

報 告

岩石物性の先駆的研究者としての長岡半太郎

Hantaro Nagaoka and his pioneering works in rock physics

熊澤峰夫*

Mineo Kumazawa*

Key words : *flexure and torsion experiments, elastic waves, logarithmic creep, Imperial Earthquake Investigation Committee*

長岡半太郎(1865-1950)は、原子模型の提案(Nagaoka, 1904 a, b)によって国際的名声を博した卓抜な物理学者であり、同時に黎明期にあった日本の学問的行政的リーダーでもあった。「長岡半太郎伝」(板倉ほか, 1973)には、長岡の出生と思想形成から研究課題とその社会的背景まで、さらに研究成果やその歴史的立場付けなどについて、豊富な資料にもとづく詳しい説明や考察がある。本稿ではこれを参考にして、彼の岩石物性の研究とその背景を紹介する。

1891年(明治24年)10月28日の濃尾地震の発生と、その大きな被害を契機に、日本は震災予防調査会を機敏に設立(1892年6月25日)し、国を挙げて地震と防災の研究に着手した。当時27歳だった長岡はこの調査会の常任委員に任命され、地震研究に携わった。1892年10月には田中館愛橘・中村精男・大森房吉・長岡半太郎による「地震計調査第一報告」が提出されている(田中館ほか, 1892)。翌年この4名の意見であるとして、東洋学芸雑誌に発表された「地震学研究に関する意見」(田中館ほか, 1893)は、おそらく世界で最初の地震予知研究計画ではなかろうか。目標は防災にあるが、その基本的考えは“波動力学と地殻物理学の基礎研究に基づくべきであり、各種の観測をおこないその状態の変遷によってはじめて予知予報の方法を講じることができる”というものである。具体的には諸観測の方策から地震学に関する出版広報、日本での国際会議の開催までを提案している。基本戦略については、驚くべきことに100年以上後の地震予知研究計画と変わるところはない。1923年の関東地震で首都に壊滅的な被害をうけた日本は、2年後震災予防調査会を廃止して地震研究所を設立した。その直後東京大学理学部を定年になった長岡は、地震研究所の所員待遇の囑託となった。その後大阪大学設立時の初代総

長、貴族院議員や学士院院長など多数の要職を務め、高い見識をもった発言をしつつも研究の手を休めることがなかった。1950年85歳のとき書齋で研究中に急逝するまで、主たる関心対象の物理学だけでなく地球物理学の研究も精力的につづけていた。長岡の地球物理学研究は、地磁気や重力分布の観測から数理科学的な方法を駆使した地球内部構造論や各種の波動論のほかに、実験的な岩石物性の研究まで広範な課題に及ぶ。地震、火山、電磁波や津波、さらに現在の言葉でいうテクトニクスまで論じて膨大な数の論文を発表している。超高圧研究にも資金と人材を投資している。研究のスタンスは観測的に使う波動の理論的解析と物質科学的理解とのリンクを強く意識していたように見える。アプローチの基本は数理科学に準拠して演繹的で、大森房吉らのどちらかというと帰納的で事例現象的な地震研究と意見の合わない面があったようである。ここでは、別報(熊澤・清水, 2006)の超低速度変形実験装置の設計製作で私たちがお世話になった長岡振吉氏(半太郎の八男, 1914年生まれ)との接点である岩石力学的な研究を紹介する。

震災予防調査会の研究として、長岡は約80個の多種の岩石試料に曲げとねじりの応力を与える装置を作成し、それを使って応力-歪関係を測定した(Nagaoka, 1900 a, b; 第1図)。その結果からヤング率と剛性率をもとめ、弾性波速度を計算し、当時観測されていた値との比較や地震波の特徴の解釈をめぐるさまざまな考察を行っている。この路線の研究は、さらに日下部四郎太に引き継がれ(Kusakabe, 1903, 1904, 1906)、力学物性の周波数依存性についての研究に発展した。しかし、1907年の日下部の外国留学と東北帝国大学赴任によって、この研究の流れは残念ながら途絶えた。長岡たちが見つけた事実と斬新な考えを現在のわれわれの言葉で解釈すると次の4つに集約できるであろう。

(1) 硬い結晶質の岩石でも応力水準が非常に小さくないかぎり、弾性体のフックの法則に従わない。岩石には流動による大きな余効がある。

(2) 試料の弾性波速度は地震波速度と比較して著しく小さい。観測されている地震波動の特徴を説明するために、深部で圧力の効果で弾性定数が大きくなっている、または地球内部に不均質があり表層と異なる物質があると推定した。

