

## 40. 栗島に発達する節理と断層

地震研究所 村井 勇

(昭和40年6月22日発表—昭和40年6月30日受理)

### まえがき

栗島は1964年6月16日に起こつた新潟地震の震央附近に位置する小島で、地震とともに著しく隆起した。地震直後現地に赴いて調査に当つた中村・笠原・松田(1964)により、隆起量は0.8~1.5mにおよび、島全体がN25°Eの走向をもつてWNW方向に約55''傾動したことが明らかにされた。また、松田・中村・恒石(1964)の地形および地質についての調査によれば、栗島に起こつた変動は、最近の地質時代に起こつた地殻変動の一般傾向によく一致しており、段丘面の傾斜や地質構造と調和的であるという。たまたま、海上保安庁水路部によりこの地域一帯において海洋測量が行なわれていたため、地震後ただちに再測量が行なわれて、地震に伴う海底の変動が明らかにされた。茂木・川村・岩淵・金田(1965)によれば、栗島海峡および栗島堆を含むNNE-SSWの方向に沿う広い区域が隆起し、この隆起区域の中央部から栗島にわたる海底に存在する3条のNNW-SSW方向の断層の中の1つが活動したことが明らかで、地震によつて栗島の地塊とその東の栗島海峡の地塊が隆起し、葡萄山地塊は逆に沈降したと解釈されるという。森本・木村(1964)によつて論ぜられている通り、新潟地域にはいくつかのNNE-SSWの山塊列、背斜列が存在し、栗島周辺の地塊は構造的に角田・弥彦山塊に連続する可能性があり、このような地質構造上の特徴は地震に伴つて起こつた変動と密接な関連性を持つていると考えられる。今回の地震は顕著な地盤災害の実例を示したといふ点で注目されるが、また、ここに述べたように地質構造と地変との関連性についての貴重な資料を与えたといふ点でも重要視されなければならない。このような観点から、地震地域一帯の地質構造を詳しく調査して、最近の地質時代に起こつた構造運動の様相を明確にし、新潟地震の構造地質学上の解釈のためのなんらかの資料を得ようと考え、栗島およびその対岸地域において微細構造についての調査を行なつた。

調査は最初地質調査所からの依嘱により、科学技術庁の新潟地震防災総合研究の一環として同所が分担した課題の一部を担当して行ない、栗島対岸地域および新潟平野地域を昭和39年11月26~12月5日の10日間および昭和40年3月5日~19日の15日間にわたつて調査した。この調査後、震央に最も近い栗島の構造についても調査を行なう必要が生じ、5月11日より24日にわたつて栗島および対岸地域をあらためて調査した。この報文では、栗島における調査結果を主として述べ、対岸地域の概略を付記して説明したいと考える。対岸地域および新潟平野地域については、資料を整理中であり、さらに調査を必要とする点も多く、その詳細は、科学技術庁の総合研究の報告書あるいは別の機会

にまとめて発表する予定である。

粟島の調査にあたつて種々御教示をいただいた森本良平教授に謝意を表する。地質調査所の須貝貫二博士、佐藤茂博士には種々御便宜を計つていただいたことを感謝する。また調査にあたつて御助力をいただいた現地の多くの方方、および図版の製作に協力された岡田桂子娘、太田桂子娘に感謝する。

### 粟島およびその附近の地質・地形

粟島の地質・地形については松田・中村・恒石（1964）の報告がある。島は主に第三紀層の頁岩（新潟平野の七谷層に対比されている）と、これを貫く粗粒玄武岩から成つている。地質構造は、島の延長方向に走向をもち WNW に  $10\sim20^\circ$  傾く単斜構造であるが、局部的に NNE～NE 方向に軸をもつたゆるい褶曲と断層が発達する。また、やや顕著な断層が北東海岸のショーノミヤと釜谷北の丸山浦にあり、連続する断層の南北両部分にあたるかもしれないと解釈されている。島の中東部に基盤の花崗岩が露出し、この部分を中心にして第三紀層はゆるい半ドーム状の構造をもつて分布している。

粟島は N  $30^\circ E$  の方向に長く伸びた面積  $9.5 \text{ km}^2$  の小島で、海岸線はほとんど急崖でとりかこまれている。顕著な 2 段の海岸段丘が発達しており、その内の高位段丘（牧平面、高さ  $50\sim70 \text{ m}$ ）は最終間氷期 ( $8\sim9 \times 10^4$  年前) に形成されたと推定され、WNW に  $2^\circ +$  傾斜している。このほか  $95\sim100 \text{ m}$ ,  $200+\text{m}$  の段丘面があり、それぞれ  $3^\circ$  と  $4^\circ$  + 同方向に傾いている。低位段丘は海蝕崖の下部に附着して数 m ほどの幅で一様に分布し、とくに東岸の内浦部落附近で発達が著しい。また粟島周辺の海域には、粟島の長軸の方向と同様の走向をもち WNW に傾いた平坦面（波蝕面）が  $25 \text{ m}$  ほどの深さに分布していることが海底調査により知られており、約 10 万年前以来 WNW に傾動するような運動が続いていると考えられている（Nakamura, et al., 1964）。

