

## 四国における中央構造線の断層ガウジの K-Ar 年代

柴田 賢\* 中島 隆\* 寒川 旭\*\* 内海 茂\* 青山秀喜\*\*\*

SHIBATA, K., NAKAJIMA, T., SANGAWA, A., UCHIUMI, S. and AOYAMA, H. (1989) K-Ar ages of fault gouges from the Median Tectonic Line in Shikoku. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 40 (12), p.661-671.

**Abstract :** The nature and K-Ar ages were determined on fine-fractions ( $<2\mu\text{m}$ ) extracted from 15 fault gouges at outcrops of the Median Tectonic Line (MTL) in Shikoku. Most of the fine-fractions consist mainly of mica clay mineral, of which mineralogical properties such as basal spacing and illite crystallinity index are closely correlated.

K-Ar ages of 19 fine fractions of fault gouges range from 10 to 77 Ma. Several fine fractions composed mainly of mica clay mineral give ages of about 60 Ma, whereas a few give ages of 35-45 Ma. The ages of gouges derived from felsite dikes intruding along MTL are 10-12 Ma, indicating that the gouges were formed soon after the intrusion of dikes. The ages of fault gouges are interpreted to represent the times of hydrothermal alteration following the major fault movement of MTL. Accordingly, the activity of MTL in Shikoku may have started as early as in the early Paleogene. The ages of gouges, however, were not rejuvenated by the fault movement of MTL characterized by right-lateral displacement in the late Quaternary.

The Sambagawa pelitic schists near MTL at the Urayama River give K-Ar muscovite ages of 70-77 Ma. Only slight decrease in age is noticed for a sample closest to MTL.

## 1. はじめに

断層の活動性を評価する基本的な方法は、地形調査や地質調査であるが、これらを補う手段として、近年断層周辺の岩石や断層ガウジの同位体年代を直接求める試みがなされている。断層ガウジの年代測定は LYONS and SNELLENBURG (1971) によって初めて試みられ、自生の雲母粘土鉱物による K-Ar 年代から、断層活動の時期推定の可能性が指摘された。KRALIK *et al.* (1987) も東アルプスの断層ガウジの Rb-Sr, K-Ar 年代測定により、断層の活動時期を推定した。わが国における例としては、長野・三重・奈良県の中央構造線 (以下 MTL) の断層ガウジについて年代測定が行われ、MTL の主要な活動時期が推定された (柴田・高木, 1988; 柴田ほか, 1988; 高木ほか, 1989)。

筆者らは原子力特研「精密年代測定による断層活動性評価の研究」の一部として、四国の MTL の断層露頭の調査を実施し、特に断層ガウジの性質の検討と K-Ar 年代測定を行ったので、以下にその結果を報告し、MTL の

活動時期について考察する。

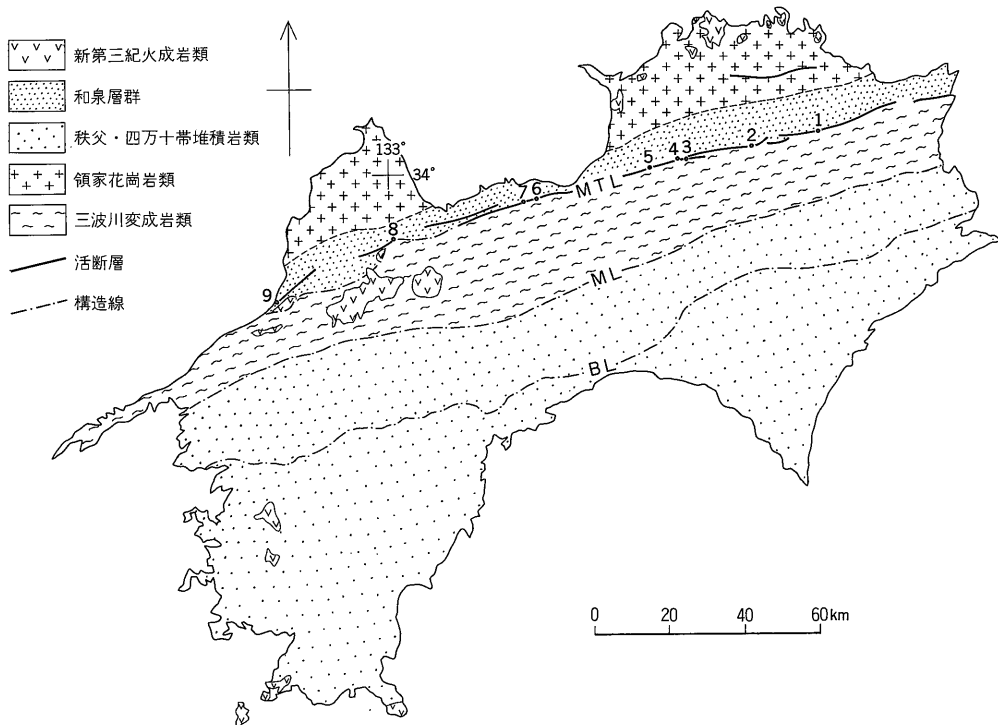
## 2. MTL の断層露頭と試料

四国の北部を縦断して東北東-西南西方向に MTL が走っている (第 1 図)。これを境に、南側 (外帯側) には三波川帯の結晶片岩類、北側 (内帯側) には上部白亜系和泉層群の泥岩・砂岩が分布する。また四国中央部-西部では、MTL に沿って酸性岩岩脈の小規模な貫入が点々とみられる。四国では、紀伊半島や長野県の場合と異なり MTL 付近の岩石のマイロナイト化はほとんど認められない。

活断層系としての MTL は長さ 30 km 以内の活断層の集合体である。四国における新しい断層活動は鮮新世末期頃が始まっているが、第四紀中頃から右横ずれ成分の卓越する MTL 活断層系としての活動が新たに生じて現在に至っている。個々の活断層に沿って河谷や段丘崖の右ずれ方向への屈曲、段丘面の切断などの変位地形が鮮明に残っており、断層活動の著しさを物語っている。