(3) 弾性定数には著しい異方性が存在し、それは岩石の受けた応力や変形組織(したがって地球の変動)に関わる。

(4) 一定応力を与えた場合、岩石の流動変形(歪)は経過時間の対数に比例する。すなわち歪速度は時間に逆比例する。これは余震数が本震後の時間に逆比例して減少すること(大森公式)に対応する。

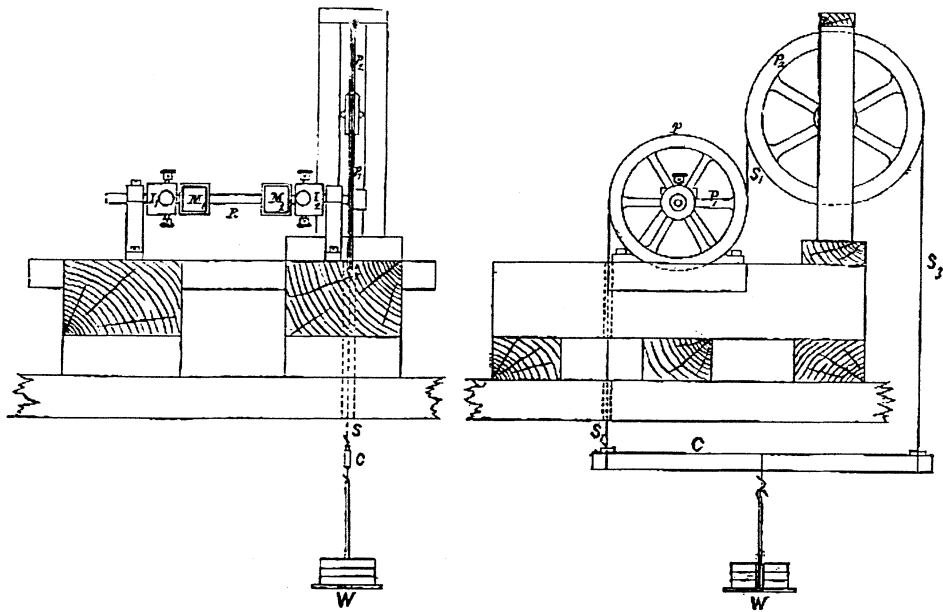
地質学的観点にたつ岩石の実験的流動と変形組織の

2005年4月5日受付

* 静岡大学理学部生物地球科学教室

Institute of Geoscience, Shizuoka University, Shizuoka 422-8259, Japan

solid iron frame. The central steel cylinder protruding from I_2 was filed down to a sharp knife edge on its axis, coinciding with the central line of the prism. An agate plane attached to another solid iron frame supported the knife edge and the twisting pulley P . To the cylinder above referred to, a pulley P_1 of 14 cm. diameter was firmly fixed ; a flexible string s_1 attached to a pin p on the circumference of the pulley passed over it, and was tied to a light wooden cross bar c . Another string s_2 was attached to the pulley, and instead of passing over it, was slung around another pulley P_2 such that the line of passage s_2 from P_1 to P_2 was vertical. The string on going over P_2 in



the opposite direction as the former string was again let down vertical and attached to the cross bar. By hanging the weight at the middle of the bar, the tension was the same in both strings and gave rise to a couple = radius of the pulley \times weight. By this arrangement, the knife edge did not support the load producing the twisting couple.

第1図 震災予防調査会欧文報告に発表された長岡半太郎の論文 (Nagaoka, 1900 a) の1ページ.

観察は1890年代にはすでに始められており、Adams and Nicolson (1898, 1901) によって高温高压実験の装置とその実験結果が報告されていた。しかし当時、断層は地震の(結果であって)原因であるという考えも薄く、地殻とマントルという観念もまだない時代であった。長岡らは地震の理解に地球の動的な構成を理解する手立てとして、この研究に着手したものと推理できる。上の(1)~(4)は観測科学と物質科学の接点にあって、定量性をもつデータと鋭い物理的洞察に基づいて、現在でいうテクトニクスの基本的物理に踏み込んだものであった。特に(4)の対数クリープは、約30年後になってGriggs (1939, 1940) が再発見し、その門下生ら (Heard, 1963; p. 164) によってGriggsクリープと呼ばれることになった。長岡たちの一連の論文と読み比べてみれば、実験的岩石物理学の源流は日本にもあって、しかもその国際的なレベルは高く、先駆性もあったことがわかる。日本の近代科学の黎明期はのっけから外国追従ではなく、研究の現場は世界の最先端にとりついていたのだ。長岡は、東洋人には科学的創造性の資質が存在しないのではないかと疑問をもって大学を一年間休学して中国の歴史などを勉強した。その結果、確信をもって科学研究を目指す決意で復学した。そこには、近代科学の出発に遅れた日本の国粹主義の影はあるものの、本質的で基礎的な理解へ向けた強い憧れと高い見識の源があると考えられる。

