

田中館愛橘と磁気嵐急始の問題*

永野 宏** ・ 佐納 康治***

物理学教室 *情報システム研究室

On Aikitu Tanakadate's International and Domestic Activity on the Subject of Sudden Commencements of Magnetic Storms

Hiroshi NAGANO

Laboratory of Physics, Asahi University

and

Yasuharu SANO

Laboratory of Information System, Asahi University

Abstract

The present paper reveals the international and domestic activity of Aikitu Tanakadate (1856-1952) on the subject of sudden commencements (shortened into SC) of geomagnetic storm. His activity for SC has scarcely been known at present. His activity is described for three periods in this paper.

In the first period (1903-1923), he made efforts for the establishment of geomagnetic observatories in Japan, and for the observations of SC's and geomagnetic pulsations, according to the suggestion in the international meeting. He did not participate in the international network of SC investigation in this period.

In the second period (1924-1930), he took an active part in SC investigation as the chairman of the international committee of magnetic storm SC, on the recommendation of L. A. Bauer, a well-known American scientist for terrestrial magnetism.

In the third period (1930-1940), he took again an active part as the chairman of the international committee for magnetic storm SC, at the time of the Second International

*日本科学史学会第46回年会 (1999年5月) で発表

Polar Year (1932–1933). He often reported SC data observed in Japan, at the international meetings.

1. はじめに

19世紀中頃に、地磁気の変化を写真感光紙上に記録する方法が導入された。1日1回転する円筒に巻き付けられた記録紙からなる自動記録¹⁾によって、地磁気はときどき著しく乱れることが判明し、磁気嵐と呼ばれるようになった。多くの磁気嵐は、急始 (sudden commencement; 略称 SC) と呼ばれる世界中一斉に始まる水平分力の増加で特徴づけられ (図1参照),

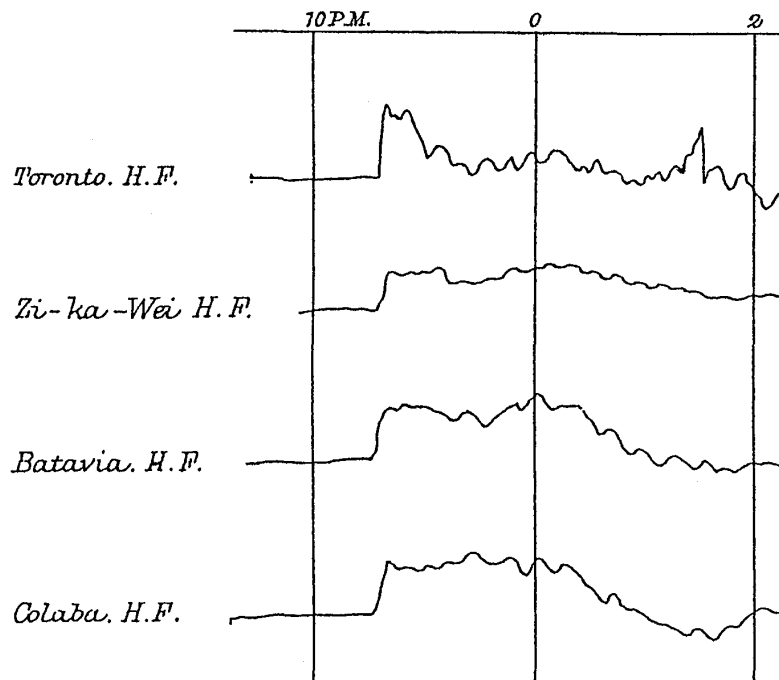


図1 磁気嵐 SC の例 (W. G. Adams (1892)²⁾による1885年6月24日の SC)
H.F.は水平分力を示す。

この SC の開始時刻が地上で同時に起こるのか、それともこの変動が伝播性なのかが長い間解明できず、世界中の地磁気学者を巻き込んだ大問題となった。これは、磁気嵐の機構を考える上で重要な問題であり、更には当時、地磁気の本質を明らかにする上でも、この SC 現象の解明がその手がかりを与えるかも知れないと考えられたためでもあった。

我が国の物理学、並びに、地球物理学の創始者である田中館愛橋 (1856–1952) は、1924年から国際的な磁気嵐 SC 委員会の委員長となり、この問題に関わったことが事実として知られている。しかしながら、今までその内容は明らかではなかった。すなわち、田中館が具体的に

どのような形でどの程度、磁気嵐 SC の問題に関与したのかについては、一般に知られていなかった。

本稿では、田中館が SC の問題と関わった時期を 3 期に分けて、各期での田中館の活躍を明らかにする。

先ず第 I 期 (1903-1923) においては、1903 年の国際会議で、敏感な自記磁力計による地磁気の急激な変化を研究することが問題となったことから、田中館は震災予防調査会の仕事として、京都上賀茂や三崎油壺で SC や地磁気脈動を観測しようと尽力した。地磁気脈動については、三崎油壺での観測結果を解析した寺田寅彦の研究があるが、SC についての研究はされなかった。