四国東部の吉野川北岸地域は、その東半部では活断層系が発達し、北側が上昇する垂直変位を示す。その西半部から愛媛県西条市にかけては、地質境界としての

\* 地殻化学部 \*\* 近畿・中部地域地質センター  
\*\*\* 地質標本館



第1図 四国の地質構造図(佃ほか, 1982)と MTL 断層ガウジの採取位置

- 1:井出口, 2:荒川, 3:昼間, 4:州津, 5:下馬路, 6:浦山川, 7:井の上, 8:湯谷口, 9:高野川, ML:御荷鉾構造線, BL:佛像構造線

MTL に沿う活断層が発達している。西条市以西では、活断層はすべて和泉層群中に発達し、垂直変位の方向も不定である。

断層ガウジの研究に用いた試料は、徳島県阿波町から愛媛県伊予市にいたる9ヶ所の MTL 露頭から採取した。試料の採取位置を第1図に示した。以下に露頭の観察と試料について記す。

(1) 井出口

徳島県阿波郡阿波町井出口 (34°6.1'N, 134°15.0'E)

岡田 (1970) の父尾断層に沿う明瞭な断層変位地形が発達している。断層露頭のみられた地点の3 km 東では、低位段丘面が北上りの変位を受け、段丘崖が右ずれ方向にくい違っている(岡田, 1970)。断層露頭は、和泉層群が第四紀の砂礫層(最大礫径 20 cm)と、走向 E-W, 垂直で接しており、断層面から約 40 cm の幅で、砂礫層が著しいひきずりを示している。試料 (87S1) はこの砂礫層中の幅約 20 cm の黄灰色断層ガウジである。

(2) 荒川

徳島県美馬郡美馬町荒川 (34°3.4'N, 134°2.2'E)

中野谷川の東岸において、第四紀前期と考えられる砂

礫層(山崎, 1981)に、和泉層群の砂岩が低角度で衝上している。試料 (87S2A) は砂岩由来の幅約 5 cm のやや粗粒の黄灰色断層ガウジである。

(3) 昼間

徳島県三好郡三好町昼間 (34°2.2'N, 133°51.8'E)

池田断層に沿って、昼間橋下流約 100 m 付近に和泉層群と三波川結晶片岩が接する好露頭が認められている(岡田, 1968)。両者は、インターフィンガー状の差し違え構造をしており、断層面(全体的な走向: N 82°E, 傾斜: 70°N)の周辺には幅 2 m で泥質片岩由来の黒色断層ガウジが発達している。試料 (87S4) はこの部分のものである。

(4) 州津

徳島県三好郡池田町州津 (34°2.0'N, 133°50.4'E)

鮎<sup>あづき</sup>谷川を横切って池田断層の断層崖が発達し、東岸では、低位段丘面およびこの面を被覆する小扇状地面が、西岸では低位段丘面が北上りの鮮明な変位をうけている(岡田, 1968)。ちょうど、兩岸の段丘面上にある断層崖をつなぐ位置で、和泉層群が三波川結晶片岩と接して、昼間の場合と同様に明瞭な差し違え構造が発達してい

る。試料 87S5A は三波川泥質片岩由来の幅約 1 m の暗灰色断層ガウジ, 87S5B はこの中の幅約 6 cm の黒褐色ガウジである。

(5) 下馬路

徳島県三好郡池田町下馬路 (34°0.7'N, 133°45.3'E)

池田断層の西半部に沿って馬路川が発達しており, 川沿いに多くの断層露頭が見出されている (岡田, 1968)。馬路川北岸で, 三波川結晶片岩と砂礫層がほぼ垂直な断層面で接している露頭がみられる。さらに, 40 m 北方に和泉層群と三波川緑色片岩が約 45°N の傾斜をもつ逆断層で接している。試料 (87S7) は緑色片岩由来の緑灰色断層ガウジである。

(6) 浦山川

愛媛県宇摩郡土居町西入野 (33°56.6'N, 133°25.1'E)

この地域では, 山地と平野の境界に位置する地質境界としての MTL に沿う活断層と, その 300 m 北側に平行する活断層 (畑野断層) が平行して発達しており, 共に段丘面を南上りに変位させ, 段丘面を開析する支谷を右ずれ方向に変位させている (岡田, 1973)。特に地質境界に発達する活断層沿いに好露頭がみられ, 結晶片岩と和泉層群の間にフェルサイトの岩脈があり, これを切る新しい断層活動に伴う断層ガウジがよく発達している (第 5 図, 図版 I-1)。試料 87S9.5A, 9.5B は共に和泉層群泥岩由来の幅約数 cm の黒褐色断層ガウジ, 87S11 は岩脈由来の約十数 cm の黄灰色ガウジ, 87S12 は三波川泥質片岩が数十 cm にわたってガウジ化した部分 (やや粗粒), 87S13C も泥質片岩由来の約 5 cm の黒色ガウジである。なお, この露頭では岩脈 (87S10) と泥質片岩 (87S13D) を採取し, さらに MTL から 30-300 m の範囲で 3 個の泥質片岩 (87S17, 20A, 23.5) も採取し, 各々の年代測定を試みた。

(7) 井の上

愛媛県宇摩郡土居町井の上 (33°56.0', 133°22.6'E)

関川河床に地質境界としての MTL に沿うフェルサイトの岩脈がみられる。この中に走向: N 45°-50°E, でほぼ垂直な断層面をもつ幅 10 cm 前後の岩脈由来の黄橙色断層ガウジが発達している。試料 (87S24A) はこの部分のものである。

(8) 湯谷口

愛媛県周桑郡丹原町湯谷口 (33°51.2'N, 133°0.9'E)

中山川河床において, 三波川結晶片岩と和泉層群の境界に幅 12 m 前後の安山岩 (岡田, 1972) の岩脈が見られる。この部分より約 6 m 北側の和泉層群中に幅 1 m の断層ガウジが発達し, この部分に活断層が位置すると考えられる。試料 (87S25) はこの部分のものである。

(9) 高野川

愛媛県伊予市高野川 (33°42.5'N, 132°40.2'E)

四国における MTL 活断層系の西端に相当する伊予断層 (岡田, 1972) に沿って河谷の系統的な右横ずれが鮮明で, この断層の右ずれ変位は確実である。今回の調査でこの断層の露頭が確認された (図版 I-2)。ここでは, 和泉層群の砂泥互層と砂礫層 (高位段丘堆積物の可能性が高い) が, 走向 N 55°E, 傾斜 75-80°E の正断層で接し, 接触部に幅 2-3 cm の粘土が発達している。断層面を境にして, 砂礫層が幅 12 cm にわたって著しくひきずりをうけ, 和泉層群が 8-26 cm の幅でガウジ化している。試料 87S30A (黒褐色) は和泉層群由来, 87S30B (黄灰色) は砂礫層由来のガウジである。さらに, 和泉層群側で断層面から 18 m の位置に, 走向 N 70°E, 傾斜 50°E の断層があり, 断層ガウジが発達している。