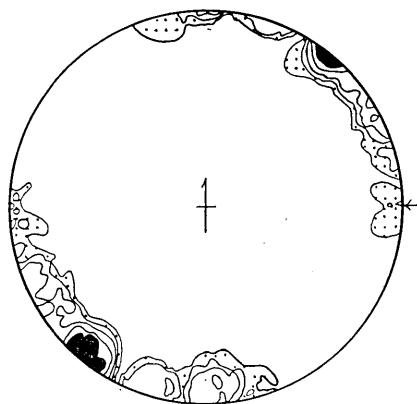
茂木・川村・岩淵・金田（1964）によれば、粟島附近の海域には NNW の方向に伸びる多数の堆が水深  $700\sim1,000 \text{ m}$  の海底から  $600\sim700 \text{ m}$  の比高をもつて並んでいるが、その東側面は急斜面を有し、頂部は約  $120 \text{ m}$  の深さの波蝕面（最終氷期の海面低下の時期に形成されたもの）で、いずれも NW に傾いているという。このような地形から、東側の断層によつて限られた傾動地塊または地壘構造で、過去 2 万年以降西方に傾動するような地塊運動があつたものと解釈されている。粟島自体は幅  $5 \text{ km}$ 、長さ  $25 \text{ km}$  の NNW-SSW の方向にのびる浅堆の一部が海面上に現われたもので、その東側の海底の数カ所に断層と思われる NNE-SSW の走向の急斜面があり、その中の 1 つ S<sub>3</sub> は地震に伴つて確実に変位を示したという。断層があると考えられる位置には海底の平坦面上に数 m の喰い違いが認められ、いずれも東側が西側に対して相対的に落ちている。東大海洋研究所および地質調査所で行なつたスパークー調査の結果、それぞれの位置の地下に断層または撓曲構造が存在することが確かめられた（奈須・加賀美・本座、1964；加賀美、1965；早川・鎌田・細野・伊藤、1965）。すなわち、粟島を中心にして NNE-SSW の軸の背斜軸が海底下に存在し、その東側は断層によつて切られている。海底地形より推定さ

れた断層  $N$  および  $S_1$  はこの断層に相当する。粟島の東沖には第三系が海底に露出しあるいは海底下浅所に分布する隆起地塊があり、 $S_2$  はその地塊の東縁を切る断層に当る。地震研究所による重力測定でも断層  $S_3$  の位置で重力異常値の局地的異常を認め、断層構造のためと解釈された（笠原、1964）。 $S_3$  より東側には新潟平野下より続く地向斜状の構造が NNE の方向にのび、現世堆積物が厚く堆積している。粟島の南西方には馬ノ背の浅堆（深さ約 100 m）があり、約 30 km ほど SSW にのびている。この東側には深さ約 130 m の盆地状の海底が広がり、この海底面は新潟平野の沖積層の基底面に続くもので、後氷期の海面上昇のため現在の深度に水没したものと解釈されている（井関、1956）。

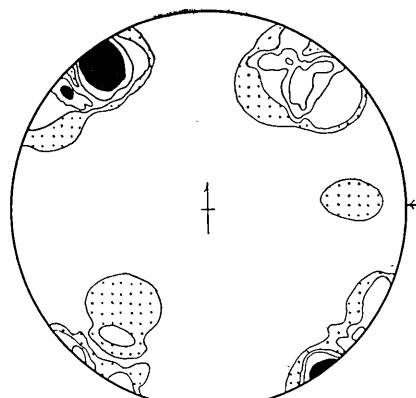
粟島の対岸地域には、花崗岩、古生層と、それをおおう第三系よりなる葡萄・高根山塊が NNE-SSW 方向に連なつていて、この地域は秋田と新潟の 2 つの新第三紀堆積盆地にあつて、中新世の海進期をのぞけば、長い間陸地の状態を続けていた隆起帶であると解釈されている。NNE-SSW 方向の断層が発達し、この方向に延びる地塊列により構成されているが、これに斜交する NW-SE 方向の断層の発達も著しい。この NW-SE 方向の構造は、古い構造として東北地方一帯に認められるものと共通の構造と考えられている。この地域北側の庄内平野南部に分布する新第三系については、棚井（1951）、清水・長浜・鈴木（1952）、茅原（1958）らの調査があり、茅原はこれを下位より温海層群、上郷累層および鼠ヶ関層に区分した。温海層群は佐渡の相川層、秋田の西男鹿層にだいたい対比され、ほとんど陸成層である。次の上郷累層は新潟地方の岩船・津川層、秋田の台島・西黒沢層に相当するものとされている。上郷累層最上部と鼠ヶ関層は七谷層に当る硬質頁岩で、厚い粗粒玄武岩の岩床が貫入しており、粟島に分布する地層と対比される。これらの新第三系は全体として NNE-SSW の方向に走向を有し WNW に傾斜する単斜構造を示すが、局部的に小規模な褶曲が発達し、また断層によって切られている。特に庄内平野に接する鶴岡西方の丘陵地では NNE～NE 方向の褶曲構造と断層の発達が著しい。葡萄・高根山塊の南部に分布する第三系の岩船層の層序は完全に知られてはいないが、大部分陸成層よりなり、だいたい佐渡の杉野浦層に相当すると考えられている。さらに南方の新潟平野北縁部には、花崗岩を中心として、津川層・七谷層・寺泊層・西山層・灰爪層・矢代田層が西方に向つて順次重なつて分布している。新潟地域では、これら新第三系は NNE-SSW の軸をもつ波状褶曲を示し、同方向の多数の断層によつて切断されている。