国際的にはこの時期、磁気嵐を詳しく観測して各地ほぼ同時に SC が起こるといった定性的な研究発表がなされたのに対して、著名な米国の地磁気学者 L. A. Bauer は定量的な研究から SC の伝播性を主張した。しかしながら、多数の磁気嵐のデータを用いた研究からでも SC 現象の同時性か伝播性かの問題の決着は付かなかった。この時期、田中館は SC 研究のこの国際的なネットワークには未だ参加していなかった。

次の第 II 期 (1924-1930) においては、1924 年の国際会議で Bauer により磁気嵐 SC についての国際的な研究計画が提案され、組織化が行われていった。Bauer は田中館をこの計画の委員長に推薦し、委員会は新しい観測機械を開発し、世界中の主要な観測所にそれらを設置することを決めた。田中館は各国の地磁気学者の意見の取りまとめを行い、会議で報告を行うなど、この計画の推進に大いに尽力した。しかしながら、基金不足と、Bauer のカーネギー研究所での地位喪失などが原因で、この計画は断念せざるを得なくなった。

この時期、我が国では田中館の指導の下に、小野澄之助が SC を精密に観測するための高感度磁力計の製作を行った。

最後の第 III 期 (1931-1940) においては、第二回国際極年観測 (1932-1933) が計画され、地磁気早廻しの世界同時観測が実施されたことによりデータ収集が進み、再度 SC 現象の同時性か伝播性かの問題が調査された。今回は田中館自身がこの研究計画を提案し、田中館は国際磁気嵐 SC 委員会の委員長としてこの問題で中心的に活躍した。我が国では、中央气象台が早廻し高感度磁力計を製作して SC の観測を行い、また、小野も観測を行った。これらの SC に関する観測データは、世界の他の観測所データとともに田中館により国際会議で報告された。

これらの早廻し高感度磁力計により観測の時間精度は上がったが、SC の波形は複雑で幾つものタイプがあったために、正確な開始時刻を決めることは依然として難しかった。このために、田中館の国際的な活躍があっても、その当時 SC 現象の同時性か伝播性かについての決着には至らなかった。

戦後の国際地球観測年 (International Geophysical Year ; 略称 IGY, 1957-1958) 以後、

この期間の世界中の観測データを用い、田中館の SC 研究の伝統を引き継いで我が国の多くの研究者が精力的に取り組んだ。その後、人工衛星データと地上データとを有機的に結合させることにより、SC の全体像の把握の研究も進展し、SC 現象の同時性か伝播性かの問題に決着がなされた。

本稿では、国際的な SC 研究の発展の中での田中館の果たした役割を明らかにし、更には、この田中館の国際的な活躍が、その後の我が国の SC の研究、ひいては、地球電磁気学の発展にどのような影響を与えたかについて、科学史的意義を検討する。また、SC に関する問題の歴史的な流れの中で田中館の役割を把握するために、各時期での SC 研究の世界的な動向も簡単に付記することにする。

2. 第 I 期 (1903—1923) での田中館の国内での観測推進

(2.1) 洛北上賀茂地磁気観測所での観測

1891年の濃尾大地震を契機に、震災予防調査会が設立された。この会の委員であった田中館愛橋（当時帝国大学教授）の提案により、震災予防調査会の仕事として地震との関連で地磁気の時間変動を観測することになった。このためにマスカル（Mascart）式自記磁力計をフランスから購入して、根室、仙台、名古屋、熊本に設置した。1902年2月1日から1年間実施された「地球磁力の国際同時特別観測」に我が国も参加することになり、観測条件の良い京都上賀茂に臨時地磁気観測所を設置し、名古屋よりマスカル式磁力計を移設して観測に当たった³⁾。

1903年8月に開催された万国測地学協会（International Association of Geodesy）のコペンハーゲン総会において、敏感な自記磁力計による地磁気の急激な変化を研究することが問題となった。そこで、この会に出席していた田中館は、我が国でも磁気嵐 SC や地磁気脈動を観測しようと試みた。京都上賀茂の臨時地磁気観測所を正式な洛北上賀茂地磁気観測所として1904年1月に発足させ、震災予防調査会の仕事として観測を開始させた。