3. 測定方法

断層ガウジは水簸により 2 μm 以下の細粒部分を採取した。試料を水で分散させ, 木片, グラファイト等を除いたあと, 1 l のピーカーに移し 3 時間放置後上澄み液を 2 cm の深さまでサイフォンで取り出し, 遠心分離により沈澱物を回収した。この操作を乾燥試料として約 10 g になるまでくり返した。一部の試料については, 0.5 μm 以下と 2-8 μm の部分を採取した。ただしここでの 0.5 μm 以下の部分は, 24 時間放置後の上澄み液 5 cm の部分, また 2-8 μm の部分は, 15 分放置後上から 10 cm の部分を取り, これより 2 μm より細かい部分を除いたものである。断層ガウジの細粒部分の色については, 標準土色帖 (小山・竹原, 1967) を参考にした。

鉱物組成は定方位試料による X 線回折により求めた。粘土鉱物については, (001) 面の底面反射の位置から雲母粘土鉱物, カオリナイト, モンモリロナイト, 緑泥石を区別し, 混合層鉱物 (雲母とモンモリロナイト) は 12 Å 付近の底面反射により同定した。モンモリロナイトや緑泥石を含む試料については, エチレングリコール処理や塩酸処理により確認を行った。また (001) 面の強度からおおよその量比の見積りをした。

雲母粘土鉱物を主とする試料については, 定方位試料により底面間隔 (d) とイライト結晶度指数 (IC) を求めた。d の測定値は NBS の SRM675 (合成 fluorophlogopite, d = 9.9810 Å) を用いて規準化した。また IC は KÜBLER (1984) による半価幅 (2θ の角度) である。さらに不定方位試料を用いて, MAXWELL and HOWER (1967) の方法により雲母粘土鉱物の 2M 型の割合を求めた。

第1表 四国における MTL 断層ガウジの細粒部分の諸性質と K-Ar 年代

| 試料番号                 | 産地      | 原岩   | 色  | 鉱物組成      | IC   | d(Å)  | 2M (%) | K <sub>2</sub> O (%) | Rad <sup>40</sup> Ar (10 <sup>-6</sup> m/STP/g) | Atm. <sup>40</sup> Ar (%) | 年代 (Ma)                          |
|----------------------|---------|------|----|-----------|------|-------|--------|----------------------|---|---------------------------|----------------------------------|
| 87 S1                | 井出口, 徳島 | 礫層   | 淡黄 | M,MC,k; Q | —    | —     | —      | 2.75                 | 6.62  | 38.1                      | 73.2±2.6                         |
| 87 S 2 A             | 荒川, 徳島  | 和泉層群 | 淡黄 | M,MC,K; Q | —    | —     | —      | 2.58                 | 6.70<br>6.45                                    | 40.0<br>38.4              | 78.8±2.8<br>76.0±2.7<br>77.4±1.9 |
| 87 S 4               | 昼間, 徳島  | 泥質片岩 | 褐灰 | MC,K; q   | 1.12 | 10.41 | 10     | 5.22                 | 10.5<br>10.1                                    | 21.3<br>36.7              | 61.3±1.9<br>58.9±2.0<br>60.1±1.4 |
| 87 S 5 A             | 州津, 徳島  | 泥質片岩 | 灰  | K,ml; Q   | —    | —     | —      | 1.67                 | 1.45  | 62.6                      | 26.6±1.4                         |
| 87 S 5 B             | 〃       | 泥質片岩 | 灰  | K,mc; Q   | —    | —     | —      | 2.87                 | 2.89  | 58.3                      | 31.0±1.4                         |
| 87 S 7               | 下馬路, 徳島 | 緑色片岩 | 緑灰 | MC,C,m,k  | 0.25 | 9.95  | 82     | 4.67                 | 9.61<br>9.73                                    | 33.1<br>27.1              | 62.2±2.1<br>63.5±2.1<br>62.9±1.5 |
| 87 S 9.5 A (<0.5 μm) | 浦山川, 愛媛 | 和泉層群 | 灰  | MC,k; q   | 0.82 | 10.26 | 22     | 6.00                 | 7.44  | 35.3                      | 38.1±1.3                         |
| 87 S 9.5 A           | 〃       | 和泉層群 | 灰  | MC,k; q   | 0.80 | 10.25 | 32     | 5.84                 | 7.47  | 38.2                      | 39.2±1.4                         |
| 87 S 9.5 A (2-8 μm)  | 〃       | 和泉層群 | 灰  | MC,k; q   | 0.72 | 10.19 | 65     | 5.22                 | 7.34  | 30.7                      | 43.0±1.4                         |
| 87 S 9.5 B           | 〃       | 和泉層群 | 褐灰 | MC,k; q   | 0.75 | 10.25 | 30     | 6.04                 | 8.91  | 23.5                      | 45.2±1.4                         |
| 87 S 11              | 〃       | 岩脈   | 灰白 | K,ML,M; q | —    | —     | —      | 2.91                 | 1.06  | 81.0                      | 11.2±1.2                         |
| 87 S 12              | 〃       | 泥質片岩 | 灰  | K,M,mc; Q | —    | —     | —      | 0.773                | 0.276   | 86.2                      | 11.0±1.6                         |
| 87 S 13 C (<0.5 μm)  | 〃       | 泥質片岩 | 灰  | MC,k      | 0.35 | 10.01 | 55     | 7.35                 | 8.22  | 27.3                      | 34.3±1.1                         |
| 87 S 13 C            | 〃       | 泥質片岩 | 灰  | MC,k      | 0.35 | 10.01 | 79     | 7.20                 | 8.24  | 21.5                      | 35.1±1.1                         |
| 87 S 13 C (2-8 μm)   | 〃       | 泥質片岩 | 灰  | MC,k; q   | 0.22 | 9.94  | 100    | 5.39                 | 9.93  | 9.6                       | 56.2±1.7                         |
| 87 S 24 A            | 井の上, 愛媛 | 岩脈   | 灰白 | K,ML      | —    | —     | —      | 4.67                 | 1.55  | 75.0                      | 10.2±0.8                         |
| 87 S 25              | 湯谷口, 愛媛 | 和泉層群 | 褐灰 | MC,k      | 0.64 | 10.15 | 10     | 6.50                 | 12.6  | 26.1                      | 59.3±1.9                         |
| 87 S 30 A            | 高野川, 愛媛 | 和泉層群 | 褐灰 | MC,k; q   | 0.88 | 10.28 | 12     | 5.22                 | 10.7  | 35.8                      | 62.4±2.1                         |
| 87 S 30 B            | 〃       | 礫層   | 褐灰 | MC,K,M; q | 0.80 | 10.22 | 8      | 5.12                 | 9.72  | 25.7                      | 57.8±1.9                         |

