

東北日本弧南部外側地域の東西性～北西—南東性 水平圧縮場を示す中新世横ずれ断層系

— 東北日本弧の中新世断層系とテクトニック応力場 —*

Miocene strike-slip fault system representing the compressional stress field of E-W to NW-SE direction, in the outer side of the southern part of the Northeast Japan Arc

— Miocene fault systems and tectonic stress fields of the Northeast Japan Arc —

桑原 徹**

Toru KUWAHARA

Abstract Miocene fault system was analyzed in the outer Pacific side of the southern part of the Northeast Japan Arc, that is, "Non-Green Tuff" region, in order to elucidate the characteristics of the Miocene fault systems and regional tectonic stress fields of the Northeast Japan Arc. The followings are the Miocene fault system in each area of the outer side.

(1) Haranomachi area: NNW-SSE and E-W strike-slip fault sets of Miocene age. (2) Joban coal field: NNW-SSE strike-slip (probably left-lateral), NW-SE right-lateral, and E-W conjugate normal fault sets of early Middle Miocene age. E-W conjugate normal fault sets are secondary normal faults resulted from the simple shear of NNW-SSE direction. (3) Tanakura Sheared Zone: older E-W right-normal-slip fault set of early-middle Early Miocene age, younger NE-SW right-normal-slip fault set of Middle Miocene age, NNW-SSE left-lateral fault set of Early-Late Miocene age, older NE-SW normal fault set of Early-early Middle Miocene age, and younger N-S and NW-SE normal fault sets of Middle Miocene age. The latter three normal fault sets were formed associated with the tectonic depression and terminal depression relating to the NNW-SSE left-lateral fault movements. (4) Karasuyama-Motegi area: N-S strike-slip (probably left-lateral) and normal fault sets of Miocene age. (5) Oarai-Nakaminato area: NW-SE left-lateral and NE-SW right-lateral fault sets of Middle-Late Miocene age.

Therefore, NNW-SSE to NW-SE left-lateral and NE-SW or NW-SE right-lateral fault sets are the principal faults of the outer side. The maximum and minimum principal stress axes can be judged to be oriented in E-W to NW-SE, and N-S to NE-SW direction, respectively, from these strike-slip faults.

The following two types of Miocene fault system, different from the above mentioned system, also exist. One is the reverse fault system associated with the Miocene accretionary prism, which is observable in the present inner trench slope of the Japan trench. The other is the normal fault system of NNE-SSW direction, parallel to the axis of the Northeast Japan Arc, in the inner Sea of Japan side.

Thus, Miocene tectonic stress fields of the southern part of the Northeast Japan Arc are characterized as follows; compressional state around the trench, compressional state from the fore-arc to the back-arc region, and extensional state in the back-arc region. They are characterized by the reverse, strike-slip, and normal fault system, respectively.

* シンポジウム「東北日本の新生代テクトニクス」での講演内容に、一部加筆した。

** 筑波大学地球科学系

はじめに

東北日本弧の中新世造構造運動は、生層序・岩相層序・火山活動の性質などにもとづいて、堆積盆地の性格あるいは各堆積盆地の間でみられる地史的な相異といった点から議論されてきた（たとえば、北村，1959，1963）。また火山岩の噴出量にもとづいて、火山フロントの位置の推定やその移動という点からも論じられた（SUGIMURA, *et al.*, 1963; 中村, 1969）。

最近では、広域テクトニック応力場の性質から、島弧の造構造運動が議論されることがある。たとえば、島弧のテクトニック応力場は、海溝から前弧域、さらに背弧域にかけてしばしば変化し、その変化の様子を明らかにすることは島弧のテクトニクスを解明する上で一つの糸口になると考えられる（NAKAMURA and UYEDA, 1980）。よって東北日本弧の中新世造構造運動を明らかにするためには、岩脈の卓越方位にもとづく広域応力場の復元（TAKEUCHI, 1980）や、断層活動と広域テクトニック応力場の関係を明らかにすることが重要である。

中新世の東北日本弧の中で、日本海側の“グリーンタフ地域”（内側地域）は、正断層活動によって特徴づけられることがしばしば指摘されている（島津ほか，1963；藤田，1973；高浜，1976）。堀越（1975）によると、これらの正断層活動は、黒鉱鉾床の成因とも結びつけられて、背弧域の伸長場を示すものであると考えられている。

一方、太平洋側の“非グリーンタフ地域”（外側地域）の中新世断層活動については、須貝ほか（1957）、OMORI（1958）、岩生・松井（1961）、恒石（1966）、MITSUI（1971）、大槻（1975）、TSUNEISHI（1978）などによって地域ごとに論じられている。しかし全体としての断層活動の特徴は、十分明らかになっていない。主に前弧域（背弧域に近い前弧域）に相当すると考えられる非グリーンタフ地域で、断層活動の特徴とテクトニック応力場を明らかにすることは、東北日本弧全体のテクトニック応力場を考える上で重要である。

この論文ではまず、中新世の東北日本弧の南部の外側地域が、横ずれ断層系とそれに伴って副次的に形成されたと考えられる正断層によって特徴づけられることを述べる。このような特徴を、常磐～北上沖から日本海溝にかけての海域や内側地域で観察できる中新世の断層活動の特徴と比較検討して、東北日本弧の中新世断層系とテクトニック応力場について考察する。

地質概略

中新世横ずれ断層系によって特徴づけられる東北日本弧外側地域として、この論文では、東北日本弧南部に位置する阿武隈山地・八溝山地、及び茨城県の太平洋沿岸地域を取り扱う。断層の解析は、阿武隈山地東縁の福島県原の町地域、常磐炭田地域、棚倉破碎帯地域、八溝山地西部の栃木県烏山～茂木地域、茨城県大洗～那珂湊地域で行なわれた（図1）。

これらの地域はブロック化した先第三系基盤岩類とその間の沈降帯に堆積した第三系とからなる（表1）。

先第三系基盤岩類は、阿武隈・八溝両山地に広く分布する。阿武隈山地は主に御斎所・竹貫変成岩類、後期白亜紀花崗岩類からなり、その東縁には、緑色片岩などからなる日立・八基・松ヶ平・山上変成岩類を含むデボン系～二畳系、及びジュラ系相馬層群・白亜系双葉層群が分布する（渡辺ほか，1955；北村ほか，1955；岩生・松井，1961；IWAMATSU, 1975）。これらの走向は全体として北北西～南南東性であるが、詳細にみるとS字型の屈曲をなしている（渡辺ほか，1955）。八溝山地は非変成二畳系～ジュラ系（佐藤，1974）、後期白亜紀の八溝型花崗岩類（柴田，1951；柴田ほか，1973）からなり、南端の筑波山塊には領家帯相当の白亜紀末期の花崗岩類と変成岩類が分布する（柴，1979）。八溝山地の基盤岩類の一般走向は、北部では南北性であるが、南部では北東～南西性へと変化する。大洗～那珂湊地域にも断片的に先新第三系が分布し、タービダイトを主体と

する上部白亜系那珂湊層群、礫岩からなる上部白亜系～古第三系大洗層が発達する（坂本ほか、1972；坂本、1975、ほか）。これらの一般走向は東西性である。

第三系は大部分が新第三系であり、第三系の多くが、“非グリーンタフ”あるいは“グリーンタフ”への中間相である。棚倉破碎帯地域には、礫岩からなる大梅礫岩・東金砂山礫岩・菌朶平礫岩、砂岩・凝灰岩・泥岩からなる浅川層、砂岩・凝灰岩からなる久保田層、安山岩質火山角礫岩からなる男体山火山角礫岩などが分布し（OMORI, 1958；大槻, 1975）、特に粗粒碎屑岩類が卓越する。これらは破碎帯に沿って、その内部と西側に南北方向に分布し、いくつかの堆積盆地を形成している。八溝山地には、先新第三紀に生じたブロック運動によって、東西性の沈降帯が形成された。この東西性沈降帯を通して、棚倉破碎帯地域の中新統は烏山～茂木地域の中新統と連なっている。

棚倉破碎帯の南方延長部は、一般には大洗～那珂湊地域の北側を通ると考えられている（地質調査所, 1978）。事実、棚倉破碎帯の内部に分布する東金砂山礫岩（大槻, 1975）と類似した岩相をもつ殿山層（斉藤, 1956）が、大洗～那珂湊地域で観察できる。しかし破碎帯の存在を直接示すような破碎岩類は観察できない。

常磐炭田地域では、上部漸新統～中部中新統下部の白水・湯長谷・白土・高久層群（須貝ほか、1957；KATO, 1980）が、先第三系を不整合に被ってほぼ南北に分布する。これらは礫岩・夾炭層・砂岩・泥岩・凝灰岩からなる。

原の町、烏山～茂木地域には、安山岩・緑色凝灰岩・凝灰質砂岩・集塊岩などからなる天明山層（北村ほか、1955）、元古沢層・山内層・茂木層（KAWADA, 1953）がそれぞれ分布する。

以上の漸新統～中新統を傾斜不整合に被って、太平洋沿岸に位置する原の町地域では鮮新統の久保間層・竜の口層（北村ほか、1955）が、また常磐炭田地域・大洗～那珂湊地域では泥岩からなる中部中新統上部～鮮新統の高賀層群（須貝ほか、1957；坂本ほか、1972；KATO, 1980）が分布する。内側地域に位置する棚倉破碎帯地域には、礫岩・砂岩・泥岩・凝灰岩からなる鮮新統久米層・仁公義層・白河凝灰岩（大槻, 1975）が、また烏山～茂木地域には主に礫岩からなる鮮新統の箒川層（KAWADA, 1953）が分布する。

外側地域の中新世断層活動

棚倉破碎帯地域、常磐炭田地域、原の町・烏山～茂木・大洗～那珂湊地域の各地域で断層を解析した結果、中新世に活動したと決定あるいは推定できた断層の特徴について述べる。