この分野における長岡と日下部の他の論文は、震災予防調査会報告 (Publications of the Imperial Earthquake Investigation Committee in Foreign Languages) に出版された。下記の引用ではPubl. EIC. と省略した。初期の出版ではImperialという語が付いていない。これは恐らく当時の国際環境の中での社会的状況を反映しているのであろう。震災予防調査会報告には縦書きの日本語版もある。縦書きの論文で数字や数式を表現すること、論文に必ずしも文献の引用がないこと、出版年と冊子の号の順番が合っていないことなど、現在とは習慣やスタイルも異なっている。これらは上に引用した「長岡半太郎伝」ともども一見一読に値すると考える。それは黎明期における日本の科学界の状況や社会の推移がわかっておもしろい上に、極めて教訓的で刺激的だからだ。

われわれの研究は、長岡半太郎達の先駆的研究の流れを受け継いだ延長上にある。われわれはその上に新しい研究を積み上げて、それを次の世代の流れに継いで行こうとしている。100年前でもすでにこうだった、と長岡らの研究とその意義を強く意識すると、今自分たちがやっている研究の目標や方法に、事例研究に留まらないもっと本質的な理解にむけた刷新的な飛躍がほしくなる。

謝 辞

本稿の作成に手を煩わせた清水以知子氏に感謝する。

文 献

- Adams, F.D. and Nicolson, J.T., 1898, Preliminary notice of some experiments on the flow of rocks. *Rept. 67th Meet. British Assoc. for Advancement of Sci.*, 642-643.
- Adams, F.D. and Nicolson, J.T., 1901, An experimental investigation into the flow of marble. *Philosoph. Trans. Royal Soc. London, Ser. A*, **195**, 363-405.
- Griggs, D.T., 1939, Creep of rocks. *Jour. Geol.*, **47**, 225-251.
- Griggs, D.T., 1940, Experimental flow of rocks under condition favoring recrystallization. *Geol. Soc. Bull.*, **51**, 1001-1034.
- Heard, H., 1963, Effect of large changes in strain rate in the experimental deformation of Yule marble. *Jour. Geol.*, **71**, 162-195.
- 板倉聖宣・木村東作・八木江里, 1973, 長岡半太郎伝。朝日新聞社, 東京, 797 p.
- 熊澤峰夫・清水以知子, 2006, 日本における固体圧変形実験装置の開発と研究の系譜。構造地質, no. 49, 5-14.
- Kusakabe, S., 1903, On the modulus of rigidity of rocks. *Publ. EIC.*, No. 14, 1-73.
- Kusakabe, S., 1904, Modulus of elasticity of rocks and velocities of seismic waves with a hint to the frequency of after-shocks. *Publ. EIC.*, No. 17, 1-48.
- Kusakabe, S., 1906, A kinetic measurement of the modulus of elasticity for 158 specimens of rocks, and a note on the relation between the kinetic and static moduli. *Publ. EIC.*, No. 22, 27-49.
- Nagaoka, H., 1900 a, Elastic constants of rocks and the velocity of seismic waves. *Publ. EIC.*, No. 4, 47-67.
- Nagaoka, H., 1900 b, Elastic constants of rocks and the velocity of seismic waves. *Philosoph. Mag.*, **50**, 53-68 (reprinted from Nagaoka 1900 a).
- Nagaoka, H., 1904 a, On a dynamical system illustrating the spectrum lines and the phenomena of radio-activity, *Nature*, **69**, 392-393.
- Nagaoka, H., 1904 b, Kinetics of a system of parti-

cles illustrating the line and the band spectrum and the phenomena of radioactivity. *Philosoph. Mag. (6th Ser.)*, **7**, 445-455.

田中館愛橋・中村精男・大森房吉・長岡半太郎,
1892, 地震計調査第一報告. 震災予防調査会報告,

No. 1, 40-42.

田中館愛橋・中村精男・長岡半太郎・大森房吉,
1893, 地震学研究に関する意見. 東洋学芸雑誌,
No. 10, 206-213.