鉱物の略号, MC:雲母粘土鉱物, ML:混合層鉱物, M:モンモリロナイト, K:カオリナイト, C:緑泥石, Q:石英  
粘土鉱物は主底面反射の強度順に配列, 小文字は少量, 一は測定不能

第2表 土居町浦山川における MTL 付近の岩石の K-Ar 年代

| 試料番号    | MTL からの距離 (m) | 岩石          | 鉱物  | K <sub>2</sub> O (%) | Rad <sup>40</sup> Ar (10 <sup>-6</sup> m/STP/g) | Atm. <sup>40</sup> Ar (%) | 年代 (Ma)                          |
|---------|---------------|-------------|-----|----------------------|---|---------------------------|----------------------------------|
| 87S10   | 3             | フェルサイト (岩脈) | 全岩  | 0.435                | 0.176<br>0.186                                  | 95.6<br>94.6              | 12.5±6.2<br>13.2±5.2<br>12.9±4.1 |
| 87S13D  | 3             | 泥質片岩        | 白雲母 | 8.69                 | 20.0  | 10.4                      | 69.8±2.1                         |
| 87S17   | 30            | 泥質片岩        | 白雲母 | 9.47                 | 22.9  | 18.8                      | 73.6±2.3                         |
| 87S20A  | 60            | 泥質片岩        | 白雲母 | 9.38, 9.40           | 23.9<br>23.7                                    | 10.6<br>16.1              | 77.2±2.4<br>76.7±2.4<br>77.0±1.7 |
| 87S23.5 | 300           | 泥質片岩        | 白雲母 | 8.04, 8.11           | 18.5<br>18.4                                    | 6.8<br>8.8                | 69.7±2.1<br>69.3±2.1<br>69.5±1.4 |

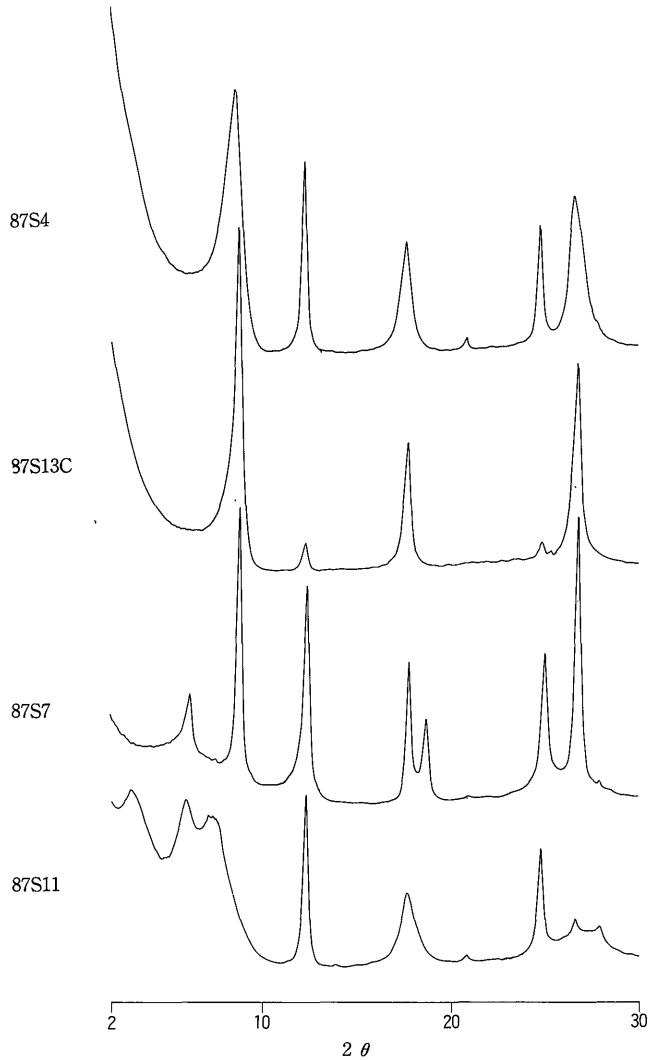
K-Ar 年代測定については, 試料を石英-バイレックス 製高真空装置内で加熱・溶融し, ガスを精製した後アルゴン回収した. アルゴン同位体比の測定は Micromass 6 型質量分析計を用いて静作動方式で行った. カリウムの定量は炎光光度法による.

K-Ar 年代の測定誤差は 1σ で示した. 年代計算に用

いた定数は,  $\lambda_{\beta} = 4.962 \times 10^{-10}/y$ ,  $\lambda_e = 0.581 \times 10^{-10}/y$ ,  $^{40}K/K = 0.01167 \text{ atom\%}$  である.

