

松山基範に始まる京大地質学鉱物学教室における物理地質学的研究

西村 進¹⁾ ・ 西田 潤一²⁾

1) 京都大学名誉教授、2) 大谷大学名誉教授

1, はじめに

京都帝国大学理学部地質学鉱物学教室理論地質講座は初代教授として松山基範が地球物理学教室第一講座助教授から赴任された(1922)。その後は、京都大学理学部地質学鉱物学教室第一講座(物理地質学講座)と1949年に改組され、1955年に京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻(地質学鉱物学教室)地球テクトニクス講座と改組され、現在に至っている。

松山教授の講座における研究方針は「地質学の研究に物理的手法を取り入れること」であり、研究の手段としては、地殻の構造やその変化を解明するために、重力や古地磁気を、さらに岩石放射能の研究から年代決定や地殻の熱構造の発展史の研究を試みている。さらに、それらの延長として岩石・氷の流れ学、地下水・温泉の研究にまで及んでいる。

一期生である熊谷直一(二代目教授)、東中秀雄(後の教養部地学教室教授)には重力の研究を託し、熊谷とともにステルネック型振子やマイネス型振子による重力測定を行い、桜島火山の構造の研究、さらには日本海溝での潜水艦を用いた重力測定を行っている。東中には重力のデータを取りまとめることから地球の形の研究を勧めている。また、多くの弟子たちとともにエトヴェス重力偏差計による重力測定を行い、石油探査や火山探査も行っている。これらの研究は第二次大戦後購入した重力計を用いた重力測定や重力の鉛直勾配の研究へと発展している。

また松山教授の有名な研究は、残留磁気の研究から地球磁場の逆転の可能性を指摘(1929)されたことであろう。この研究は川井直人(後、大阪大学教授)や笹嶋貞雄(第四代教授)らによる古地磁気学研究へと発展する。1950年代より無定位磁力計が用いられるようになるとともに、日本各地の岩石の残留磁気の研究から日本列島折れ曲がりの仮説が提起され、この研究は日本海拡大の研究へと発展した。また古地磁気研究は日本列島のみならず、東南アジアの地殻変動の研究へも進展した。

岩石放射能に関する研究は、松山教授の大きな研究目的であったが、当時は測定機器の開発から始めなければならなかった。初田甚一郎(三代目教授)、浅山哲二(大阪府立大学教授)等は岩石中のラジウムの分析から初めて、花崗岩体中の放射能分布や地殻のウラン系列の放射非平衡の研究を行っている。この分野の研究は中性子放射化分析やフィッシュトラック年代測定法の開発に結びつき地球年代学、地球熱学へと発展した。

そのほか、松山教授は地震被害の研究や、城崎温泉の調査研究、水理地質学、応用地球物理学の研究も行っている。岩石変形の研究は熊谷が引き継いで研究を行っている。

地質学鉱物学第一講座(物理地質学講座)に改組後、地球テクトニクス講座へ引き継がれるまでの研究については笹嶋(1991)に詳しいので、本稿ではどのような代表的研究が行われたかについての歴史的記述を行いたい。

2, 重力分野

第一講座発足当時すでに日本において重力測定は始まっていて、国内主要都市122地点での重力測定はすでに完了していた。初期日本国内での重力測定についての沿革は東中(1968)に記述されて

いる。また松山は地質学鉱物学教室第一講座教授就任までは地球物理学教室の助教授の任にあり、そのころより各地で重力測定を行っている。松山の学位論文はエトヴェス重力偏差計を用いて環礁での重力場の精密測定を行い、重力偏差と環礁の基盤の関係を論じたものである(Matuyama, 1918)。講座発足当時の重力測定対象として朝鮮半島および満州（現中国東北方）で測定機としてはステルネック型振子を用いて行われている。また 1932 年にマイネス型振子を購入しこの振子を用いて南洋諸島、小笠原や台湾での重力測定を実施している。この測定結果からこれら太平洋の諸島にはきわめて大きな正の重力異常の存在が認められた。