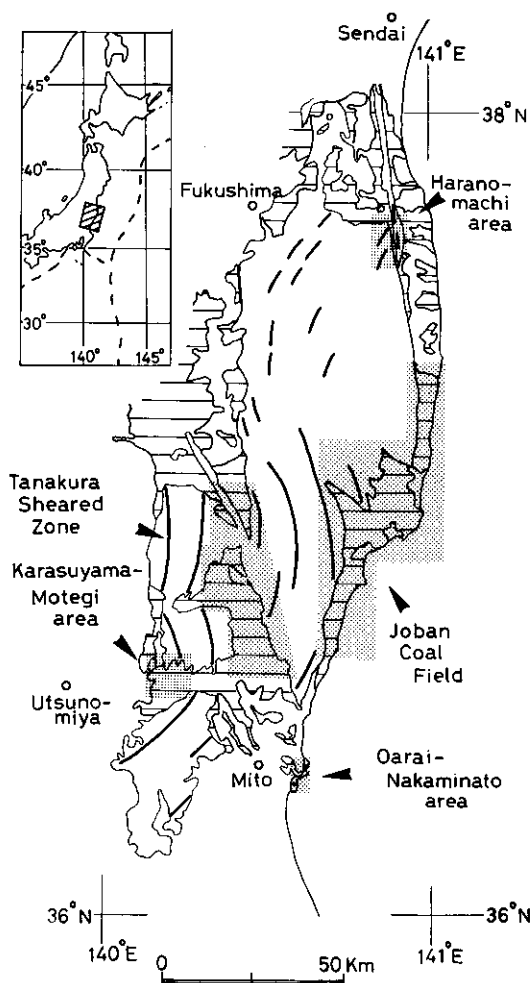


図1 調査位置図

表1 対比表

棚倉破砕帯地域					常磐炭田地	原の町地	烏山~茂木地	大洗~那珂湊地	
鮮新統				久米層	仁公儀層	白河凝灰岩	竜の口層 久保間層	箒川層	
上部中新統							多賀層群		多賀層群
中部中新統	内大野層 小生瀨層 男体山	風木の草礫岩 百合平層	齒染平礫岩 平部層	東金砂山礫岩	久保田層 赤坂層	阿弥陀山礫岩 平塩層 (戸沢層) 大梅礫岩	高久層群 白土層群 湯長谷層群 白水層群		殿山層
下部中新統	火山角礫岩 浅川層 北田気層	浅川層 北田気層	西染層 男体山 火山角礫岩 浅川層 北田気層				大明山層	茂木層 山内層 元古沢層 市場層	
古第三系									大洗層
先第三系	中・古生層	中・古生層	中・古生層		竹貫 変成岩	中・古生層	双葉層群 古生層	相馬層群 古生層	那珂湊層群

本地域には横ずれ断層が卓越する。断層に横ずれ変位成分が多い場合は、断層に伴うみかけの変位の方向を誤ることがしばしばある (HILLS, 1972)。そこで断層の規模を問わず各断層ごとに、その断層面上の条線の方向と断層に沿うみかけの変位の両者の組み合わせによって、その断層の真の変位の方向を求めた。

本論文では、同様な方位・運動のセンスをもち、かつほぼ同時に形成されたと考えられる断層をひとまとめにして、“断層セット”とした。またある応力場の下で、同時に形成されたいくつかの“断層セット”をまとめて“断層系”とした。以下において、各地域で識別できる断層セットについて述べる。

1 棚倉破砕帯地域

棚倉破砕帯地域の中新世断層系は、次の5つの異なる断層セットからなっている。棚倉破砕帯地域で用いる中新統の地層名は、大槻 (1975) に従っている。

(1) 古期東西性正断層型右ずれ断層セット

このセットは図2の断層 R 1 ~ R 6 からなる。断層 R 1 ~ R 5 は破砕帯地域の南西部で推定でき、これらの断層に沿っては、断層 R 1 ~ R 5 に平行な傾斜ずれ (oblique-slip) 小断層がしばしば観察できる。これから断層 R 1 ~ R 5 は南傾斜の正断層型右ずれ断層と推定される。断層 R 1 ~ R 5 が切っている下部中新統 (浅川層) 中の凝灰岩のオフセットから、それぞれの断層について最大 0.5 ~ 3 km の右ずれ変位成分が推定できる。

断層 R 1 ~ R 5 は、破砕帯に沿って南北方向に分布する下部中新統 (北田気層・浅川層) を切

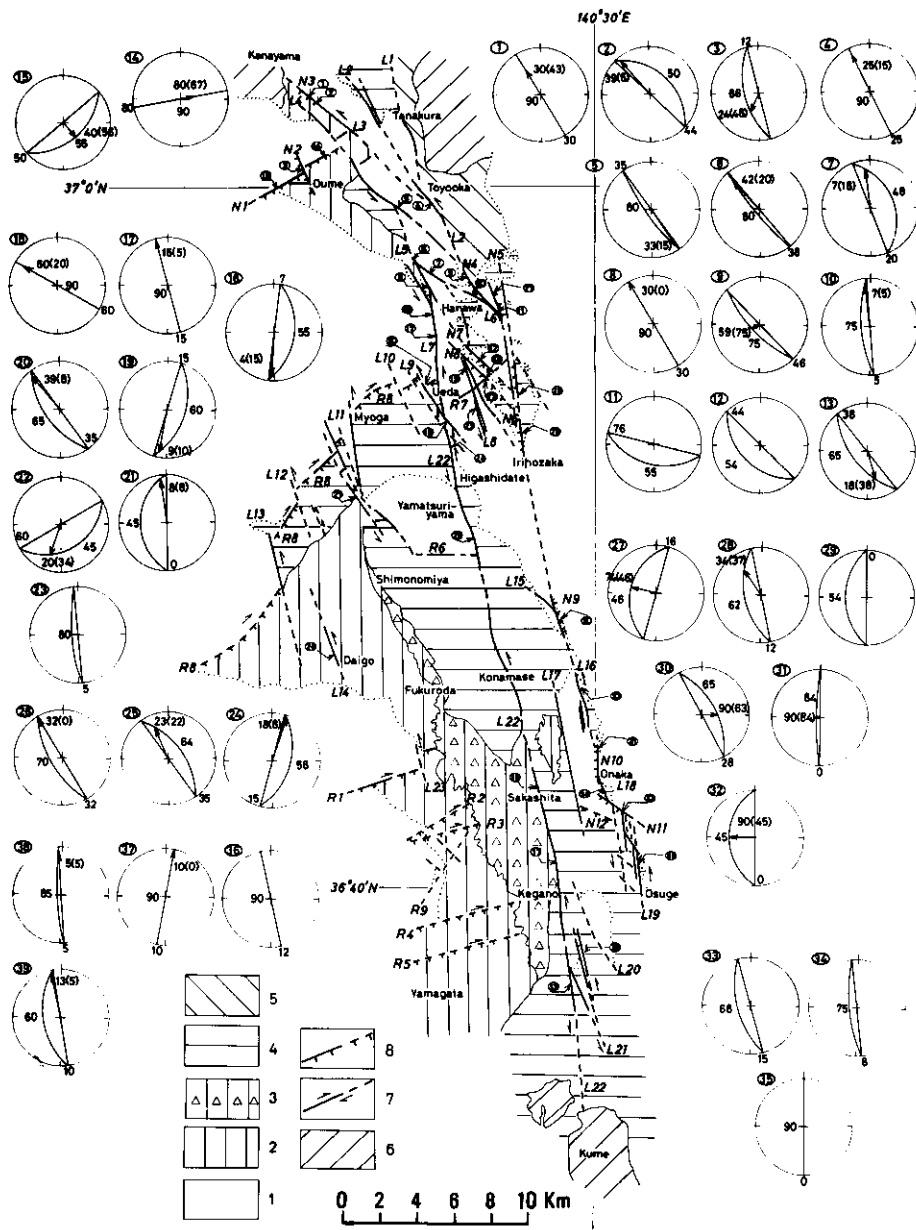


図2 棚倉破砕帯地域の中新世断層系

1: 先新第三系, 2: 下部中新統, 3: 下部中新統上部男体山火山角礫岩, 4: 中部中新統, 5: 中部中新統上部~上部中新統下部, 6: 鮮新統, 7: 横ずれ断層, 8: 正断層, L 1 ~ L 23: 左ずれ断層, R 1 ~ R 9: 正断層型右ずれ断層, N 1 ~ N 12: 正断層, ①~⑳: 地点番号, ステレオ投影図: 観察できる断層面の走向・傾斜, 及び断層面上の条線の方位。ステレオ投影図の番号は, 地図上の地点番号に対応する。下半球投影。

っている。一方その上位に重なり、安山岩質火山角礫岩からなる下部中新統上部の男体山火山角礫岩は、断層 R 1～R 5 によって切られていない（図 2）。男体山火山角礫岩が断層 R 1～R 5 を被うのを露頭で直接観察することはできないが、男体山火山角礫岩の様な北北西-南南東性の分布は、断層 R 1～R 5 を被っていることを示すと考えられる。よって断層 R 1～R 5 は、前期中新世の前期～中期にかけて活動したと推定できる。

破砕帯西側のほぼ中央部にみられる断層 R 6 については、その運動のセンスが不明であるが、このセットに含めた。断層 R 6 は、中部中新統（苗代田層・小生瀬層）をも切っており、中期中新世以降の東西性断層の再活動を表わすらしい。

(2) 古期北東-南西性正断層セット

この断層セットは図 2 の断層 N 1 からなる。断層 N 1 が観察できる破砕帯地域北部の Loc. 15 では、基盤岩類の輝緑凝灰岩が幅 50 m にわたって破砕され、下部中新統（大梅礫岩）も著しく破砕されている。断層 N 1 に接する礫岩層（大梅礫岩）中には、走向・傾斜が N 80° E, 90°, 条線の方角が N 87° E, 67° NE の正断層が観察できる（Loc. 15）。また断層に沿っては同様な性質をもつ小断層が多数観察できるので、断層 N 1 は一般走向が N 60° E の南東傾斜の正断層である。