#### 粟島に発達するわれめ系

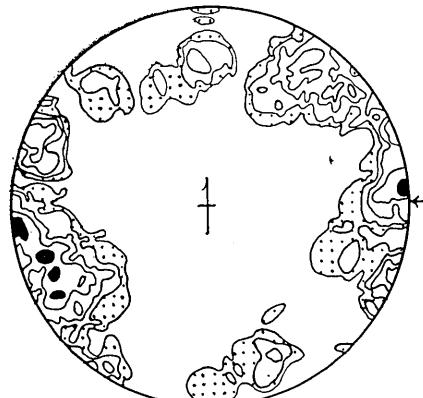
粟島の新第三系と花崗岩について、その中に発達する各種の破断構造、すなわち“われめ fracture”を統計的に調査した。その方法の詳細については省略するが、一定地区内の同一の地質的単元に属する露頭について、各種のわれめを無作為的に数 10 個以上抽出して測定し、そのわれめ面の極の方位をショミット網（正積球面投影網）上に投影して、そこに現われる投影点の集合の模様を書き、その図型をもつて、その地区内のわれめ系 fracture system の状態を代表させるという方法を用いた（村井、1955）。このような方法によつて粟島内の数カ所の露頭につき調査した結果を次に述べる。



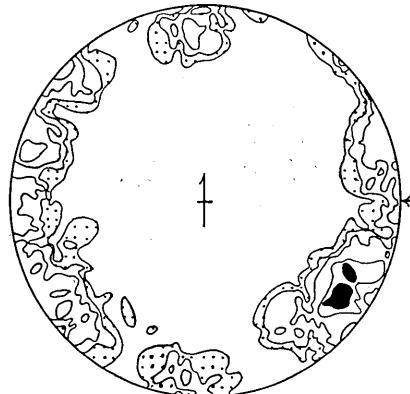
第1図 栗島、内浦南ハゲノ浜で測定した頁岩中のわれめ面の極39個の2%図型。0-5-7.5-10-15.5-(20.5-25.5) %.



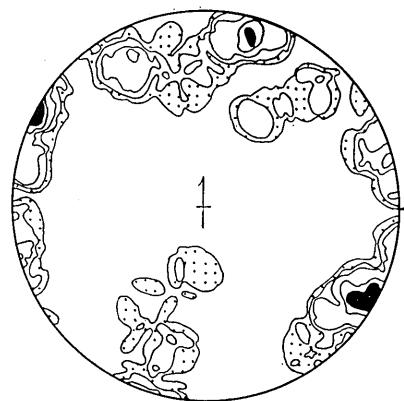
第2図 栗島、内浦南ハゲノ浜で測定した基底礫岩中のわれめ面の極23個の4%図型。0-8.5-13-17.5-(21.5-26) %.



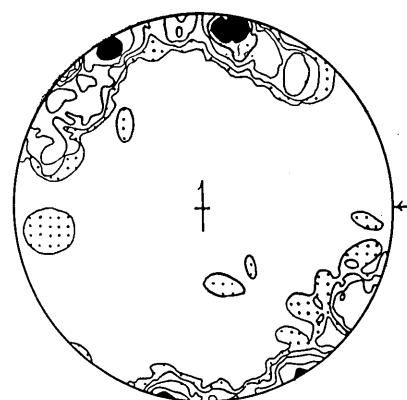
第3図 栗島、内浦～旗崎間で測定した頁岩中のわれめ面の極70個の2%図型。0-3-4.5-5.5-7-(10-11.5) %.