なお、日本の重力については 1899-1890 年に E. Borrass、長岡半太郎、新城新蔵、大谷亮吉等によって Potsdam—東京間の比較測定が行われている。京都での重力測定値は京都大学旧天文台の地下（現京都大学付属図書館北東）において行われた。マイネス型振子購入後、旧天文台地下の原点と地質学鉱物学教室地下の花崗岩の重力測定台での比較測定が行われ、地質学鉱物学教室地下の重力値が測定され、それ以後は日本の重力原点として地質学鉱物学教室の重力原点が登録されている（東中、1967）。

マイネスの振子は 2 本の振子と同じ台上で振るならば両方に同じ加速度がかかることから相互の振子にかかる加速度による影響が相殺されるということを利用して測定に工夫がなされている。もちろん海洋の船上では波浪の影響が大きすぎるが、潜水艦である程度の深度で測るならば、その影響を避けることができるために海洋での重力を測定することができる。

国際的に日本海溝での重力測定の必要性が認識されだした。

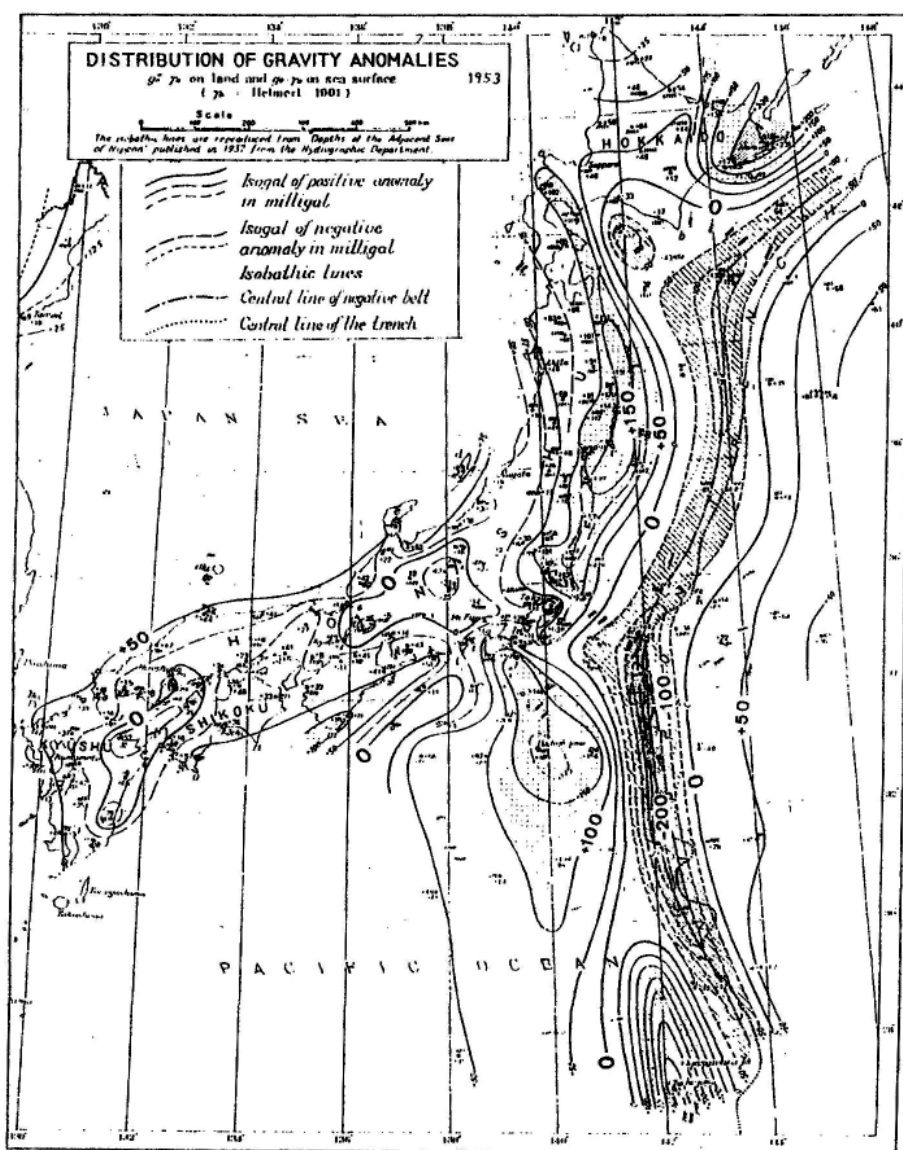


図1 日本海溝周辺の重力図、日本海溝の重力測定をもとにした日本列島近傍の重力異常分布図。

そのとき昭和8年(1933)3月3日三陸沖合で海底地震があり、三陸地方を巨大な津波が襲っている。この翌年に日本海軍の協力を得て呂号57潜水艦で相模湾から釧路まで日本海溝の29の地点での重力測定を行っている。さらに翌年伊号24潜水艦で相模湾から小笠原諸島にまで伊豆小笠原海溝に沿って31の地点で重力測定を行っている。この測定結果からフリーエア異常は海溝最深部ではなく西側の陸地斜面に偏っていることが発見された。熊谷はこの結果に地質学的、地震学的な解釈を行い報告している(Kumagai, 1940)。図1に日本海溝近傍の重力測定を基にした日本列島近傍の重力異常分布図を紹介する。この結果は国際測地学地球物理学連合学会に報告され高い評価を得ている。

海洋上での重力測定はさらに広く行われる予定であったが、その後の国際的緊張という状況で潜水艦の利用が困難になったために不可能になった。このことについて松山はのちに「魔の日本海溝」という随筆でふれている(笹島千鶴子・前中一晃・編著、2003)。