棚倉破砕帯地域北部では、下部中新統（大梅礫岩・平塩層中～下部）～中部中新統下部（平塩層上部）が中・古生界を不整合に被っているが、断層 N 1 に沿ってはこれらの下部中新統～中部中新統下部がとくに厚く堆積する（図 3）。これは断層 N 1 の正断層活動によって、断層 N 1 に沿って基盤の沈降がすすみ、これら中新統がより厚く堆積したことを示す。これから断層 N 1 の活動時期は前期中新世～中期中新世初期と推定できる。

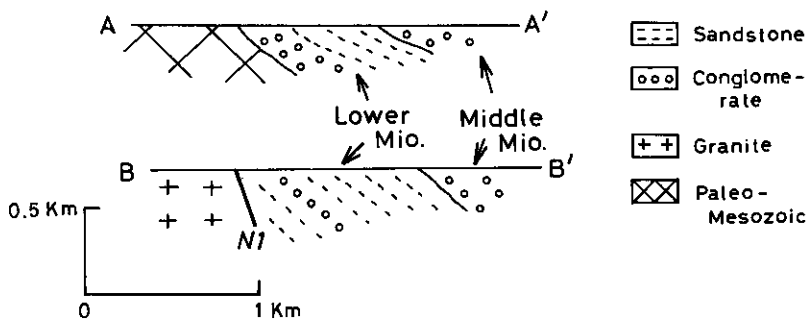


図 3 棚倉破砕帯地域北部の中新統の地質断面図
断面 A-A', B-B' は図 2 の A-A',
B-B' に対応する。

(3) 新期北東-南西性正断層型右ずれ断層セット

この断層セットは、図 2 の断層 R 7～R 9 からなり、主に破砕帯地域西部で観察できる。断層 R 7 は、Loc. 22 で走向・傾斜が N 60° E, 45° S, 条線の方角が S 20° W, 34° SW の南傾斜の正断層型右ずれ断層である。断層 R 8 は断層 R 7 とほぼ平行で、かつ断層 R 7 の南西方向の延長部に位置する。断層 R 8 は、中・古生界、八溝型花崗岩類と主に中部中新統を境する顕著な断層である。中・古生界は幅 20～30 m にわたって著しく破砕されているが、中部中新統中には破砕作用や小断層は少ない。

断層 R 8 の上盤側では、断層に向って中部中新統(風木の草礫岩・歯朶平礫岩など)が厚く堆積するのに対し、下盤側では中部中新統(風木の草礫岩)がわずかに分布するにすぎない。これは断層 R 8 の正断層変位成分に伴って、中部中新統の堆積がすすんだことを示している。これから断層 R 8 の活動時期は中期中新世と推定できる。

断層 R 8 の縦ずれ変位成分は、中部中新統(歯朶平礫岩)の層厚から推定される層間落差(stratigraphic throw)にもとづけば、すくなくとも 2300 m あることになる。右ずれ変位成分の量についてははっきりしない。

(4) 新期南北性～北西-南東性正断層セット

この断層セットの中で南北性のものには、図 2 の断層 N 2, 5, 6, 9, 10 があり、断層 N 2 を除いて破碎帯の東縁に沿って分布する。断層 N 2, 6, 9, 10 はいずれもその断層面を観察することができ、東あるいは西傾斜の正断層である(Locs. 3, 28, 29, 30, 31)。幅 5 cm 程度の半固結断層粘土を伴うことがある(Loc. 28)。

北西-南東性正断層には、図 2 の断層 N 3, 4, 7, 8, 11, 12 があり、断層 N 3 以外は破碎帯の内部に分布する。断層 N 3, 4, 7, 11 は断層面を観察することができ、南西傾斜の正断層である(Locs. 1, 9, 12, 32)。断層面に沿っては、幅 5 cm の断層粘土が伴ったり(Locs. 1, 12)、幅数 m の破碎帯が形成されることがある(Loc. 32)。

南北性正断層 N 5, 6, 9, 10, 北西-南東性正断層 N 4, 7, 8, 11, 12 は、基盤岩類と破碎帯内部の中部中新統との境をなしている。また破碎帯内部の中部中新統(東金砂山礫岩・赤坂層)の走向は、北北西-南南東性の破碎帯の方向にほぼ平行である。よって、破碎帯の東縁や内部を区切る南北性・北西-南東性の中期中新世正断層活動に伴って、破碎帯内部の基盤が沈降し、その結果これらの礫岩層を主体とする中部中新統が形成されたものと考えられる。これらの正断層の変位量は、中部中新統(東金砂山礫岩)の層厚から推定される層間落差にもとづいて、約 500 m と推定できる。

(5) 北北西-南南東性左横ずれ断層セット

この断層セットは、図 2 で雁行状配列をなす北北西-南南東性～北西-南東性左横ずれ断層 L 1～L 23 からなり、その断層面は Locs. 2, 4～8, 10, 16～21, 23～26, 33～39 で観察できる。断層 L 1～L 23 は棚倉破碎帯の主体を構成する断層である。断層 L 9, 11, 12, 13, 14, 23 に沿う左ずれ変位量は、新第三系と先新第三系とのオフセットなどから、1～4 km である。これらの左ずれ断層は、破碎帯地域の中～上部中新統を切り、鮮新統(久米層)に不整合に被われる。よってこの断層セットは、すくなくとも中新世の中～後期にかけて活動したことは確かである(桑原, 1981)。

2 常磐炭田地域

常磐炭田地域の中新世断層系は、共役をなす横ずれ断層セットと東西性共役正断層セットからなる。ここではまず、活動時期を除く断層セットの特徴について述べ、活動時期についてはこの節の最後にまとめて述べることにする。

(1) 横ずれ断層セット

横ずれ断層セットは、常磐炭田地域の最も顕著な断層であり、図 4 の北西-南東性右ずれ断層セット S 1～S 4, 南北性横ずれ(左ずれ?)断層セット S 5～S 7 からなる。北西-南東性断層セットに属する S 1, S 2, S 3 (二ツ箭断層, 赤井断層, 湯の岳断層: 須貝ほか, 1957)は、第三系に対してそれぞれみかけ上 10, 0.7, 5 km の右ずれのオフセットを与えている。断層 S 1, S 3, S 4 の周辺(Locs. 1～6)では、これらと平行でかつ横すべりの条線をもった小断層が多数観

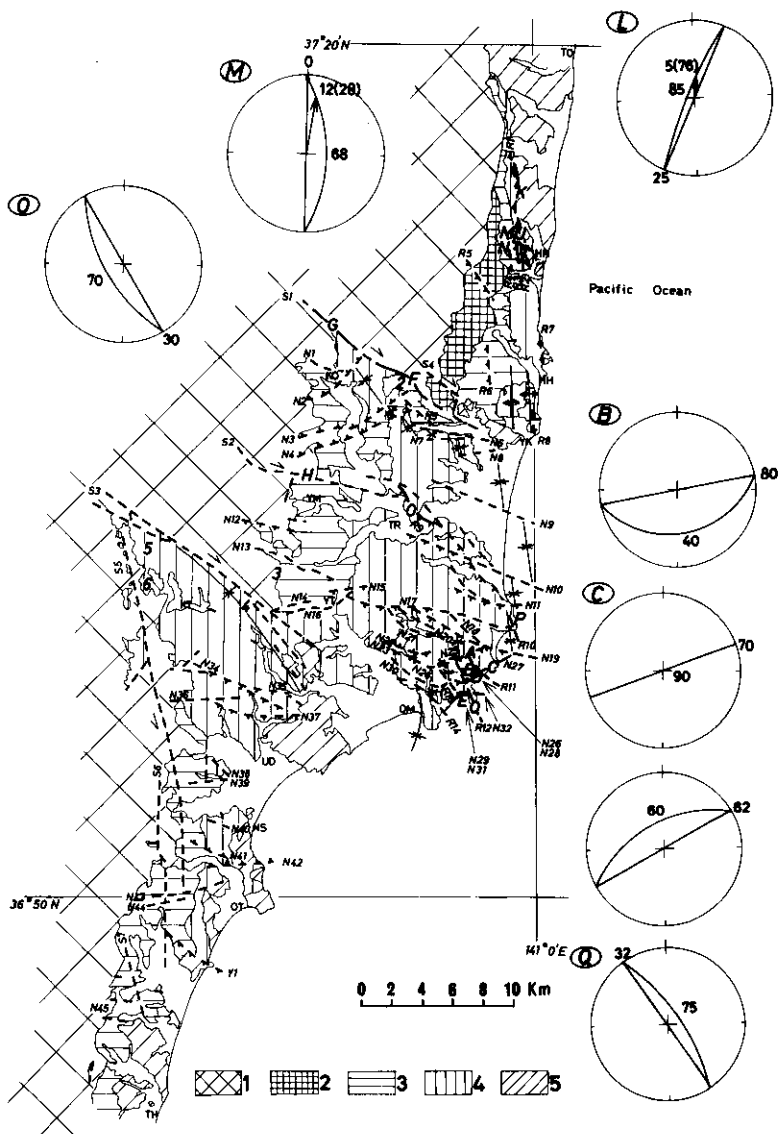


図4 常磐炭田地域の地質概略図

須貝ほか(1957)を修正, 加筆.

1: 変成岩類・花崗岩類・古生界, 2: 白亜系双葉層群, 3: 上部漸新統白水層群, 4: 下部中新統~中部中新統下部湯長谷・白土・高久層群, 5: 中部中新統上部~鮮新統多賀層群, S1~S7: 横ずれ断層, N1~N45: 東西性正断層, R1~R14: 北北西-南南東性逆断層とそれに伴う正断層, Y1: 正断層, 1~6: 地点番号, A~Q: 断層が確認できる地点, ステレオ投影図: 観察できた断層面の走向・傾斜と, 断層面上の条線の方向, 下半球投影, 地名: TO: 富岡, HN: 広野, HH: 久之浜, YK: 四倉, KO: 上小川, YM: 好間, TR: 平, YT: 湯本, OM: 小名浜, KT: 上遠野, UD: 植田, NS: 勿来, OT: 大津, TH: 高荻.