#### 4. 結果と考察

四国の MTL 露頭から採取した, 断層ガウジの細粒部分の諸性質と K-Ar 年代測定結果を第1表にまとめて



第2図 断層ガウジの細粒部分のX線回折パターン 横軸は  $2\theta$  (Cu  $K\alpha$ )

示した。また、土居町浦山川における MTL 付近の岩石の K-Ar 年代を第2表に示した。

#### 4.1 断層ガウジの細粒部分の諸性質

断層ガウジの原岩は三波川泥質片岩と和泉層群の泥岩がほとんどである。細粒部分の色は泥質片岩が主に灰色であるのに対して、和泉層群の泥岩は主に褐灰色である。細粒部分の粘土鉱物組成については、雲母粘土鉱物を主とするものが大半を占め、またカオリナイトは量の多少はあるがすべての試料に含まれる。モンモリロナイトまたは混合層鉱物を主とするものは全体の約 1/3 である。粘土鉱物以外では石英が少量含まれるのが普通である。

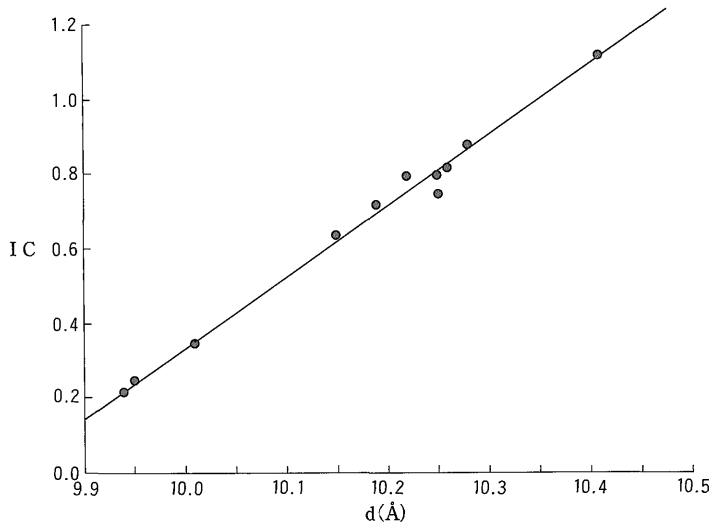
鉱物組成と色との関係については、雲母粘土鉱物を主

とするものは灰色か褐灰色、カオリナイトを主とするものは灰白色、モンモリロナイトを主とするもの (87S1, 2A) は淡黄色であり、緑泥石を含むもの (87S7) は緑灰色を呈する。代表的な試料のX線回折パターンを第2図に示した。

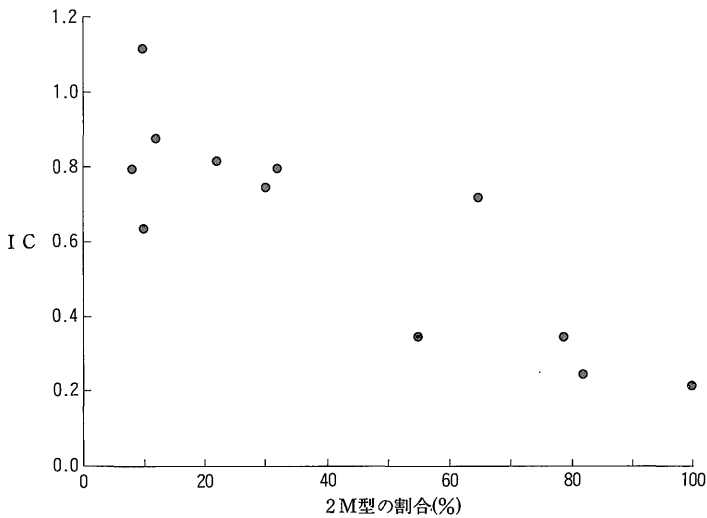
雲母粘土鉱物を主とするものについて求めた底面間隔 (d), イライト結晶度指数 (IC), 2M 型の割合の間には互いに相関が認められる。例えば IC と d とはきわめてよい相関を示し、

$$IC = 1.90d - 18.7$$

という直線式で表される (第3図)。一方 IC と 2M 型の割合の間には逆相関が認められる (第4図)。この場



第3図 雲母粘土鉱物を主とする断層ガウジの細粒部分のイライト結晶度指数 (IC) と底面間隔 (d) との関係



第4図 雲母粘土鉱物を主とする断層ガウジの細粒部分のイライト結晶度指数 (IC) と 2M 型の割合との関係

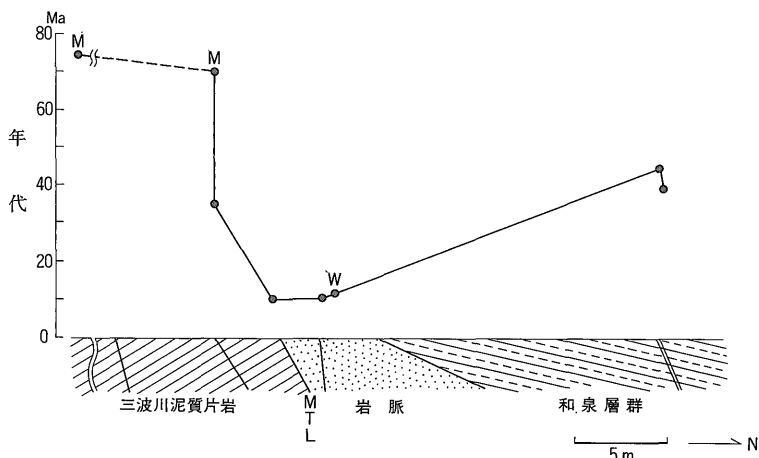
合、点のばらつきは2M型の割合の測定における不確かさが原因である。

断層ガウジの異なる粒度の細粒部分と諸性質との関係を見るため、2つの試料(87S9.5Aと87S13C)につき、 $<2\mu\text{m}$ の部分のほかに $<0.5\mu\text{m}$ と $2-8\mu\text{m}$ の部分を採用して比較検討を行った。粘土鉱物の組成については、粒度による差は認められない。dとICについては、 $<2\mu\text{m}$ と $<0.5\mu\text{m}$ の部分では差はないが、2M型の割合は $<2\mu\text{m}$ の方が多い。一方 $2-8\mu\text{m}$ の部分は細粒の部

分と比べて、d, IC共に小さくて結晶度がよく、また2M型も多い。おそらく、より粗粒の部分には変成鉱物としての、あるいは碎屑性の微細な白雲母が混入しているものと考えられる。これらの結果から、断層ガウジの細粒部分としての代表的な試料としては、 $<2\mu\text{m}$ の部分を採用すればよいことが確認された。

雲母粘土鉱物を主とする細粒部分のdの違いは、雲母粘土鉱物に含まれる膨張層(スメクタイト層)の量比に関係があると考えられる。dが最も大きい試料(87S4)

四国における中央構造線の断層ガウジの K-Ar 年代 (柴田 ほか)



第5図 土居町浦山川における MTL 露頭の模式断面図と K-Ar 年代  
M: 白雲母, W: 全岩, 無印: 断層ガウジ

について, SHIROZU and HIGASHI (1972) の方法で膨張層の割合を求めてみると 14%となる. その他の試料中の膨張層の割合は 10%以下である. 一般的に膨張層を 30%以上含むものを混合層鉱物と呼ぶので, 第3図にプロットしたものはすべて雲母粘土鉱物とみなされる.