また、満州の撫順炭田や新潟県の油田など資源探査の目的で重力探査を行っている。当時の振子の測定は普通建物内部で行われていた。しかし重力偏差計は振子に比べるならば測定が容易であったことから、当時の重力探査は主として重力偏差計を用いて行われていた。

現在用いられている重力計が地質学鉱物学教室に購入されたのは第2次大戦後のことである。地質学鉱物学教室では1951年にWorden型重力計を購入している。その後1979年にLaCoste D型重力計を、さらに1980年に同G型を購入している。これらのバネを原理とする重力計によって重力測定の点数が飛躍的に増加した。Worden重力計を用いた最初の測定は京都市北部において行われている。この目的は第四紀層に覆われた基盤構造の起伏と第四紀層の深さを見いだそうとするものである。このような目的の仕事はその後日本の様々な地方において行われている。地理的な関係もあり物理地質学教室では関西周辺、特に京都盆地、滋賀県周辺や奈良地方において基盤構造や断層構造の研究を行っている。それらのデータはGravity Research Group in Southwest Japan (2001)による西南日本列島の重力データの一部として収録されている。

海外での研究としてインドネシアスマトラ・西ジャワの重力分布の研究も行われ、特にトバ湖の成因、スンダ海峡の発達史は年代測定と組み合わせることによって、そのテクトニクスの研究が行われている。

3、古地磁気学分野

1926年に松山は玄武岩の残留磁気の測定を始めている。兵庫県玄武洞の玄武岩の残留磁気方向が現在の地磁気方向と逆であるのに対してその近傍の夜久野玄武岩が正方向に帯磁していることを見いだしている。これに引き続き日本各地、朝鮮半島や満州の玄武岩の残留磁気を調べるならば、その約半数が逆帯磁していることを発見し、地球磁場が逆転していたと推論している(Matuyama 1929)。図2に松山の測定結果を示す。なお当時の測定器は無定位磁力計ではなく一本の磁針をつるしただけの装置であるので直径15 cm程度の大きな試料をもちいていた。当時を知る人の話によれば、1試料の測定には4時間ほどかかったということである。