察できる。これから、断層 S 1～S 3 に沿うオフセットは、かなり真の右ずれ変位量に近いものと考えられる。一方縦ずれ変位成分は層間落差（須貝ほか、1957）にもとづき、断層 S 1～S 3 に対してそれぞれ 550 m, 300 m, 250 m 以下である。よって北西-南東性断層セットは、横ずれ変位成分の卓越する横ずれ断層であると考えられることができる。

これらの右ずれ断層は、基盤岩類と第三系の境界であり、第三系の変形に関与している。しかし横ずれ小断層は、断層 S 1～S 4 の周辺をのぞくと第三系中には少ない。

南北性横ずれ断層セットに属する断層 S 5, S 6 には大きな変位は認められない。

(2) 東西性共役正断層セット

このセットは図 4 の断層 N 1～N 45, 及び小断層からなり、前者は常磐炭田地域の中・南部に、後者は全域にわたってよく発達する。一般的な走向は東西性であるが、北東-南西性、北西-南東性のもものしばしば観察できる。しかし小断層の共役セットから復元される中間主応力軸の方位は、このような走向のばらつきにもかかわらず、ほぼ東西性である。

この断層セットの層間落差は 100～500 m である（須貝ほか、1957）。常磐炭田地域はゆるい盆状構造をなすので、この層間落差は縦ずれ変位成分に近いものであろう。

(3) 活動時期

常磐炭田地域の横ずれ断層セット・東西性共役正断層セットは、上部漸新統～中部中新統下部の白水・湯長谷・白土・高久層群に顕著な変位を与え、南北性～北西-南東性の盆状構造とともに、これらの地質構造を決定している。一方、中部中新統上部～鮮新統の多賀層群は、双葉逆断層に沿う双葉褶曲帯を除けば、ゆるい東への同斜構造あるいはきわめてゆるい波状構造を示すだけで、先多賀層群の構造とは異なる。

ここでいう横ずれ断層セット・東西性共役正断層セットは、多賀層群と先多賀層群との構造のちがいが、後者が前者に傾斜不整合で被われることから、多賀層群の堆積前に活動したとされている（須貝ほか、1957；岩生・松井、1961；MITSUI, 1971）。

須貝ほか（1957）は、多賀層群全体を鮮新統と考え、これらの断層活動は中新世の後半と考えた。しかし最近の研究では、多賀層群は下部の中部中新統上部～上部中新統と、上部の鮮新統に分けられる（KATO, 1980）。横ずれ断層セットは多賀層群中にはほとんど観察できない。一方、東西性共役正断層セットに属する小断層は、多賀層群の下部にしばしば観察できる。しかし先多賀層群が東西性共役正断層セットの N 1～N 45 によって大きく転位させられているのに対し、多賀層群はほとんどその影響を受けていない。よって東西性共役正断層セットの主要な活動時期は、横ずれ断層セットとともに、やはり多賀層群堆積前、すなわち中期中新世前期と考えられる。

3 原の町地域

原の町地域では、二つの横ずれ断層セットが観察できる。

(1) 北北西-南南東性横ずれ断層セット

本地域には、久之浜-岩沼線・八茎断層のような北北西-南南東性の断層 I～V（図 5）が発達する。この断層セットは、とくに断層 I～III に沿い横すべりの条線をもつ断層からなる（図 6）。断層 I, II は、ミロナイト・下部中新統天明山層を切っているので、このセットの活動時期は前期中新世以降である。

(2) 東西性横ずれ断層セット

この断層セットは、断層 I～III に沿い、横すべりの条線をもつ東西性の小断層からなる。北北西-南南東性横ずれ断層セットとはほぼ同時に形成されたと推定される。

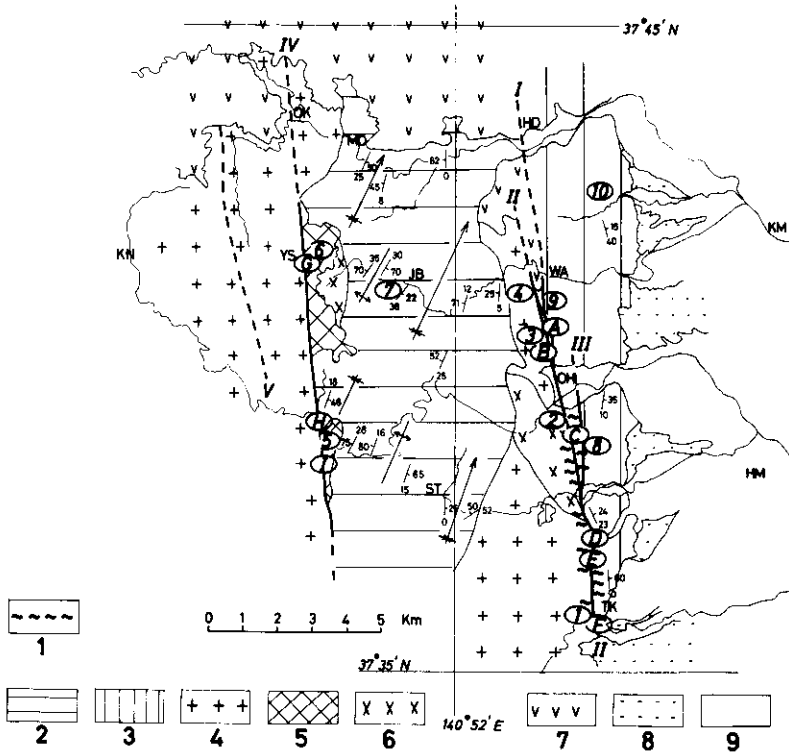


図5 原の町地域の地質図

1: ミロナイト, 2: 古生層, 3: ジュラ系相馬層群,
 4: 後期白亜紀花崗岩類, 5: 蛇紋岩, 6: 珩岩, 7:
 下部中新統天明山層, 8: 鮮新統久保間層・竜の口層,
 9: 第四系, I~V: 断層の番号, ㉑~㉒: 断層が観
 察できる地点, ①~⑩: 地点番号, 地名; OK: 大倉,
 MD: 松ヶ平, KM: 鹿島, HD: 原田, YS: 八木沢,
 JB: 榑原, WA: 蕨跡, ST: 助常, OH: 大原, TK:
 滝, HM: 原の町, KN: 草野.

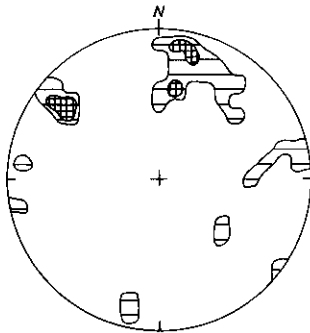


図6 原の町地域の横ずれ小断層
 原の町地域, 図5の Locs.
 1~10で観察できる横ずれ
 小断層. シュミットネット下
 半球投影. 46コ. 0-4-6%.

4 烏山～茂木地域

八溝山地西部では、中・古生界と新第三系を境する南北性断層が卓越し、これらは二つの断層セットに分けることができる。二つの断層セットはいずれも下部中新統を切っているので、その活動時期は前期中新世以降である。

(1) 南北性横ずれ断層セット

この断層セットは、図7の断層I～Ⅵからなり、Locs. A, D において断層面とその上の横すべり条線が観察できる。変位量・運動のセンスは不明である。

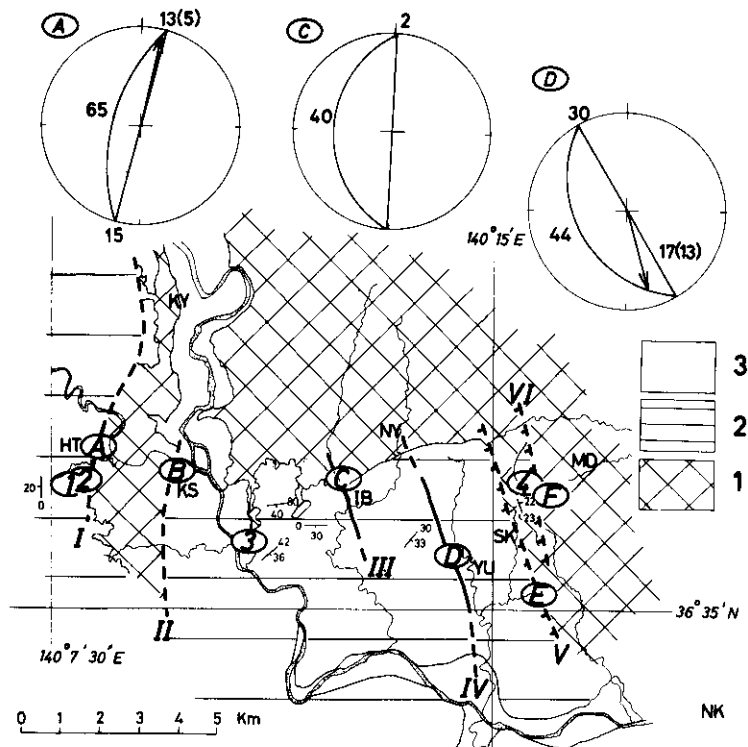


図7 烏山-茂木地域の地質概略図

1: 中・古生界, 2: 新第三系, 3: 第四系,
 I～Ⅵ: 断層の番号, ①～④: 断層が観察できる地点, ①～④: 地点番号, ステレオ投影
 図: 観察できた断層面の走向・傾斜と, 断層面上の条線の方法, 下半球投影, 地名; KS: 川南, KY: 烏山, HT: 東竹内, IB: 市場, NY: 中山, MD: 前田, SK: 猿久保, YU: 山内, NK: 長坂.