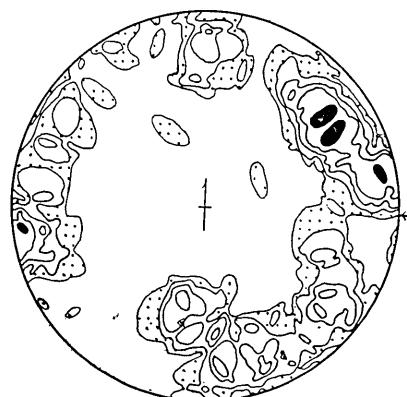
第4図 栗島、旗崎～ショーノミヤ間で測定した頁岩中のわれめ面の極74個の2%図型。0-2.5-4-5.5-8-(11-13) %.



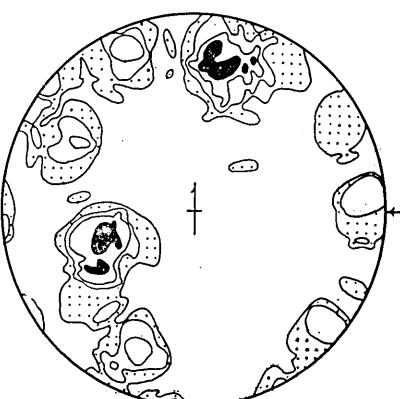
第5図 栗島、釜谷で測定した頁岩中のわれめ面の極64個の2%図型。0-3-4.5-6-9.5-(12.5-15.5) %.



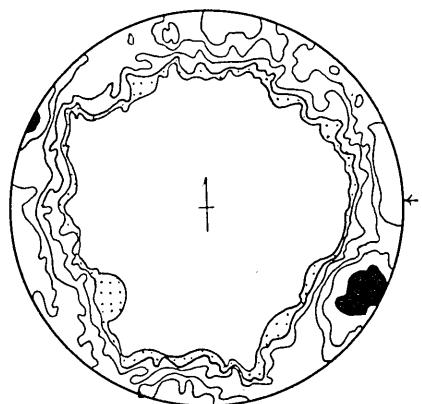
第6図 栗島、釜谷北丸山浦で測定した頁岩中のわれめ面の極61個の2%図型。0-3.5-5-6.5-10-(13-16.5) %.



第7図 栗島、内浦北で測定した粗粒玄武岩中のわれめ面の極59個の3%図型。0-3.5-5-7-8.5-(12) %.



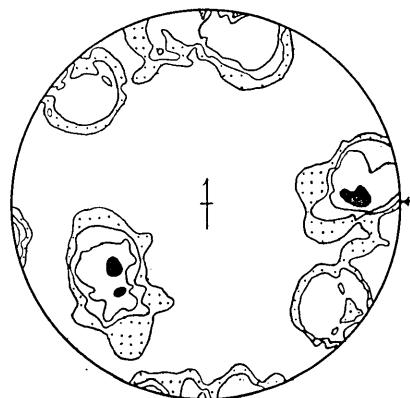
第8図 栗島、旗崎で測定した粗粒玄武岩中のわれめ面の極42個の3%図型。0-5-7-9.5-(12-14) %.



第9図 栗島の頁岩中に発達する顕著な節理面の極 139 個の 2 % 図型。0-1.5-2-3-4.5-6-(8.5-11.5) %。



第10図 栗島の新第三系中に発達する断層性のわれめ面の極 61 個の 3 % 図型。0-3-5-6.5-(10-15) %。



第11図 栗島、内浦南ハゲノ浜で測定した花崗岩中のわれめ面の極 33 個の 4 % 図型。0-6-9-12-(18-21) %。

粟島に分布する頁岩中には頗著な節理が発達している(第1, 2, 3, 4, 5, 6, 9図)。その方位性は、地層の走向方向および褶曲軸の方向 NNE-SSW と密接な関係があり、節理面の走向がこれに平行するもの、垂直なもの、および斜交するもの1対のいずれも直立する3つの要素が認められる。ただしかなり部分的に変化があり、特にショーノミヤおよび釜谷北のやや大きな断層に沿う部分では断層の影響が強く現われていて、構造の乱れが認められる(第4, 6図)。粗粒玄武岩はかなり頗著な柱状節理を示し、これと造構運動によつて生じたわれめとを露頭面上で区別するのが困難な場合もある。いちおう、明瞭な柱状節理を除いて測定して結果をまとめると、われめ系の全体の特徴は頁岩中のものとほぼ共通するようである(第7, 8図)。ただし、柱状節理と同一方位のわれめ面も現われており、われめ系の発達が既存の柱状節理の影響を受けていることも考えられる。