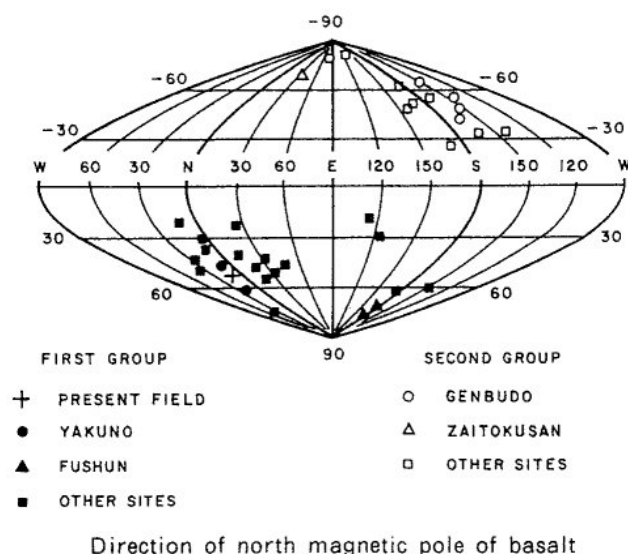


図2 玄武岩の残留磁気測定結果。松山逆磁極期の基となった玄武岩の残留磁気測定結果である。

ある。この地球磁場反転という仮説に対して岩石の残留磁気は外部磁場と反対方向に獲得される可能性が指摘された。事実、群馬県榛名山火山の凝灰岩より自己反転する残留磁気が発見されていることから自己反転の可能性も示唆された。

戦後無定位磁力計が登場し、岩石の残留磁気測定はそれまでと比較にならないくらい容易になった。Kawai(1951)は大阪層群のアズキ火山灰層が逆帯磁していることを見いだしているが、この結果は堆積岩においても地磁場逆転の記録が残されていることを示している。ただしこのころはまだ二次磁化の消去法が不完全であったので普通の堆積物から信頼できる地磁気逆転の記録は得られていない。

