。—地震学者と地質学者の対話—, 東海大学出版会, 115-119.
- , 1988, 首都圏北部で発生する強震動の方向。地質学論集, no. 31, 127-138.
- , 1990, 下総震動地塊について。地質学論集, no. 35, 63-73.
- , 1993, 埼玉平野西縁部における関東地震の強震動。埼玉大学紀要 (自然科学編), 9, 159-184.
- ・埼玉人工地震調査グループ, 1981, 埼玉県東部, 綾瀬川流域における人工地震の観測。地質学論集, no. 20, 207-212.
- 植村 武・高橋 明, 1974, 基盤の運動像と被覆第三系の褶曲—新潟県北部櫛形山脈の例—。地調報告, no. 250-2, 1-22.
- 矢部長克・青木廉二郎, 1927, 関東造盆地周縁山地に沿へる段丘の地質時代。地理評, 3, 1-9.

(要 旨)

小玉喜三郎, 1994, 地質環境のフレームワークとしての基盤テクトニクスについて. 地質雑, 100, 417-424. (Kodama, K., 1994, Basement tectonics as a framework of geologic environment. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 100, 417-424.)

地質環境システムの研究にはそのフレームワークとしての境界条件を特定することが重要である。小論ではとくに人口の集中する平野地域の地質環境システムを対象に, さまざまな地質構造の形成機構を解析した。その結果, このシステムの境界条件としては, 平野基盤のテクトニクス, すなわち先第三系の基盤構造とその運動過程が重要であることを述べた。基盤テクトニクスの特性は基盤を被う第三系・第四系被覆層の層序・構造の詳細な解析から明らかにされるが, とくに運動過程を構成する増分変形が重要である。増分変形は(1)地塊状である, (2)大きさ(幅)に固有の単位がある, (3)動きやすい境界が特定している, (4)運動のセンスは逆転しやすい, 等の特性がある。これらの条件は平野の地質環境を過去から未来にわたって特徴づけると考えた。東京湾北部や房総半島東部の基盤境界など, これまでの解析で明らかにされた関東平野の基盤構造については具体的な特性を解析した。