(2) 南北性正断層セット

この断層セットは、図7の断層Ⅴ～Ⅵからなり、Locs. E, F でそれぞれの断層が推定できる。また断層Ⅵに沿う Loc. 4 では、断層Ⅵに平行な共役正断層が観察できる。

5 大洗～那珂湊地域

この地域には、共役をなす北西-南東性左ずれ断層セットと北東-南西性右ずれ断層セットが卓越する。これらの断層セットに属する横ずれ小断層(図8)は、上部白亜系～古第三系大洗層中の後期白亜紀酸性岩の礫に横ずれ変位を与えている。

SAITO(1961)は、大洗層と中部中新統殿山層の間に北北西-南南東性の断層を報告している。坂本ほか(1972)は殿山層を切る北北東-南南西性の断層を、坂本(1975)は第四系下にふく在し、新第三系を切る北西-南東性の断層を推定している(図8)。また坂本ほか(1972)は、殿山層中に南北性、N 30°~60° Wの小断層を報告し、その殿山層のルートマップによると、N 20°~70° W、N 10°~50° Eの小断層が卓越する。

このように大洗～那珂湊地域には、北西-南東性～北北西-南南東性と北東-南西性の断層が卓越する。これらは、大洗層中で観察できるように、それぞれ左ずれ、右ずれ断層と考えられる。

大洗～那珂湊地域の横ずれ断層セットは、中部中新統殿山層を切り、かつ第四系に被われる(坂本, 1975)。よってその活動時期は中期中新世以降、第四紀以前であり、中新世中～後期と推定される。

外側地域の中新世横ずれ断層系

以上述べたように、外側地域の中新世断層活動は、横ずれ断層・正断層からなっている。棚倉破碎帯地域・常磐炭田地域・烏山～茂木地域では横ずれ断層・正断層が発達し、原の町・大洗～那珂湊地域では横ずれ断層が発達する。外側地域の中新世断層活動の特徴を、テクトニック応力場との関係において明らかにするためには、特に棚倉破碎帯地域と常磐炭田地域の横ずれ断層と正断層の相互関係を明らかにすることが重要である。基盤岩類中と被ふく層中の断層の関係も考慮しながら、横ずれ断層と正断層の関係を定性的に考察する。

1 棚倉破碎帯地域の横ずれ・正断層活動と中新統

棚倉破碎帯地域の中新世断層活動は、断層セットの活動時期のちがいによって、(1)前期中新世前～中期(2)前期中新世末期～中期中新世、(3)後期中新世の三つの時期に分けて示すことができる(図9)。

(1) 前期中新世前～中期

棚倉破碎帯地域の北部で観察できる下部中新統(大梅礫岩・平塩層中～下部・戸沢層中～下部)は、破碎帯の西縁断層の末端部に位置し、西縁断層に沿って平行で、かつ北西方向から南東方向へ

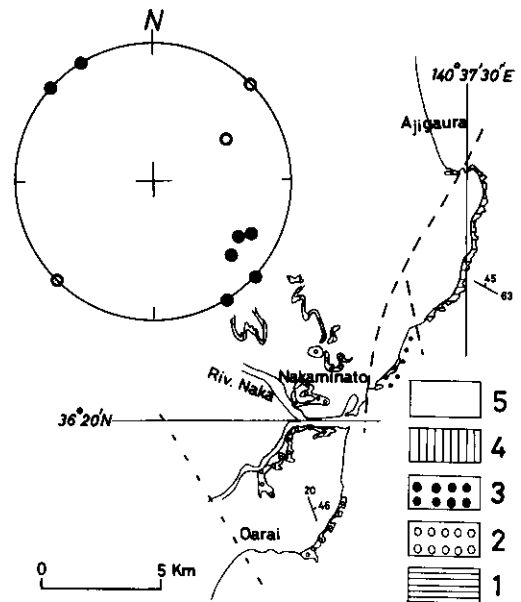


図8 大洗～那珂湊地域の地質図

坂本ほか(1972), 坂本(1975)による。

- 1: 上部白亜系那珂湊層群,
- 2: 上部白亜系～古第三系大洗層,
- 3: 中部中新統殿山層,
- 4: 上部中新統多賀層群,
- 5: 第四系, ステレオ投影図: 大洗層中に発達する横ずれ小断層, 白丸: 左ずれ断層, 黒丸: 右ずれ断層, 下半球投影。

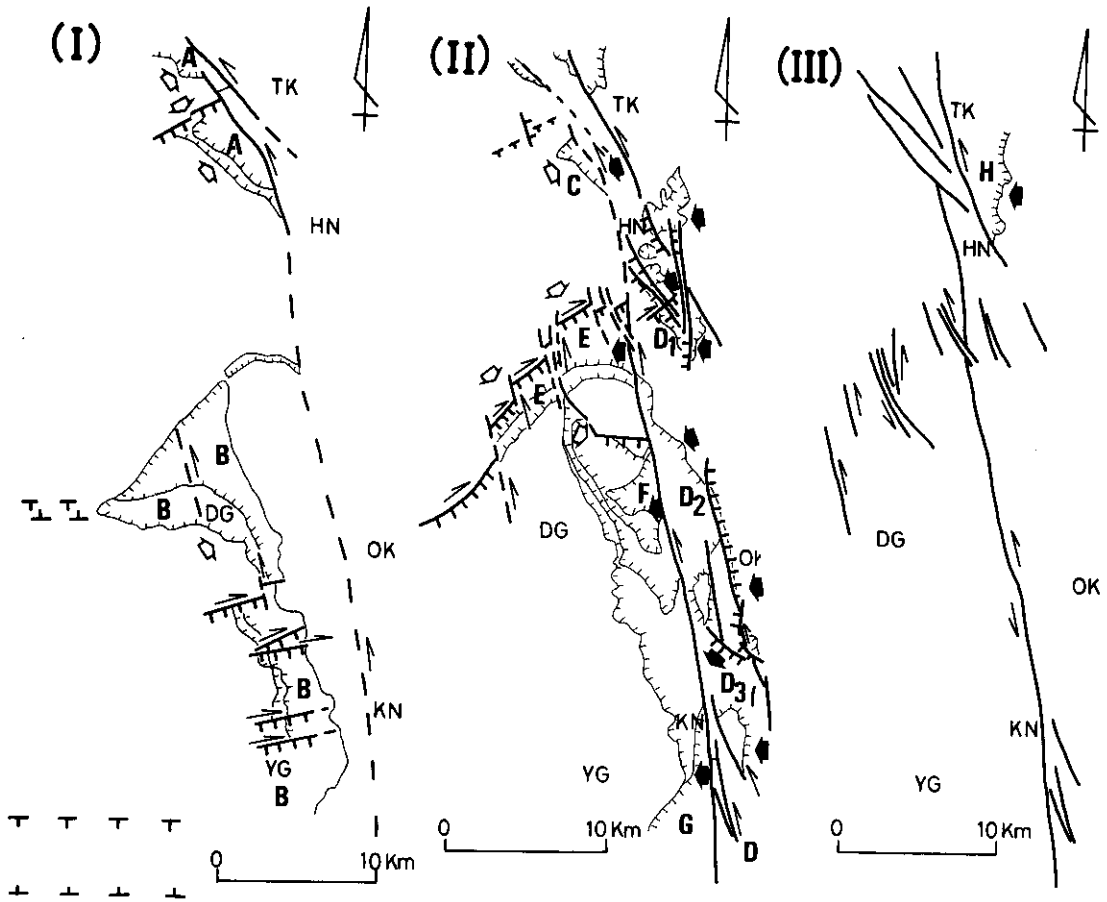


図9 棚倉破砕帯地域の中新世断層系と中新統

(I): 前期中新世前～中期, (II): 前期中新世末期～中期
 中新世, (III): 後期中新世, A～H: 堆積盆地, 白色矢印:
 八溝山地の中・古生界及び八溝型花崗岩類起源の礫
 岩・砂岩の堆積を表わす。黒色矢印: 阿武隈山地の火
 成岩・変成岩類起源の礫岩・砂岩の堆積を表わす。
 矢印の方向: 堆積物が供給された概念的な方向,
 地名; TK: 棚倉, HN: 塙, DG: 太子, OK: 大中
 KN: 天下野, YG: 山方。

向ってその分布がせまくなる(図9-(I), A)。このような分布の特徴は、左ずれ断層の末端部に形成されるはずの沈降部("terminal depression")の平面的形態と類似している(図10)。古期北東-南西性正断層セットの断層N1は、このような下部中新統の堆積盆地の北縁に位置することから、"terminal depression"の最沈降部と基盤の境に生じた正断層であると推定できる。

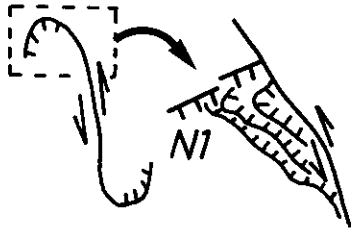


図10 棚倉破砕帯の"terminal depression"

破砕帯西方にも、下部中新統(北田気層・浅川層)が広く分布する(図9-(I), B)。棚倉破砕帯地域の西方には、八溝山地の基盤岩類をブロック化し、烏山~茂木地域の下部中新統の堆積盆地を形成した東西性正断層活動が認められる。破砕帯地域の古期東西性正断層型右ずれ断層活動は、これらの断層活動と一連と考えられる。よって古期東西性正断層型右ずれ断層セットの縦ずれ変位成分によって、破砕帯地域西部の下部中新統(図9-(I), B)の堆積が一部促進されたことは確実であろう。

しかしこれらの下部中新統が南北に広く分布することは、古期東西性正断層型右ずれ断層セットの活動だけでは説明できない。南北性の沈降運動は、むしろ破砕帯の西縁断層の活動と直接関係していた可能性が大きい。

北北西-南南東性の断層は、前期中新世前~中期において棚倉破砕帯地域の主要な断層活動を生じ、その運動のセンスは左ずれと推定できる。

(2) 前期中新世末期~中期中新世

棚倉破砕帯地域北部には、前述の下部中新統の上位に整合に重なり、下部中新統と一連の起源をもつと考えられる中部中新統(平塩層上部・戸沢層上部・阿弥佗山礫岩)が分布する(図9-(II), C)。よってこの時期においても、破砕帯地域北部では、西縁断層の左ずれ変位が、引き続き生じていたと考えることができる。