これら的新第三系を切つて発達する断層系はかなり複雑で、調査資料が少ないと細かな検討ができない。しかし概観したところでは、節理系に対応するいくつかの要素が認められる(第10図)。すなわち NNE-SSW 方向に斜交するほぼ直立した1対のもの、NNE-SSW の方向に走向をもち高角度で傾斜する1対のもの、および NNE-SSW 方向にほぼ直交した走向をもち高角度で傾斜した1対のものなどが認められる。このほか E-W の走向をもつ低角逆断層や NW-SE の方向に走向をもち NE に傾斜するものが存在するようであるが、あまり明瞭でない。

内浦南のハゲノ浜に露出する花崗岩および第三系基底礫岩については、露頭の面積がきわめて狭いため明瞭な結果は得られなかつた(第2, 11図)。少数の測定結果より画いた図型によれば、花崗岩中には、ほぼ N-S, E-W および NE-SW の走向をもち、直立ないし高角度で傾斜するわれめが認められる。これらの内 NE-SW および NW-SE の走向をもつものは、露頭面上で上に重なる新第三系の基底礫岩中に続いている断層性のわれめである。基底礫岩中では NE-SW の走向をもちほとんど直立するものと、NNE の方向に直交するものの2組のわれめ系が頗著となる。

以上に述べてきたような粟島に発達するわれめ系は、ハゲノ浜を中心とする新第三系の半ドーム構造に対応して発達している。地層の走向および褶曲軸の方向 NNE-SSW と密接な関係をもつており、この方向に主応力軸の1つが位置し、これに直交する垂直および水平方向に他の2つの主応力軸が位置するような応力状態のもとで形成されたものと解釈することができる。後節で簡単に述べるが、粟島対岸地域および新潟、庄内地域一帯のわれめ系を調査した結果、これらのわれめ系は褶曲構造を完成させた造構運動の主要期よりも後の時期に形成されたものではないかと解釈されるが、その発達の間にあつても、3つの主応力軸の位置が時期的に互いに入れ変わつたものと考えられる。古くから多くの学者によつて説かれているように、地層中の節理・断層などのわれめの形成条件については Coulomb, Mohr の説が一般に適用され、大きくわけて shear fracture と tension fracture の2つの場合が普遍的に認められ、前者においては一対の fracture の交線の方向に中等主応力軸  $\sigma_2$  が、交角の鋭角の方を二等分する方向に最大主応力軸  $\sigma_1$  が位置するような応力条件を、後者においては fracture に垂直な方向に最大主応力軸  $\sigma_1$  が位置

するような応力条件を考えることができる。このように考えた場合、粟島に発達するわれめ系は3つの異なる応力条件の組み合せによつて解釈することが可能である。すなわちその1つは、NNN-SSW の方向に  $\sigma_3$ 、それに直角な WNW-ESE の方向に  $\sigma_1$  が位置する条件下で生じた shear joint と fault、いま1つは NNE-SSW の方向に  $\sigma_3$ 、それに直角な WNW-ESE の方向に  $\sigma_2$  が位置する条件下で生じた tension joint と shear fault、そのほかに、NNN-SSW の方向に  $\sigma_2$ 、それに直角な WNW-ESE の方向に  $\sigma_3$  が位置する条件下で生じた tension joint と shear fault の3つの場合の組み合せとして解釈される。前の2つの場合の  $\sigma_3$  の方向は、ハゲノ浜で N 30°~35°E、釜谷で N 15°E、ショーノミヤで N 40°~45°E となつていて、半ドーム構造によく対応する。これに対して最後の場合の  $\sigma_3$  は上記の3地区でいずれも N60°W で変化がない。このように異なる応力条件が構造運動のどの時期にどのように作用し、どのような地質的環境のもとで節理や断層が形成されたかは、今後さらに詳しい調査を行なつて解析していかなければならない問題である。このような問題に対して Price (1959) は post-tectonic joint の説を提唱して論じているが、粟島および対岸地域一帯に発達するわれめ系について、あるいは同じような考え方方が適用し得るかもしれない。この問題については別の機会に論じることにしたいと思う。ここでは単に粟島に発達するわれめ系が、上に述べたような3つの異なる応力条件の組み合せによつて解釈されることを指摘するだけに留めることにする。ただし、対岸地域における調査資料によれば、この3つの応力条件は、最初のものが最も初期に、次のものが中期に、そして最後のものが後期に主として作用したと考えられるような可能性がある。なお、花崗岩中のわれめ系の一部に見られる NW-SE の走向をもつものは古い構造である可能性が強いが、新第三系中にもいく分その影響があらわれているようである。

#### 対岸地域に発達するわれめ系との関係

粟島対岸の本土側の地域に発達するわれめ系については別の報文（村井、1965）に説明してあるが、その詳細は新潟地震地域全般の構造調査を行なつたのちに報告したいと考えている。ここでは粟島のわれめ系と比較対照するためにその概略を説明することにする。