#### 4.2 断層ガウジの K-Ar 年代

四国における MTL 断層ガウジの細粒部分の K-Ar 年代測定結果を第1表に, 土居町浦山川における MTL 付近の岩石の K-Ar 年代測定結果を第2表に示した.

細粒部分の K-Ar 年代測定結果は 10-77 Ma と広い範囲にわたっている. これらのうち東部の 2ヶ所からのものが最も古い年代, すなわち 73-77 Ma を示す. これらの試料にはモンモリロナイトが主成分鉱物として含まれる. 昼間, 下馬路, 湯谷口, 高野川の 4ヶ所からの細粒部分は 58-63 Ma とせまい年代範囲内におさまる. これらはいずれも雲母粘土鉱物を主とするものであり,  $K_2O$  含有量も高い. 87S4 と 87S7 のように雲母粘土鉱物の鉱物学的性質 (底面間隔等) に大きな違いがあるが, 年代の差は認められない. また原岩の違いによる差も認められない.

浦山川の MTL 露頭付近の模式断面図と年代を第5図に示した. ここでは, 三波川泥質片岩と和泉層群の泥岩との間に幅約 5m のフェルサイト岩脈が貫入しており, 岩脈由来のガウジも生じている. 岩脈の全岩試料による年代は  $12.9 \pm 4.1$  Ma であり (第2表), 岩脈由来のガウジの細粒部分の年代は 11.2 Ma である. さらに岩脈から約 1m の泥質片岩由来のガウジの年代も 11.0 Ma であり, ガウジの年代は岩脈の年代に近い. なお, 岩脈の年代 12.9 Ma は紀伊半島中部の MTL 沿いに貫入し

た高見山酸性岩の年代 12.8 Ma (柴田ほか, 1988) と等しい. これに対して和泉層群由来のガウジは 39-45 Ma, 三波川泥質片岩由来で MTL から 3m 離れた場所でのガウジの年代は 35 Ma である. またこの場所での白雲母の年代は 69.8 Ma である (第2表).

井の上 (87S24A) のガウジの年代 10.2 Ma は今回取り扱ったガウジの中で最も若い. これはフェルサイト岩脈由来のガウジであり, 浦山川の岩脈由来のガウジの年代 11.2 Ma に近い. 両者ともカオリナイトと混合層鉱物を主とするガウジであり, 年代値についての信頼性には問題はあろうが, ガウジの年代が岩脈の年代 (12.9 Ma) に近いということは, それらが岩脈貫入直後に生じたガウジであることを意味する.

粒度の異なる細粒部分についての K-Ar 年代は, 87S9.5A と 87S13C について求められた.  $<0.5 \mu m$  と  $<2 \mu m$  の部分の年代は 87S9.5A が 38.1 Ma と 39.2 Ma, 87S13C が 34.3 Ma と 35.1 Ma で年代の差は認められない. 一方, 粗粒部分 ( $2-8 \mu m$ ) の年代は 43.0 Ma と 56.2 Ma で共に細粒の部分より古く, 特に 87S13C の年代は同じ場所の白雲母の年代 69.8 Ma に近づく. この結果は試料の雲母粘土鉱物についての鉱物学的性質と調和的であり, 87S13C には変成鉱物としての白雲母が混入していることが裏付けられた. 一方 87S9.5A の粗粒と細粒の部分の年代差は小さく, 碎屑性の古い雲母粘土の混入は少ないものと判断される.

#### 4.3 断層ガウジの年代の意味

断層運動によって岩石が破碎・細粒化しても, 粘土鉱物はすぐにはできないであろう. 地表における風化・変質作用, あるいは地下における熱水作用によって初めて

粘土鉱物ができる。ここで取り扱った断層ガウジの細粒部分も、そのような過程で生成された粘土鉱物を主とするものと考えられる。

最近の研究により、雲母粘土鉱物は細粒 (<2  $\mu\text{m}$ ) であっても信頼性の高い年代が得られることが明らかにされた。例えば雲母粘土鉱物の閉鎖温度は  $260 \pm 30^\circ\text{C}$  と見積られており (HUNZIKER *et al.*, 1986), それ以上の温度の熱的事変をこうむらないかぎり、その K-Ar 年代は鉱物が生成した年代を示すとみなされる。本研究における断層ガウジの細粒部分のうち、雲母粘土鉱物を主とするものは、浦山川の試料を除けば約 60 Ma の年代を示す。すでに長野県、三重県、奈良県の MTL 断層ガウジについて議論したように、この年代は地下における熱水作用によって雲母粘土鉱物が生じた時期を表し、従って熱水変質を伴う MTL 断層活動の主要時期を示すものと解釈される (柴田・高木, 1988; 柴田ほか, 1988; 高木ほか, 1989)。約 60 Ma の年代は徳島県から愛媛県にわたって得られているので、四国の MTL の主要な断層活動はほぼ同時に起こり、また約 60 Ma 以降は大きな断層活動は起こらなかったことを物語っている。ただし、浦山川の MTL 露頭でみられるように、その後、局所的に断層活動が起こったことも明らかである。特に MTL 沿いに起こった岩脈の貫入直後、すなわち 11-12 Ma 頃かなり広範囲に活動が起こったものと推定される。

永井 (1973) は四国の MTL の活動時期について、和泉層群後で久万層群前の上灘時階、久万層群後で石鎚層群前の砥部時階、さらに鮮新世後期から更新世にかけての石鎚山脈の隆起に関連した新居浜時階の三時期を提唱した。これらを今回得られた断層ガウジの年代に対比させてみると、約 60 Ma が上灘時階に、35-45 Ma が砥部時階に対比できる。なお浦山川におけるガウジの 35-45 Ma という年代については、フェルサイト貫入による不完全な若返りの可能性も考えられるが、後述するように州津においてはフェルサイトが存在しないのに、31 Ma という若い年代が得られている。従って、MTL の砥部時階の活動は、やはり局所的には起こったものと考えられる。