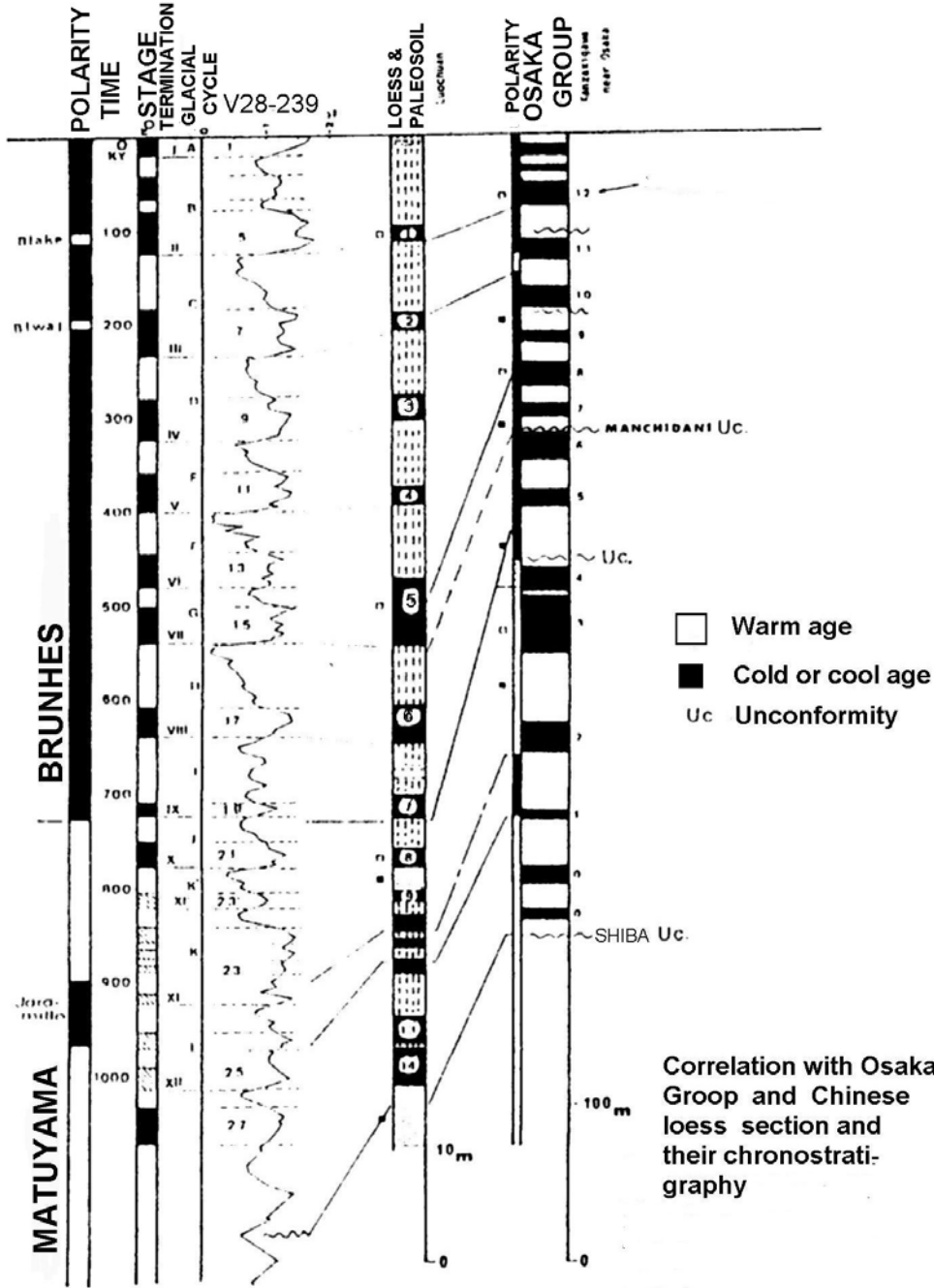


図3 大阪層群と黄土層の磁気層序の対比。磁気層序を用いた大阪層群と中国黄土層の対比
左から地磁気逆転表、第四期氷河期の年代表、中国黄土層、大阪層群を表す。

地球磁場逆転が決定的に認められたのは1964年にK-Ar年代測定法により地磁場逆転の編年が行われたためである。それと同時に最後の地磁気逆転期に「松山逆磁極期(Matuyama Reversed Epoch)」と命名された。なお、2009年のIUGS（国際地質科学連合）は松山逆磁極期の開始した258万年を第四紀のはじまりと定義としている。

地磁気逆転の編年はその後大きな研究対象となった。特に海洋磁気異常の発見とそこから推定される海洋底拡大は1960-70年代にプレート・テクトニクス説を生み出すこととなった。また地磁気逆転は汎地球的な現象である以上この編年表は地層対比の有力な鍵層となることが考えられた。

日本の堆積層でこのような磁気層序の研究は近畿・東海地方の大阪層群相当層に対して行われた。当初の測定は大阪層群相当層に挟まれる火山灰層に限定されている。いうまでもなく当時の測定器無定位磁力計の感度では粘土層の残留磁気の測定はできなかった。しかし当時測定された火山灰の残留磁気測定結果、これら的大阪層群相当層の年代が推定された。この古地磁気編年結果は後にこれらの火山灰の年代をフィッシュ・トラック法で測定により確認されている。

1970年代以降には無定位磁力計に変わり、スピナー磁力計、さらには超伝導磁力計が購入され、それまで測定できなかった粘土層の残留磁気測定が可能になった。さらに磁気層序学による年代決定はインドネシアや中国の第三紀、第四紀地層と日本の地層の年代対比の道へつながった。その代表的な例として京都大学と中国西安市の西北大学との共同研究をあげることができる。中国大陸北部には黄土層が広く分布している。黄土層は風成層であり、ユーラシア大陸中央部の砂漠地帯より風によって運搬された堆積物である。黄土層は黄河中流域によく発達し、その特徴として黄土層と古土壤層が交互に重なっている。古土壤層はその堆積時には温暖湿潤であり、黄土層は寒冷乾燥気候を示していると考えられる。この黄土層の磁気編年を行うことにより日本の第四紀層との対比および気候変動の共同研究が行われている(Sasajima and Wang, 1984)。図3に当時得られた古地磁気編年を用いた大阪層群と黄土層の古地磁気編年による対比結果を示す。

川井らは白亜紀の岩石の残留磁気が西南日本と東北日本で約40°食い違うことから「日本列島折れ曲がり」の仮説を提唱している。さらに西南日本の岩石の残留磁気方向が古代三紀においても白亜紀同様に大きく東に偏っていることが確認され日本列島の折れ曲がり第三紀以降に起きたことも推定された。この問題