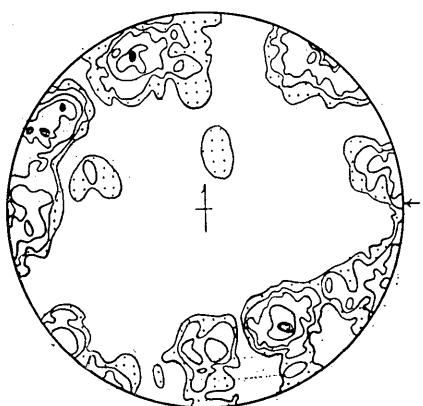
新第三系中に発達するわれめ系は粟島の新第三系中のものと共通の性質を示している（第 12, 13, 14, 15 図）。すなわち地層の走向および褶曲軸の方向（NNN-SSW）と密接な関係があり、この方向に垂直な節理系と平行で直立する節理系の発達が顕著に認められるほか、この方向に斜交しほぼ直立する1対の節理系と断層系があり、さらに NNE-SSW 方向に走向をもち高角度の傾斜を示す1対の断層系と NNE-SSW 方向に直角な方向（WNW-ESE）に走向をもち高角度の傾斜を示す別の1対の断層系が目立つ。これらのわれめ系の様相は粟島において認められるものと全く共通であるばかりでなく、庄内平野周辺部や新潟平野部に分布する新第三系中のわれめ系のすべてに共通して認められるものである。その節理系のほとんどすべてのものが直立しており、地層の傾斜角の大きさや褶曲構造の各部の傾斜角とほとんど関係なく、ただ地層の走向および褶曲軸の方向とのみ密接



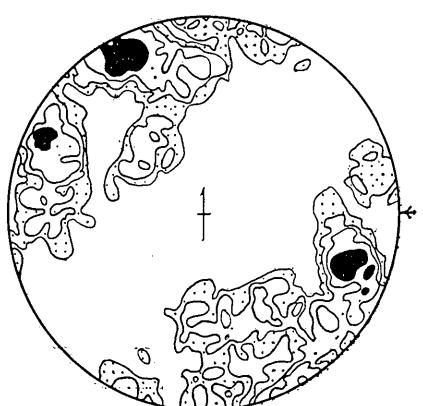
第12図 粟島対岸地域、鶴岡～温海間に分布する新第三系堆積岩層中に発達する顕著な節理面の極 151 個の 2 % 図型. 0-1.5-2.5-4-6.5-(9.5-12) %.



第13図 粟島対岸地域、鶴岡～温海間に分布する新第三系中に発達する断層性われめ面の極 149 個の 2 % 図型. 0-1.5-4-5.5-(7.5-8.5) %.



第14図 粟島対岸地域、温海～勝木間に分布する新第三系堆積岩層中に発達する顕著な節理面の極 72 個の 2 % 図型. 0-3-4-5.5-8.5-(9.5-11) %.



第15図 粟島対岸地域、温海～勝木間に分布する新第三系中に発達する断層性われめ面の極 77 個の 2 % 図型. 0-2.5-4-5-(8-11.5) %.



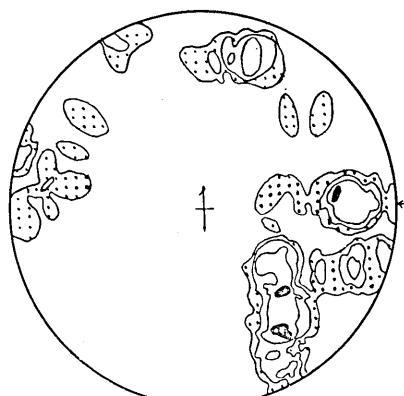
第16図 栗島対岸、勝木～早川間の海岸沿いの地域で測定した花崗岩中の顯著な節理面の極 241 個の 2 % 図型。0-1-1.5-2.5-3.5-4-(6-7.5) %.



第17図 栗島対岸、勝木～早川間の海岸沿いの地域で測定した花崗岩中の断層性われめ面の極 137 個の 2 % 図型。0-1.5-2-3-4.5-6-(7.5-11) %.



第18図 温海、一霞、小名部、鍋倉、木の俣で測定した花崗岩中の顯著な節理面の極 85 個の 2 % 図型。0-2-3-4-6-(8-9) %.



第19図 温海、一霞、小名部、鍋倉、木の俣で測定した花崗岩中の断層性われめ面の極 48 個の 2 % 図型。0-2-3-4-(6-8) %.