棚倉破砕帯の内部では、破砕帯に沿う左ずれ変位に伴って、principal displacement shear, riedel shear (TCHALENKO, 1968)が形成されている。前者には主に東西両縁辺断層からなる北北西-南南東性左ずれ断層が、また後者には北西-南東性左ずれ断層がそれぞれ相当する(桑原, 1981)。これら二つの左ずれ断層の活動によって、北西-南東性のriedel shearが隔てる北側と南側ブロックがそれぞれ相対的に北側、南側へ移動し、新たな沈降帯— tectonic depression (LENSSEN, 1973)—が生ずるはずである(図11)。

tectonic depressionが生じた結果、棚倉破砕帯では、図9-(II)の堆積盆地D1, D3,の東縁と内側、

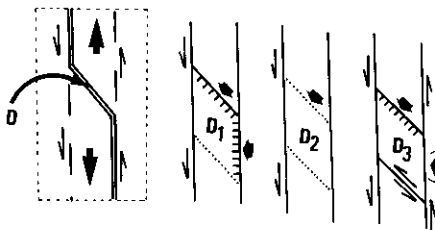


図11 棚倉破砕帯の"tectonic depression"
堆積盆地D1, D2, D3は、それぞれ図9のD1, D2, D3に対応。黒色矢印: tectonic depressionに伴う堆積物の供給方向。

すなわち破砕帯の東縁と内部に南北性~北西-南東性で、西あるいは南西傾斜の正断層が形成されている。これらが新期南北性~北西-南東性正断層セットである。図9-(II)の堆積盆地D2では、このような正断層はすでに中部中新統によって被われてしまっていると考えられる。すなわち棚倉破砕帯のtectonic depressionは、図11のD1, D2, D3のように模式的に表わすことができる。このようにtectonic depressionに伴う正断層活動によって、阿武隈山地の基盤岩類が礫として、この

新たな沈降帯に多量にかつ急速に供給された結果、破砕帯内部の中部中新統（東金山礫岩・赤坂層）が形成されたと考えることができる。

破砕帯地域中央部の西部では、新期北東-南西性正断層型右ずれ断層セットの縦ずれ変位成分によって、八溝山地の中・古生界起源の中部中新統（百合平層・風木の草礫岩・齒朶平礫岩の一部）が形成された（図9-(II), E）。

左ずれを生じている西縁断層の中央部から南部にかけても、西縁断層の西側に沿って、中部中新統が南北方向に形成されている（図9-(III), F, G）。

すなわち、前期中新世末期~中期中新世にかけては、北北西-南南東性左ずれ断層セットと、これと共役をなす北東-南西性正断層型右ずれ断層セットが、棚倉破砕帯地域の主要な断層活動であり、これらに伴って中部中新統が形成された。

(3) 後期中新世

棚倉破砕帯地域北部に分布する中部中新統上部~上部中新統下部（久保田層）が、東縁断層に沿って堆積し（図9-(III), H）、東縁断層は久保田層に左ずれ変位を与えている。西縁断層などの左ずれ断層の周辺では、同一断層面上で、横ずれの条線が、前の時期の正断層活動に対応すると考えられる縦ずれの条線を切っている（桑原, 1981）。これらの事実から、北北西-南南東性左ずれ断層セットは、この時期にも引き続いて活動したと考えることができる。

以上述べたように、棚倉破砕帯地域の多様な断層活動を支配するものは、北北西-南南東性左横ずれ断層セットと、これと共役をなす古期東西性正断層型右ずれ断層セット・新期北東-南西性正断層型右ずれ断層セットである。北北西-南南東性横ずれ断層活動に伴って、北東-南西性・南北性・北西-南東性正断層セットが副次的に形成されたと考えることができる。また厚い粗粒碎屑岩類が急速に堆積するという棚倉破砕帯地域の中新統の特徴は、このような横ずれ断層活動に負うものと考えられる。

2 常磐炭田地域の横ずれ断層と正断層

常磐炭田地域の横ずれ断層セットと東西性共役正断層セットは、その活動の開始時期は十分明らかではないが、すでに述べたように、すくなくとも高久層群堆積後活動したことは確かである。よって上位の多賀層群の堆積までの間に、横ずれ断層セットから復元できる北西-南東性 σ_1 （最大圧縮主応力軸）・北東-南西性 σ_3 （最小圧縮主応力軸）と、東西性共役正断層セットから復元できる東西性 σ_2 （中間主応力軸）・南北性 σ_3 、というみかけ上異なる応力配置が時間を異にして存在したかどうかは問題である（図12）。両者の間には、活動時期のちがいを表すような明瞭な切り合い関係は認められない。また白水層群から高久層群に至る地質構造はほぼ一様で、必ずしも二つの異なるテクトニック応力場を考える必要もない。よって横ずれ断層セットと東西性共役正断層セットは、ほぼ同時にある一つのテクトニック応力場の下で形成されたと考えられる。

これらの断層セットの変位量を比較すると、すでに述べたことから、横ずれ変位成分の方が大きい。二つの断層セットが、ほぼ同時に活動していれば、東西性共役正断層セットは、横ずれ断層セットに伴って形成されたと考えることができる。

第一の可能性としては、北西-南東性右ずれ小断層が第三系中にあまり発達しないことから、右ずれ断層の末端部に形成された正断層であるとする考え方があり。しかし北西-南東性右ずれ断層の末端部には、南北性正断層が形成されるはずで、実際の観察結果と合わない。また右ずれ断層S1~S3に対して、無関係に東西性共役正断層セットが発達するのも、この可能性と不調和である。

第二の可能性として、東西性共役正断層セットは、棚倉破砕帯地域、原の町地域などの阿武隈山地東縁、及び常磐炭田地域に分布する北北西-南南東性左ずれ断層の間に発達しているともみるこ

とができる。HARDING (1974) によれば、北北西-南南東性の左ずれ変位に伴う単純剪断によって、常磐炭田地域で実際観察できるような東西性正断層が副次的に形成されることが示されている(図13)。

よって、ここでは第二の可能性をとることとする。この場合、第三系中の南北性~北西-南東性の盆状構造(石城向斜など:須貝ほか, 1957)は、transcurrent bucklingの一部と考えられる。東西性共役正断層セットの中で、北西-南東性右ずれ断層に平行なものは、部分的に二次的な右ずれ変位を生じ、盆状構造に右ずれ変位を与えている。

常磐炭田地域の横ずれ断層と正断層の関係は、HARDING(1974)にもとづき、このような単純剪断とそれに伴う副次的な正断層としてとらえることができる。

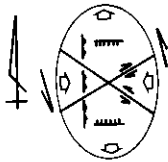


図13 北北西-南南東性の単純剪断に伴って形成される構造
北北西-南南東性の単純剪断に伴って、副次的に正断層、逆断層、横ずれ断層がそれぞれ形成される場合を示す(HARDING, 1974)。

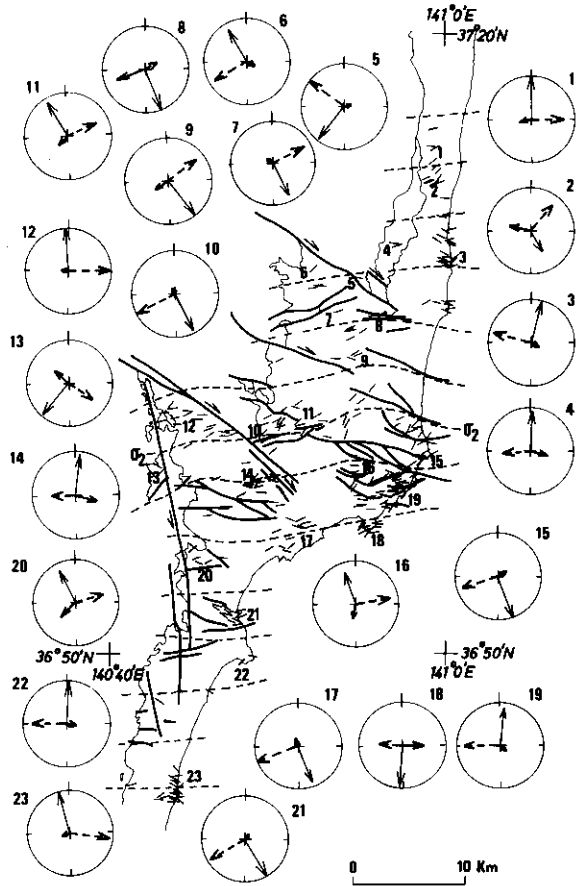


図12 常磐炭田地域の中新世横ずれ断層セットと東西性共役正断層セット
構造図上の太実線: 構造図に表現できる規模の横ずれ断層セット(S1~S6)と東西性共役正断層セット(N1~N45), 構造図上の短い細実線: 東西性共役正断層セットに属する小断層, 構造図上の太破線: 東西性共役正断層セットから復元できる中間主応力軸軌跡, 1~23: 地点番号, ステレオ投影図: 東西性共役正断層セットの共役セットから復元できる主応力軸の方向, 下半球投影・太実線の矢印: σ_1 , 太破線の矢印: σ_2 , 細実線の矢印: σ_3 .