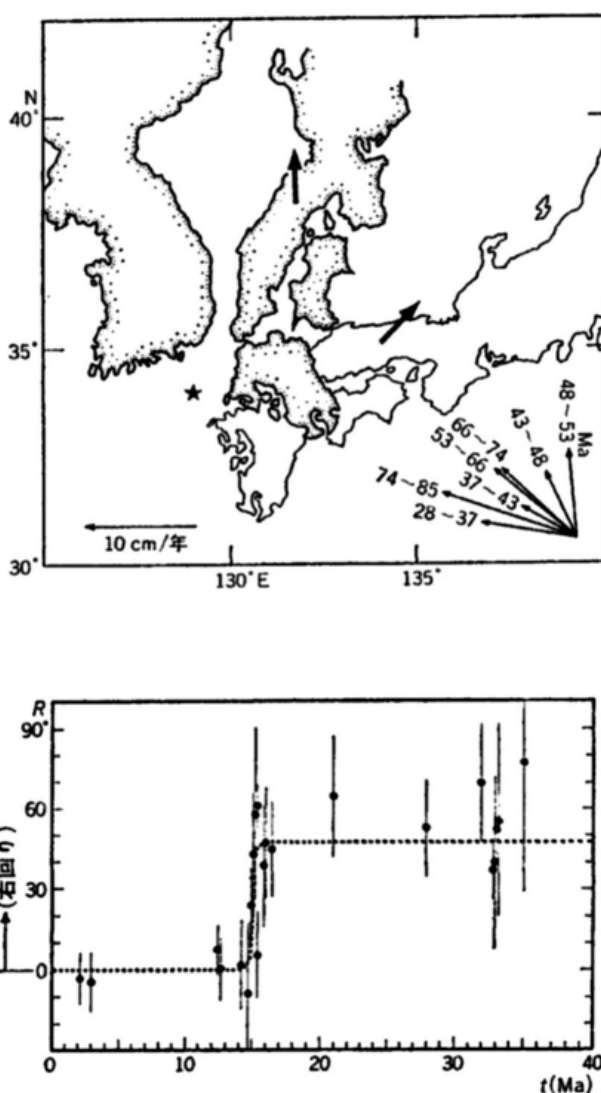


図4 日本海拡大モデルとその年代測定結果。

上は古地磁気から求められた15 Ma以前の日本列島、下は西南日本の右回り回転の年代を示す。

は最終的に Otofujii & Matsuda(1983) による日本海拡大の結論につながった。彼等は西南日本の古地磁気方向とフィッシュントラック年代を検討した結果、中新世（約 15 Ma 頃）日本海の脊孤盆が拡大し、その結果日本列島の折れ曲がり起きたことを報告している。図 4 に彼等の提唱した日本海拡大モデルおよびその年代測定結果を示す。

また、古地磁気学は考古学にも応用され、古い窯の焼け土試料を用いて西南日本の過去 2,000 年の考古古地磁気の変動も明らかにされた。

4、岩石放射能に関する分野

松山教授が重視した研究分野は地球の発達史であり、この分野の研究には放射能の研究が大切であることを指摘している。1930 年当時は原子と放射能の初歩的な知識が知られ出した頃で、松山教授は大正 8 年(1919)年 5 月より米英に二年間留学されているが、そのおりに Radioactivity と表題にある書籍は目に付く限り買い入れたといわれている。これらの本は地質学鉱物学教室発足時にすべて教室図書に納められた。

初田甚一郎と浅山哲二は、精密ラドン計を購入し改良を加えている。この測定器を用いて岩石を融解し、ラジウムとラドンが平衡になるために必要な一ヶ月放置した後、ラドンを測定することにより岩石中のラジウムの定量を行う方法を考案している。この方法により日本各地の岩石のラジウム含有量を測定しラジウム含有量と岩石中の珪酸量には平行関係のあることも突き止めている。

また泉効計を改良し、断層探査に応用している。そのほか、GM 管計数器の試作や α -シンチレーション計数器も試作している。このような放射線探査で空気中のラドンを対称にする場合には、大気圧や降水量の影響を考慮しなければならない。その基礎資料を得るための測定を昭和 19 年前後に毎日測定を行っていたときに、東南海地震が起き地震の直前にラドン濃度が上昇することも認められた。これらの装置を用いて、花崗岩体中の放射の分布やさらには塩基性岩、超塩基性岩のウランやラジウムの定量並びに地表地殻の断層調査や岩石中のウラン系列の放射非平衡の研究も行われた。