な関係を有することから、その主な形成時期は褶曲構造の完成直後ではないかと考えられる。粟島対岸においては、最下部の温海層群より最上部の七谷層相当の鼠ヶ関層まで共通のわれめ系が発達しており、新潟平野部においては、岩船・津川・七谷層より灰爪・魚沼・矢代田層に至るまで共通の性質を示している。褶曲構造や断層の形成は灰爪期末より始まり魚沼期後まで続いて完成したと考えられるから（望月央、1962），われめ系の発達も恐らくこの運動に関係し、ごく最近の地質時代に起つたものと考えられる。

蒲萄山塊の花崗岩中に発達するわれめ系はきわめて複雑であつて容易に解析できないが、だいたいにおいて新第三系中のわれめ系と共通と考えられるものと古い構造との入りまじつたものとして解釈される（第 16, 17, 18, 19 図）。粟島対岸の海岸沿いの地域の花崗岩は、とくに破碎構造が著しく複雑な構造を示すが、北方に延びる部分では第三系中のわれめ系とよく対応した構造を示す。この花崗岩に接して分布する新第三系は地塊化が著しく、われめ系の様相は花崗岩中の構造を反映して乱れ、地塊ごとに変化を示すような傾向が見られる。庄内平野縁辺部の新第三系の構造と、南方の花崗岩に接する部分の新第三系の構造との間にはこのような点で多少の差異が認められる。また、新潟平野縁辺部の新第三系と、東方の地塊上に分布する新第三系との間にはさらに著しい差異が認められるようである。これらの点については調査をさらに進めた上であらためて論じたいと思う。

### おわりに

以上に述べてめたように、粟島の新第三系中には顕著なわれめ系の発達が認められ、それは、対岸地域および新潟・庄内平野地域に分布する新第三系中のわれめ系と全く共通の様相を示している。われめ系はいくつかの要素の組み合せより構成されているが、そのおのが地層の走向および褶曲軸の方向である NNE-SSW の方向と密接な関係にあり、この方向に主応力軸の 1 つが位置し、これに垂直な平面内の水平および鉛直方向に他の 2 軸が位置するような応力条件のもとに形成されたものと解釈される。形成の主要時期はおそらく新第三系の褶曲構造の完成直後で、鮮新世末～更新世を中心として起つた造構運動に直接関係するものと考えられる。われめ系の各要素の形成条件を考えると、3 つの異なる応力条件が必要で、主応力軸の方位は変らず、 $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  の位置が互いに入れかわつたものとして解釈される。おそらく、褶曲構造の完成後造構帶全域に隆起運動が起り、同時に地表上では削剝作用が働き、側方からの変形力は変化し、埋積による荷重は減少し、残留応力は消滅するなどのため、主応力軸の方位は不变のまま、各軸の主応力の大きさが変化していく結果と考えられるが、詳しい検討を行わなければその実相は解明できない。いずれにせよ、NNE-SSW の方向が、粟島を中心とする広範囲な地域一帯の地質構造を支配していることはすでによく知られており、今回の地震に伴つて起つた変動もこの方向に支配されているが、粟島および対岸地域一帯に発達する微細構造の解析結果も同様に NNE-SSW の方向的重要性を明確に示している。新第三系のわれめ系が広範囲な地域にわたつて一様であり、かつ褶曲軸の方位と密接な関係をもつことは、褶曲構造およびこれらの微細構造が基盤の無秩序な差別的運動の反映ではなくて、広範囲にわたつて一様に働

いた NNE-SSW, WNW-ESE および鉛直の 3 方向を主軸とする応力条件の下に形成されたことを示すものといえる。そして、古期岩層および花崗岩よりなる基盤は、そのような応力下で既存の構造に沿つて動きはじめ、しだいに上にのつた新第三系をも切つて顕著な地塊構造を生じたものと解釈できよう。このような地塊運動は栗島対岸を中心とする地域全般にわかつて発生した隆起運動に伴つて起こり、NNE-SSW 方向の断層系がその際重要な役割を演じたものと考えられる。これらの地域に発達する諸構造のうち特に今回の地震による変動と関係のあるのはこの NNE-SSW 方向の断層系で、栗島東沖の海底で明瞭な変位の認められたものもこの方向の断層である。