3 東西性~北西-南東性水平圧縮場を示す外側地域の横ずれ断層活動

以上の議論にもとづいて、中新世東北日本弧南部の外側地域の断層活動は、次のようにまとめることができる(図14)。

外側地域で最も重要な断層は、原の町・常磐炭田・棚倉破碎帯・烏山～茂木・大洗～那珂湊地域で観察できる北北西-南南東性左ずれ断層である。棚倉破碎帯地域では、北北西-南南東性左ずれ変位に伴って、riedel shear (TCHALENKO, 1968) が形成されている。すなわち、北北西-南南東性左ずれ断層からなる principal displacement shear, 北西-南東性左ずれ断層からなる riedel shear が発達し、さらに、東西性の右ずれ小断層からなる conjugate riedel shear も観察できる(桑原, 1981)。原の町地域で観察できる北北西-南南東性、東西性横ずれ断層も、それぞれ principal displacement shear, conjugate riedel shear に相当すると考えられる。

これらの北北西-南南東性左ずれ断層セットに対し、常磐炭田地域では北西-南東性右ずれ断層セットが、棚倉破碎帯地域では古期東西性正断層型右ずれ断層セット・新期北東-南西性正断層型右ずれ断層セットが、また大洗～那珂湊地域では北東-南西性右ずれ断層セットが、それぞれ共役をなしている。また北北西-南南東性左ずれ断層活動に伴って副次的に、棚倉破碎帯地域の古期北東-南西性・新期南北性～北西-南東性正断層セットと常磐炭田地域の東西性共役正断層セットが、そしておそらく烏山～茂木地域の南北性正断層セットも形成されたと考えられる。

断層の解析結果にもとづくと、阿武隈・八溝両山地から大洗～那珂湊地域にかけての東北日本弧外側地域では、横ずれ断層が中新統の基本的な地質構造の形成に関与していると考えられる。一方正断層は横ずれ断層系に伴う副次的な地質構造の形成に関係している。よって外側地域の断層系を形成したテクトニック応力場は、横ずれ断層系にもとづいて復元できると考えられる。横ずれ断層系から復元できる主応力軸の方向は、原の町～常磐炭田地域では北西-南東性 σ_1 ・北東-南西性

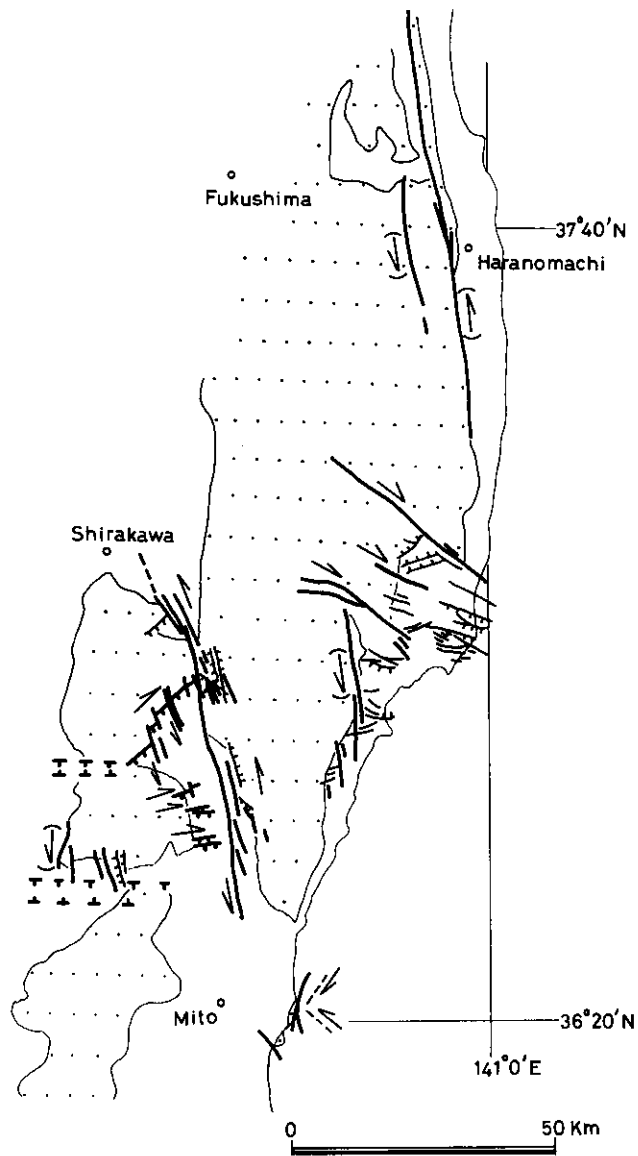


図14 東北日本弧南部、外側地域の中新世断層系
大洗～那珂湊地域の破線：小断層、かっこ
で示した運動のセンス：“左ずれ”と推定さ
れた横ずれ断層、打点部：先第三系

σ_3 , 棚倉破砕帯地域から烏山～茂木地域, 大洗～那珂湊地域では東西性 σ_1 ・南北性 σ_3 である。

東北日本弧南部の中新世断層系とテクトニック応力場

東北日本弧南部の中新世断層系とテクトニック応力場の特徴を明らかにするために, すでに述べた外側地域のほかに, 常磐～北上沖から日本海溝にかけての海域や内側地域の断層活動についても考察した。その結果, 断層系とテクトニック応力場は, 島弧の海溝から前弧, 背弧域にかけての応力場の変化として次のようにとらえられる。ここでは松田(1980)によって推定された中新世の火山フロントの位置にもとづいて, 前弧と背弧を区別した。

1 海溝付近

DSDP LEG 56 STAFF(1978)によると, 現在の日本海溝陸側斜面には, 新第三系からなる付加プリズムが認められる。この中の中新統は, 中新世当時に形成された付加プリズムと考えられる。したがって, 当時のその場は, 現在の付加プリズムで認められる逆断層で特徴づけられる圧縮場が存在していたと推定される。

2 前弧域～背弧域

東北日本弧陸域の外側地域に分布する第三系は, 常磐～北上沖の陸棚～大陸斜面にかけてもよく連続し, 一連の堆積盆地を形成している(小松, 1979)。陸域の外側地域を特徴づける横ずれ断層系は, この一連の堆積盆地でも発達するものと推定される。横ずれ断層系は, 主に非グリーンタフ地域からグリーンタフ地域への漸移帯に分布する。その分布の西縁は, すくなくとも前期中新世においては, 阿武隈山地の中央部から西縁部, 八溝山地の西縁部にあり, 中新世の火山フロントのやや西に位置する。横ずれ変位量は数 km で, 多くは 5 km 以下である。

3 背弧域

東北日本弧の陸域の内側地域の中でも, 朝日山地西部の温見地域では, グリーンタフの下部がよく発達し, 中新世の断層活動が観察できる。温見地域の中新世断層活動の詳細についてはここでは述べないが, 西田・茅原(1966), 田宮ほか(1973), 及び筆者の断層解析の結果にもとづいて, その特徴を次のようにまとめることができる。

(1) 北北東-南南西性正断層が最も卓越する断層セットである。これらはしばしば地塁・地溝を形成し, 中新統の主要な地質構造となっている。

(2) 東西性の縦ずれ小断層(主に正断層)がしばしば観察できる。これらは前述の中新統の主要な地質構造とは直交している。地塁・地溝の配列に対して直交する断層が観察できることは, Mc-GILL and STROMQUIST(1979)によっても報告されている。

(3) 横ずれ断層はきわめて少なく, その大部分は小断層である。また横ずれ断層の方向性も乏しい。

同様な断層活動は, 朝日山地の蒲萄～高根, 小国～三面地域でも認められる。これらの特徴は, 朝日山地の中新世断層系が北北東-南南西性 σ_2 , 西北西-東南東性 σ_3 という主応力軸配置をとることを示している。

朝日山地で卓越する南北性～北北東-南南西性正断層は, 福島県霊山・会津・津川～三川地域でも報告されている。(八島, 1962; 通産省, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974; 津川グリーンタフ団体研究グループ, 1979; 竹内, 1979)。盛岡-白河線, 鬼怒川地溝帯, 新発田-小出構造線の正断層活動(八島・生出, 1966; YABE and AOKI, 1924; 山下, 1970)もこれらに含まれると考えられる。

このように阿武隈山地～八溝山地の西縁から日本海側にかけては、南北性～北東-南西性の正断層が卓越する。これらの活動時期は主に前期～中期中新世である（たとえば、八島, 1962；高浜, 1976）。正断層の変位量は、盛岡-白河線を除けば、一般には数百mである（高浜, 1976）。

4 まとめ

東北日本弧南部の中新世断層系とテクトニック応力場は次のようにまとめることができる(図15)。



図15 東北日本弧南部の中新世断層系とテクトニック応力場
日本海溝陸側斜面付近の応力軌跡は、DSDP LEG 56
STAFF (1978) による北上沖海溝陸側斜面の構造
断面図から推定。

- (1) 海溝付近（現在の海溝陸側斜面付近）：東北日本弧にはほぼ平行する逆断層系。
 - (2) 前弧域～背弧域（陸域の外側地域～常磐沖）：共役をなす南北性～北北西-南南東性左ずれ断層と北東-南西性、北西-南東性右ずれ断層。東西性～北西-南東性 σ_2 ，南北性～北東-南西性 σ_3 。
 - (3) 背弧域（陸域の内側地域）：東北日本弧にはほぼ平行する南北性～北東-南西性正断層。北北東-南南西性 σ_2 ，西北西-東南東性 σ_3 。
- この中で、陸域で求められた応力場の配置に関しては、岩脈群の集中方位から求められた σ_{Hmax} 軌跡 (TAKEUCHI, 1980) は、断層系から求められた σ_{Hmax} 軌跡とよく一致している。
- 以上の結果にもとづくと、東北日本弧の軸にはほぼ直交する σ_1 (σ_{Hmax})、 σ_3 (σ_{Hmin}) で表わされる応力場が、海溝～前弧域～背弧域、背弧域にそれぞれ分布する。これは、それぞれの地域が圧縮場、伸張場にあることを示している。海溝から背弧域に向ってみられるこのような応力場の

変化は、3つの主応力の大きさの変化に伴って、断層系の型が逆断層、横ずれ断層、正断層と変化することによって生じている。

地震学的研究によれば、圧縮場の下にあると考えられる島弧の中で、日本弧・チリ～ペルー弧・千島弧などにみられる非活動的背弧域は圧縮場の下に、またマリアナトラフなどの活動的背弧域は伸張場の下にあるとされている (UYEDA and KANAMORI, 1979)。一方、ベーリング海のような非活動的背弧域 (KARIG, 1971) にも、伸張場が存在する例が報告されている (NAKAMURA *et al.*, 1977)。したがって、中新世の東北日本弧にみられる伸張場が、ただちに日本海の拡大に伴う伸張場を表わすのかどうか明らかではない。中新世の海水準が現在のそれと比べて相対的に高く、中新世の東北日本弧～“日本海”は、現在のアリューシャン弧～ベーリング海のような状態であったのかかもしれない。NAKAMURA *et al.* (1977) は、アリューシャン弧～ベーリング海の例から、縁海の拡大が火山弧の軸に沿って実際に生ずるかどうかは、島弧の火山帯が伸張場、圧縮場のいずれの下におかれているかによって決まると考えた。中新世の東北日本弧については、少なくとも前期中新世には、火山活動の卓越するグリーンタフ地域の多くが伸張場の下にあった。