岩石放射能の研究でもっとも魅力的な研究課題は岩石の年代測定である。物理地質学講座では原子炉での熱中性子照射を利用することによるフィッシュントラック法の導入に成功している。フィッシュントラック法の導入は古地磁気と結びつき、前述の日本海拡大モデルにつながっている。また年代測定法にはその年代時計の出発する閉鎖温度があり、各種の年代測定法ごとに閉鎖温度が異なることが知られている。このことを利用して領家帯の上昇とそれに伴う熱的変動の研究もなされるようになった。

5、おわりに

ここまで述べた以外にも松山教授とその門下生は多岐にわたる分野の研究を行っているがその一部を紹介する。松山教授が米国シカゴ大学留学時、チェンバーレン教授のもとで厳寒の季節に氷の結晶の応力に対する時間的变化の研究をしている。これは後のレオロジーの先駆けとなる研究であり、この研究を記念して南極半島グラハムランドのステファン山麓氷原に近い海中の岩石群に Matuyama Rocks という地名が 1982 年に贈られている。この研究は松山教授の後継教授、熊谷直一および伊藤博文（大阪府立大学）らによる 30 数年に亘る岩石流動実験につながった（熊谷 1991）。その他、松山教授は中村新太郎教授とともに丹後地震、北丹後地震の調査をされ、長さ 18 km、水平ずれ最大 2.7 m の郷村断層を発見している。また同時に城崎温泉にも興味を持ち温泉学、水理学などの応用地質学分野の研究も始めている。

参考文献

- Gravity Research Group in Southwest Japan (2001): Gravity Database of Southwest Japan (CD-ROM)
- 東中秀雄 (1967) : 京都大学における重力原点、九十九地学、第 2 号
- 東中秀雄 (1968) : 日本国内初期の重力測定、九十九地学、第 3 号, 25-37
- Kawai, N. (1951): Magnetic Polarization of Tertiary rocks in Japan. *J. Geophys. Res.* Vol. 56, No. 1, 73-79
- Kumagai, N. (1940): Studies in the distribution of gravity anomalies in North-East and the central part of the Nippon Trench, Japan. *Jap. Jour. Astro. Geophys.*, 11, No. 3,
- 熊谷直一 (1991) : 花崗岩流動室内実験継続 30 年記念論文集、吉岡書店
- Matuyama, M. (1918) : Determination of the Second Derivatives of the Gravitational Potential on the Jaluit Atoll, *Memoirs of the College of Science, Kyoto Imperial University*, Vol. 3, No. 2, 17-68.
- Matuyama, M. (1929) : On the direction of magnetization of basalt in Japan, Tyosen and Manchuria, *Proc. Imp. Acad. Japan*, Vol. 5, 203-205.
- Otofuji, Y and T. Matsuda (1983): Paleomagnetic evidence for the clockwise rotation of Southwest Japan., *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 62, 349-359.
- Sasajima, S. and Y. Wang (1984): The Recent Research of Loess in China.. Kyoto Institute of Natural History, Kyoto, 42-48.
- 笹嶋貞雄 (編著) (1991) : 物理地質学その進展 (株) 法政出版
- 笹嶋千鶴子・前中一晃 (編著) (2003) : 「新編 今始庵だより—地球科学者松山基範の世界—」 (私家本)
- 前中一晃 (2006) : 日も行く末ぞ久しき—地球科学者松山基範の物語, (株) 文芸社,

(著者略歴)

西村 進 : 1932 年生まれ。京都大学理学部地質学鉱物学科卒、同大学院地質学鉱物学専攻博士課程修了、京都大学理学部地質学鉱物学教室助教授、教授 (物理地質学講座第 5 代教授) を経て 1996 年退官、京都大学名誉教授。特定非営利活動法人シンクタンク京都自然史研究所理事長。専門は物理地質学、温泉学など。

西田潤一 : 1943 年生まれ。京都大学理学部地質学鉱物学科卒、同大学院地質学鉱物学専攻博士課程修了、大谷大学文学部助教授、教授を経て 2008 年退職、大谷大学名誉教授。専門は物理地質学。