### 文 献

- 茅原一也 「加茂・飛島地質報告」石油資源開発社内報告 (1958).
- 早川正巳, 鎌田清吉, 細野武男, 伊藤公介 「新潟地震の震央付近における音波探査」地質ニュース 129 号 (1965), 1~11.
- 井関弘太郎 「日本周辺の陸棚と沖積統基底面との関係」名古屋大学文学部研究編集 14 (1956), 85~102.
- 加賀美英雄 「地下を映す一音波探査」*Energy* 2 (1965), No. 2, 10~11.
- 笠原慶一 「重力異常」科学読売 (1964), (12月号), 31~34.
- 松田時彦, 中村一明, 恒石幸正 「栗島の地質—新潟地震との関連」地震研究所研究速報 8 (1964), 91~98.
- 望月 央 「新潟県下の新第三系の石油地質学的考察」石油技術協会誌 27 (1962), 347~375.
- 茂木昭夫, 川村文三郎, 岩淵義郎, 金田一夫 「新潟地震による栗島付近海底の変動について」海上保安庁水路部新潟地震調査報告 (1965), 1~19.
- 森本良平, 木村敏雄 「新潟地震の地質学的背景」地震研究所研究速報 8 (1964), 67~72.
- 村井 勇 「福井平野周辺地域の地質構造解釈」地震研究所研究速報 33 (1955), 121~151.
- 村井 勇 「村上—鶴岡間の地域の構造解釈」地質調査所月報 16 (1965), (印刷中).
- 中村一明, 笠原慶一, 松田時彦 「新潟地震による栗島の地変」地震研究所研究速報 8 (1964), 67~72.
- Nakamura, K., Kasahara, K., and Matsuda, T. "Tilting, and uplift of an island, Awashima, near the epicentre of the Niigata Earthquake in 1964" *Jour. geod. Soc. Japan* 10 (1964), 165-179.
- 奈須紀幸, 加賀美英雄, 本座栄一 「震源地付近の海底地下構造」科学読売 (1964), (12月号), 27~30.
- Price, Neville J. "Mechanics of jointing in rocks" *Geol. Mag.*, 4 (1959), 149~167.
- 清水 勇, 長浜春夫, 鈴木 泰 「山形県西田川炭田山良・三瀬・小波渡地区調査報告」地質調査所報告 48 号 (1952), 17 p.
- 棚井敏雄 「山形県西田川炭田北部の地質構造, 庄内平野周辺地域の地史学的研究(その 1)」地質学雑誌 57 (1951), 157~170.

*40. Fracture Systems developed on the Island, Awa-shima,  
near the Epicenter of the Niigata Earthquake in 1964.*

By Isamu MURAI,  
Earthquake Research Institute.

On June 16, a destructive earthquake occurred off the coast of Niigata. The epicenter was located on the spot about 10 km off the southwest of a small island, Awa-shima. The magnitude was estimated as  $7.5 (\pm 0.2)$ , causing serious damage on a wide area of the northern half of Niigata Prefecture and the southern part of Yamagata Prefecture. The earthquake was named after the town of Niigata City which suffered by destructive damage, especially on land consisting of soft ground, despite the distance being about 40 km from the epicenter. Besides, it was noticed that distinct land deformation occurred on a wide area around the epicenter extending in an elongated shape in a NNE-SSW direction roughly parallel to the coastline from the northern part of Niigata Pref. to the southern part of Yamagata Pref., causing a tsunami along the coast of the Japan Sea from Akita to Naoetsu. The sea floor to the east of Awa-shima upheaved to 5 m at the time of the earthquake. Awa-shima itself was up-lifted about 1 m and tilted west-northwestward by  $1'$ . Under the sea floor of the upheaved area the occurrence of several faults was inferred from the result of the survey of submarine topography, one of which was proved to have been displaced by the earthquake. To the east of the upheaved area, there was found an area of subsidence near the coast of the opposite land. Such land deformation and fault displacement occurred in concordance with the geological structure in the region of Awa-shima and its surroundings and the opposite land area. The writer wanted to clarify the nature of the tectonic movement which occurred in recent geological times, and carried out a statistical survey of fracture systems developed in the Neogene formations and granites on Awa-shima as well as the opposite land area of the northern part of Niigata Pref. and the southern part of Yamagata Pref., in order to obtain some available data to decipher the geotectonical significance of the Niigata Earthquake. In this report he represents the result of the survey on Awa-shima, adding the result of survey on the opposite land area.

The fracture system developed in the sedimentary rocks on Awa-shima consists of several elements of fractures. Each element of fracture shows a definite orientation closely relating with the direction of NNE-SSW, which corresponds with the direction of general strike of strata and that of folding axes as well as the direction of the elongating axis of the island. This also coincides with the strike direction of tilting which occurred as a result of the earthquake. A pair of vertical shear joints and faults orientated diagonally to the direction of NNE-SSW, vertical tension joint perpendicular to the direction of NNE-SSW and a pair of steeply inclined faults with the strike of WNW-ESE, and vertical tension joints parallel to the direction of NNE-SSW and a pair of steeply inclined faults with the strike of the same direction. It can be interpreted that these elements of fractures were developed under the stress condition in which the principal stress axes were situated in the direction of NNE-SSW, WNW-ESE, and the vertical direction. The situation of maximum, intermediate and minimum principal stress axes interchanged with each other during the progress of tectonic movement in this region. The detail course of the tectonic development may become distinct by

further researches of fracture systems on the whole region. Among every element of fracture system on Awa-shima and the opposite coastal area, the fault system with the strike of NNE-SSW is one of the major structures in this region and is considered to be most recently active. This may take on an important role in the land deformation by the Niigata Earthquake.