NAKAMURA and UYEDA (1980) は、島弧では一般に、海溝から前弧、背弧域にかけて主応力の大きさが変化しながら、圧縮場から伸張場へ変化すると考えた。海溝から背弧域にかけて逆断層、横ずれ断層、正断層系と変化する中新世東北日本弧は、この一つの例と考えられる。

謝 辞

筆者が本研究を行うにあたっては、筑波大学地球科学系佐藤 正教授から終始御指導いただいた。茨城大学理学部地球科学教室天野一男博士、地質調査所小玉喜三郎博士、筑波大学地球科学系増田富士雄博士、東北大学理学部地質学古生物学教室大槻憲四郎博士からは、草稿を読んでいただき、有益な御意見・御批判をいただいた。また構造地質研究会のシンポジウム「東北日本の新生代テクトニクス」での講演にあたっては、茨城大学理学部地球科学教室天野一男博士、東北大学理学部地質学古生物学教室大槻憲四郎博士にたいへんお世話になった。これらの方々に厚くお礼申し上げる。

文 献

地質調査所, 1978: 100 万分の 1, 日本地質図.

DSDP LEG 56 STAFF, 1978: Transects begun. *Geotimes*, 23, 22 - 26.

藤田至則, 1973: 日本列島の成立——グリーンタフ造山——. 257 p. 築地書館, 東京.

HARDING, T. P., 1974: Petroleum traps associated with wrench faults. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 58, 1290 - 1304.

HILLS, E. S., 1972: Elements of structural geology. 502 p. CHAPMAN AND HALL LTD & SCIENCE, PAPERBACKS.

堀越 勲, 1975: 新生代造山運動と火山性鉱床のテクトニクス, 火山, 20, 特別号, 341 - 353.

IWAMATSU, A., 1975: Folding-styles and their tectonic levels in the Kitakami and Abukuma mountainous lands, northeast Japan. *Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec. II*, 19, No. 2, 95 - 131.

岩生周一・松井 貫, 1961: 5 万分の 1 地質図幅「平・川前」及び同説明書. 103 p. 地質調査所.

KARIG, D. E., 1971: Origin and development of marginal basins in the western Pacific. *Jour. Geophys. Res.*, 76, 2542 - 2561.

KATO, M., 1980: Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Takaku and Taga groups in the Joban coal-field, northeast Honshu, Japan. *Sci. Rep., Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, 50, 35 - 95.

- KAWADA, K., 1953: Geological studies on the Yamizo, Torinoko, and Toriashi mountain blocks and their neighbourhood in the northeastern Kwantō district. *Sci. Rep., Tokyo Bunrika Daigaku, Sec. C, 2*, No. 15, 217-307.
- 北村 信, 1959: 東北地方における第三紀造山運動について. 東北大地古邦報, 49, 1-98.
- , 1963: グリーンタフ地域における第三紀造山運動. 化石, 5, 124-137.
- , 柴田豊吉・上田 朗, 1955: 松川浦周辺地域の地質及び構造. 東北大地古邦報, 45, 84-96.
- 小松直幹, 1979: 常磐・北上沖の堆積盆地について. 石枝誌, 44, 268-271.
- 桑原 徹, 1981: 中新世における棚倉破砕帯の左横ずれ断層活動. 地質雑, 87, 475-487.
- LENSEN, G. J., 1973: Guidebook for excursion 10, central New Zealand. 76 p.
- 松田時彦, 1980: 新生代後期の地層群, 地球科学 15: 日本の地質 (勘米良亀齡, ほか編), 岩波, 143-194.
- MC GILL, G. E., and STROMQUIST, A. W., 1979: The grabens of Canyonlands National Park, Utah: Geometry, mechanics, and kinetics. *Jour. Geophys. Res.*, 84, 4547-4563.
- MITSUI, S., 1971: Studies on the mechanism of deformation of sedimentary rocks in the Iwaki area of the Joban coal field, Fukushima Prefecture. *Sci. Rep., Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, 42, 199-272.
- 中村一明, 1969: 島弧のテクトニクス 1 仮説. 日本地質学会第 76 年学術大会, 討論資料, 31-38.
- NAKAMURA, K., JACOB, K. H., and DAVIES, J. N., 1977: Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation—Aleutians and Alaska. *Pageoph.*, 115, 87-112.
- , and UYEDA, S., 1980: Stress gradient in Arc-Back arc regions and plate subduction. *Jour. Geophys. Res.*, 85, 6419-6428.
- 西田彰一・茅原一也, 1966: 西田川炭田地域の新第三系 (その 1)——層序・構造・火成活動——, 新潟大地鉱研報, 1, 31-51.
- OMORI, M., 1958: On the geological history of the Tertiary system in the southwestern part of the Abukuma mountainland, with special meanings of the Tanakura Sheared Zone. *Sci. Rep., Tokyo Univ. Educ., Ser. C, 6*, No. 50-51, 55-116.
- 大槻憲四郎, 1975: 棚倉破砕帯の地質構造. 東北大地古邦報, 76, 1-71.
- 斉藤登志雄, 1956: 茨城県那珂湊市付近の第三系. 茨城大学文理学部紀要 (自然科学), 6, 39-51.
- SAITO, T., 1961: The Upper Cretaceous system of Ibaraki and Fukushima Prefectures, Japan. Part I. *Bull. Fac. Art. Sci. (Nat. Sci.), Ibaraki Univ.*, 12, 103-144.
- 坂本 亨, 1975: 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 磯浜地域の地質. 55 p. 地質調査所.
- , 田中啓策・會屋龍典・野間泰二・松野久也, 1972: 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 那珂湊地域の地質, 94 P. 地質調査所.
- 佐藤 正, 1974: 鷲足・鷲子山地の二畳・三畳・ジュラ系, GDP 連絡紙, II-1-1(1)構造地質, No. 2, 41-50.
- 柴 正敏, 1979: 茨城県, 筑波変成岩類の層序と変成分帯. 岩鉱, 74, 122-135.
- 柴田秀賢, 1951: 八溝山地の花崗岩類. 地質雑, 57, 481-484.
- 柴田 賢, 峰須紀夫・内海 茂, 1973: 八溝山地の花崗岩類の K-Ar 年代. 地調月報, 24, 513-518.
- 島津光夫・徳永重元・小関幸治, 1963: 新潟・山形両県境小国・金丸地区ウラン鉱床——とくに周辺の地質について. 地調月報, 14, 103-118.
- 須貝貫二・松井 寛・佐藤 茂・喜多河庸二・佐々木実・宮下美智夫・河内英幸, 1957: 日本炭田図 I, 常磐炭田地質図および同説明書. 143 p. 地質調査所.
- SUGIMURA, A., MATSUDA, T., CHINZEI, K., and NAKAMURA, K., 1963: Quantitative distribution of late Cenozoic volcanic materials in Japan. *Bull. Volcano.*, 26, 125-140.
- 高浜信行, 1976: 朝日山塊西麓地域の第三系. 地質学論集, No. 13, 211-228.
- 竹内 章, 1979: 新潟県三川村西縁, 長谷断層 (仮称) の活動史について. 日本地質学会第 86 年学術大会, 講

- 演要旨, p. 378.
- TAKEUCHI, A., 1980: Tertiary stress field and tectonic development of the southern part of the northeast Honshu arc, *Japan. Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, 23, 1-64.
- 田宮良一, ほか16名, 1973: 5万分の1地質図「温見地域」, 及び同説明書, 24 p. 山形県.
- TCHALENKO, J.S., 1968: The evolution of kink-bands and the development of compression texture in sheared clays, *Tectonophys.*, 6, 159-174.
- 津川グリーンタフ団体研究グループ, 1979: 新潟県三川-津川地域におけるグリーンタフ盆地発生期の造構運動, *地質学論集*, No 16, 1-22.
- 恒石幸正, 1966: 阿武隈山地広野地域の地質構造, *東大地震研究所集報*, 44, 749-764.
- TSUNEISHI, Y., 1978: Geological and experimental studies on mechanism of block faulting, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 53, 173-242.
- 通商産業省, 1970: 昭和43年度広域調査報告書, 西会津地域.
———, 1971: 昭和45年度広域調査報告書, 東会津地域.
———, 1972: 昭和46年度広域調査報告書, 東会津地域.
———, 1973: 昭和47年度広域調査報告書, 東会津地域.
———, 1974: 昭和48年度広域調査報告書, 東会津地域.
- UYEDA, S., and KANAMORI, H., 1979: Back arc opening and the mode of subduction, *Jour. Geophys. Res.*, 84, 1049-1061.
- 渡辺岩井・牛来正夫・黒田吉益・大野勝次・砥川隆次, 1955: 阿武隈高原の火成活動, *地球科学*, No 24, 1-11.
- YABE, H., and AOKI, R., 1924: Mesozoic and Cenozoic history of the Abukuma plateau and its foreland along the Pacific coast, *Jap. Jour. Geol. Geogr.*, 3, No 3-4, 23-38.
- 山下 昇, 1970: 柏崎-銚子線の提唱, 島弧と海洋 (星野通平・青木 斌編), 東海大学出版会, 179-191.
- 八島隆一, 1962: 霊山層中の火山岩類(その2), *福島大学学芸学部理科報告*, No 11, 31-68.
- , 生出慶司, 1966: 東北表日本における中新世初期の火山作用と変質作用, *地団研専報*, No 12, 103-111.