四国西部においては、活断層系としての MTL は地質境界ではなくて和泉層群中に存在する。ここでの断層ガウジも約 60 Ma の年代を示すことから、活断層系としての MTL の活動の時期は、おそらくも古第三紀初期には始まっていたものと考えられる。しかし、四国の MTL は第四紀後半に右横ずれを伴う断層活動を行った活断層であるにもかかわらず、年代学的にはその痕跡が認められない。これは、地表近くで起こる横ずれ成分の卓越す

る断層活動においては、鉱物の年代をリセットさせる程度の温度上昇がなかったためであろう。

四国東部の 2ヶ所の MTL 露頭からの断層ガウジについて、約 75 Ma という古い年代が得られた。これらのガウジはモンモリロナイトを主とするものであり、このことは古い年代の解釈において問題となろう。モンモリロナイトの存在は地表近くでの風化の関与が大きいことを示唆し、ガウジ中の雲母粘土鉱物は熱水変質による産物ではなくて、堆積岩中の碎屑性の雲母鉱物である可能性を示す。これに関して、75 Ma という年代が和泉層群の堆積年代に近いことも、ガウジの起源を考える上で重要な情報である。つまり、これらのガウジの細粒部分は、断層に沿って流れる地表水によってまわりの地層からもたらされたとも考えられる。いずれにせよこの問題の解決のためには、和泉層群中の雲母鉱物との比較検討が必要であろう。

徳島県州津のガウジ (87S5A, 5B) の年代は 26.6 Ma と 31.0 Ma であり、普遍的にみられる約 60 Ma に比べて明らかに若い。87S5A はカオリナイトと少量の混合層鉱物からなるもので、若い年代の原因は混合層鉱物にある可能性が考えられる。しかし、87S5A 中にあってカオリナイトと少量の雲母粘土鉱物からなるガウジ 87S5B の年代は 31.0 Ma で、87S5A より若干古い程度である。従って混合層鉱物が若い年代の原因とは考えにくい。これらの試料はカオリナイトを主とするもので、断層ガウジの生成条件は雲母粘土鉱物を主とするものほどはつきりはしていない。しかしこの若い年代は浦山川におけるガウジの約 35 Ma の年代に対比ができ、MTL の砥部時階の活動を示すものかも知れない。

MTL の主要な断層活動時期を地域別に見てみると、長野県伊那地域で約 20 Ma (柴田・高木, 1988)、三重県飯南地域で約 40 Ma (高木ほか, 1989)、奈良県吉野地域で約 35 Ma (柴田ほか, 1988)、四国で約 60 Ma (本論文) である。従って MTL の主要な活動時期は、大局的には東方に向かって若くなるといえる。

#### 4.4 三波川泥質片岩の白雲母 K-Ar 年代

浦山川ルートにおける三波川泥質片岩の K-Ar 年代は、MTL から 3 m の 87S20A が 69.8 Ma, 30 m の 87S17 が 73.6 Ma, 60 m の 87S20A が 77.0 Ma, 300 m の 87S23.5 は 69.5 Ma である (第 2 表)。これらの試料採取地点は Banno *et al.* (1986) による変成分帯では、すべてざくろ石帯に属している。鏡下の観察では、上記 4 試料のうち 87S20A のみがざくろ石を含むが、それが変成度の違いによるものであるかどうかは明らかでない。

ITAYA and TAKASUGI (1988) は、四国中央部の三波



川結晶片岩の白雲母 K-Ar 年代が変成度と対応していることを示した。例えば、彼らのデータでは、MTL 近傍 (~2 km) の黒雲母の年代が 73-76 Ma であるのに対して、その南の緑泥石帯の年代が 65-67 Ma と若い。本研究における MTL 近傍での泥質片岩の K-Ar 白雲母年代が MTL に近づくとやや若くなる傾向は、SCHOLTZ *et al.* (1979) がニュージーランドのアルパイン断層で報告したような、断層活動による K-Ar 年代の若返りを示している可能性がある。しかし 4 試料の中で最も MTL から遠い 87S23.5 が他より若い年代を示すことは、断層活動とは別の要因を考える必要があり、今後の検討が望まれる。

本研究で得られた浦山川ルートでの 70-77 Ma は全体として、ITAYA and TAKASUGI (1988) が伊予三島南方のトラバースルートにおいて、ざくろ石帯から得た K-Ar 白雲母年代と調和的である。MTL の主たる活動時期は、K-Ar 年代で示される三波川変成帯の変成時期や、和泉層群の堆積時期からあまり大きく離れていないことが明らかになった。

## 5. ま と め

1. 四国 MTL の 9ヶ所の露頭において採取した、15 個の断層ガウジの細粒部分 (<2 μm) の粘土鉱物組成については、雲母粘土鉱物を主とするものが大半を占める。カオリナイトはすべての試料中に含まれており、一部の試料にはモンモリロナイトまたは混合層鉱物が主成分として含まれる。雲母粘土鉱物を主とする細粒部分について求めた底面間隔、イライト結晶度指数、2M 型の割合、の間には比較的よい相関がある。

2. MTL の断層ガウジの細粒部分 19 個の K-Ar 年代は 10-77 Ma である。雲母粘土鉱物を主とするガウジは、MTL の広い範囲にわたって約 60 Ma の年代を示し、また局所的に 35-45 Ma の年代も示す。MTL に沿って貫入するフェルサイト岩脈由来のカオリナイト・混合層鉱物からなるガウジは 10-12 Ma の年代を示し、岩脈貫入直後の生成を暗示する。断層ガウジの粗粒部分(2-8 μm) の年代は細粒部分より古く、これは変成鉱物としての、あるいは碎屑性の雲母鉱物の混入によるものと思われる。

3. 雲母粘土鉱物を主とするガウジの年代は、熱水変質を伴う MTL 断層活動の主要時期を表すものと解釈される。従って、四国における MTL の活動は、おそらく古第三紀初頭には始まったとみなされる。しかし、第四紀後半に起こった MTL の横ずれを伴う断層活動においては、雲母粘土鉱物の年代をリセットさせる程の

温度上昇はなかったものと思われる。

4. 土居町浦山川における、MTL 近傍の三波川泥質片岩の白雲母 K-Ar 年代は、69.8-77.0 Ma であり、MTL 直近まで年代の低下は認められない。

謝辞 本研究を進めるにあたり、地質情報センター野呂春文技官には粘土鉱物について有益な御助言を賜った。記して深謝の意を表する。

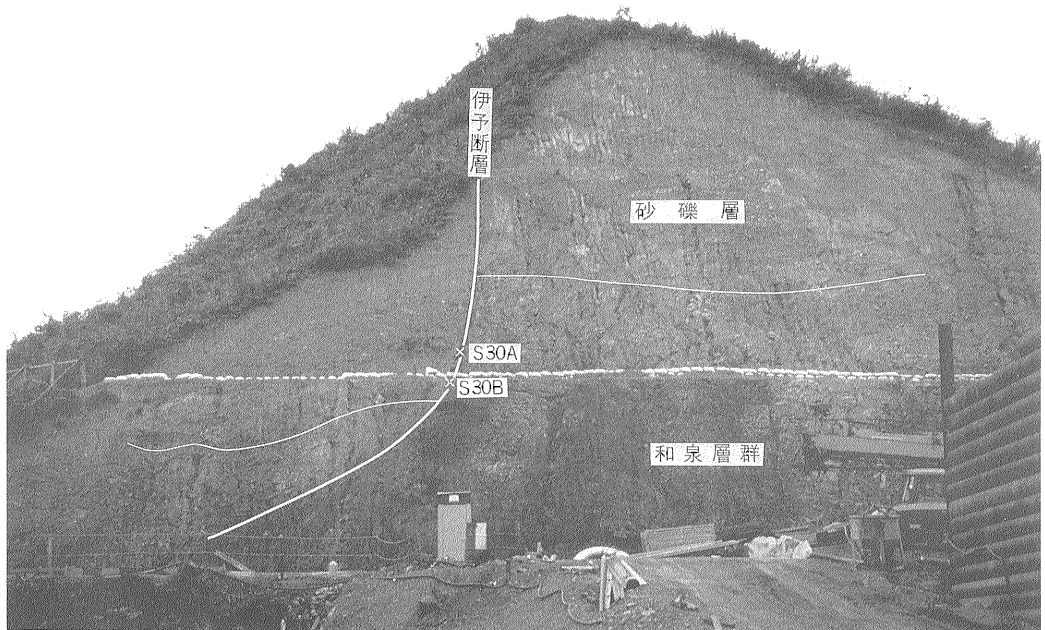
## 文 献

- BANNO, S., SAKAI, C. and HIGASHINO, T. (1986) Pressure-temperature trajectory of the Sanbagawa metamorphism deduced from garnet. *Lithos*, vol. 19, p. 51-63.
- HUNZIKER, J. C., FREY, M., CLAUER, N., DALLMEYER, R. D., FRIEDRICHSEN, H., FLEHMIG, W., HOCHSTRASSER, K., ROGGWILER, P. and SCHWANDER, H. (1986) The evolution of illite to muscovite: mineralogical and isotopic data from the Glarus Alps, Switzerland. *Contrib. Mineral. Petrol.*, vol. 92, p. 157-180.
- ITAYA, T. and TAKASUGI, H. (1988) Muscovite K-Ar ages of the Sanbagawa schist, Japan and argon depletion during cooling and deformation. *Contrib. Mineral. Petrol.*, vol. 100, p. 281-290.
- KRALIK, M., KLIMA, K. and RIEDMÜLLER, G. (1987) Dating fault gouges. *Nature*, vol. 327, p. 315-317.
- KÜBLER, B. (1984) Les indicateurs des transformations physiques et chimiques dans la diagenèse, température et calorimétrie. In: LAGACHE, M. (Director), *Thermométrie et barométrie géologiques*, vol. 2, Soc. Fr. Mineral. Crystallogr., p. 489-596.
- LYONS, J. B. and SNELLENBURG, J. (1971) Dating faults. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 87, p. 1749-1752.
- MAXWELL, D. T. and HOWER, J. (1967) High-grade diagenesis and low-grade metamorphism of illite in the Precambrian Belt series. *Amer. Mineral.*, vol. 52, p. 843-857.
- 永井浩三(1973) 愛媛県の中央構造線. 杉山隆二編,

- 中央構造線, 東海大出版会, p.197-207.
- 岡田篤正(1968) 阿波池田付近の中央構造線の新期断層運動. 第四紀研究, vol. 7, p. 15-26.
- (1970) 吉野川流域の中央構造線の断層変位地形と断層運動速度. 地理学評論, vol. 43, p. 1-21.
- (1972) 四国北西部における中央構造線の第四紀断層運動. 愛知県立大学文学部論集(一般教育編), vol. 23, p. 68-94.
- (1973) 四国中央部における中央構造線の第四紀断層運動. 地理学評論, vol. 46, p. 295-322.
- 小山正忠・竹原秀雄(1967) 新版標準土色帖. 日本色研事業株式会社, 14p.
- SCHOLTZ, C. H., BEAVAN, J. and HANKS, T. C. (1979) Frictional metamorphism, argon depletion, and tectonic stress on the Alpine Fault, New Zealand. *J. Geophys. Res.*, vol. 84, p. 6770-6782.
- 柴田 賢・高木秀雄(1988) 中央構造線沿いの岩石および断層内物質の同位体年代—長野県分杭峠地域の例—. 地質雑, vol. 94, p. 35-50.
- ・杉山雄一・高木秀雄・内海 茂(1988) 奈良県吉野地域の中央構造線沿いに分布する諸岩石の同位体年代. 地調月報, vol. 39, p. 759-781.
- SHIROZU, H. and HIGASHI, S. (1972) X-ray examination of sericite minerals associated with the Kuroko deposits. *Clay Sci.*, vol. 4, p. 137-142.
- 高木秀雄・柴田 賢・杉山雄一・内海 茂・松本哲一(1989) 三重県粥見地域の中央構造線沿いに分布する諸岩石の同位体年代. 岩鉱, vol. 84, p. 75-88.
- 佃 栄吉・寒川 旭・衣笠善博(1982) 50万分の1活構造図「高知」. 地質調査所.
- 山崎晴雄(1981) 吉野川中流・美馬町荒川の洪積層の花粉分析. 活断層研究, no. 1, p. 93-96.
- (受付:1989年7月10日;受理:1989年9月14日)



1 土居町浦山川における MTL の露頭と試料採取位置



2 伊予市高野川における伊予断層の露頭と試料採取位置  
細線は砂礫層と和泉層群との境界を示す。