田中館愛橋の愛弟子であり、当時京都帝国大学助教授であった新城新蔵が、震災予防調査会よりこの観測所での地磁気観測方監督を委嘱されて観測に当たった。早廻し（rapid-run と呼ばれる）での記録用の写真感光紙を節約するために、毎月2回ずつ1時間だけの記録を採ったが観測はできなかった。この短い時間内に地磁気の急激な変化が運良く起こる確率は余りに小さいために、うまく観測ができなかったのであろうと田中館は考えた。そこで次には、毎日昼夜を通して連続早廻し記録を採ることに改めたが相変わらず観測ができず、結局は、マスカル式磁力計では時定数が長すぎて本質的に無理であることが分かり、1909年にこの観測は打ち切られた。

この時、田中館は感光紙の節約のためにオプチカル・トラップ（光学的罟）と名付けられた装置の利用を提案したが、これは後年、三崎油壺の観測で使用されることになる⁴⁾。残念なことに、この時の観測記録紙は、1923年の関東大震災で消失してしまっている。

(2.2) 三崎油壺での地磁気観測

次に田中館は、時定数の短い高感度で早廻しの磁力計を門岡速雄（当時東京帝国大学講師）に命じて考案させ、三崎油壺の東京帝国大学臨海実験所近くの海岸に面した傾斜地に横穴を掘って設置し、1910–1914年の期間、観測を行わせた。これも震災予防調査会の仕事としてであり、地磁気3成分を感度は約 $0.15\gamma/\text{mm}$ で、時間精度は約 $17.8\text{s}/\text{mm}$ 、即ち、約 $20.2\text{cm}/\text{h}$ の高感度早廻しで観測した⁵⁾。毎日の観測値校正が必要であったため、観測者である学生達は現地に泊まり込んで観測を行ったが、特に梅雨時の湿気には悩まされたという。1911年夏に、責任者の門岡速雄が東京帝国大学を退職した後は、寺田寅彦（当時東京帝国大学助教授）が責任者となった。

寺田はここでの観測データを解析して、1916年10月に開かれた田中館の教授在職25年祝賀会の席で田中館に捧げるために、地磁気脈動に関する論文⁶⁾を提出した。現在でいうところの Pc 3（10–45s）、Pc 4（45–150s）に相当する周期を持つ地磁気脈動の日変化特性や偏波特性について調べた上で、地殻の電磁応答も考慮して、当時存在が確実視されていた上空の導電層（後の電離層）内を流れる準定常電流の日変化によって、観測された地磁気脈動の日変化を説明することを試みた。地磁気脈動に関する論文としては、当時としてはほぼ完璧な内容であったといわれている⁶⁾。

しかしながら、地球電磁気学の専門書として有名な、1938年発行の S. Chapman と J. Bartels 共著の *Geomagnetism*⁷⁾ には、寺田の論文は紹介されていない。これは何故であろうか。寺田のこの地磁気脈動の研究が、国際的には当時どのような評価であったのかが気にかかるところである。寺田の移り気の研究姿勢からこのテーマに関する後の論文が続いておらず、単発的な論文であったことも影響していたのであろうか。当時の外国では、オランダの W. van Bemmelen やドイツの G. Angenheister が早廻し磁力計を用いて地磁気脈動の研究を行っていた⁸⁾。

油壺の観測では当然の事ながら磁気嵐 SC についてのデータも取得していたはずであるが、解析はしていない。早廻しであるので、SC も急激な変化ではなく、なだらかな勾配の変化になることを、寺田も田中館も気が付いていた⁹⁾が、SC についてのデータ解析は行われていない。これは、観測数が少なかったことや、1ヶ所の観測だけでは不十分であると考えたためかも知れない。地磁気脈動についても同様に認識したために、その後の研究が続かなかったのかも知れない。後述するように、後（1927年）に小野澄之助がこの磁力計を改良して、より高感度なものを製作し、SC の観測を行っている。

(2.3) その当時の SC 研究の世界的な動向

19世紀末から20世紀初頭にかけて英国の W. G. Adams や W. Ellis らにより、地球上の広範囲に亘る観測データから、磁気嵐は地球上ほとんど同時（数分以内）に起こるという研究が発表された¹⁰⁾。これらの定性的研究は、nomal-run と呼ばれる通常の磁気記録によったため、時間精度は約 $2\text{ cm/h}=0.33\text{ mm/min}$ であった。

これらの定性的な研究に対して、Bauer は1910年に初めて定量的な研究を発表し、新たな問題提起を行った¹¹⁾。Bauer は、米国の沿岸測地測量局 (Coast and Geodetic Survey) の R. L. Faris が観測したデータ (時間精度 2 cm/h) を初めとする世界中の25カ所の観測値を用いて、1902年5月8日に起こった磁気嵐 SC¹²⁾について調査した。25の観測所を地域的に3つのグループに分けて、地磁気3成分のそれぞれの平均値を調べた結果、SC は主として西方より東方に進行し、地球を一周するのに3.5–4分を要するという結論を出した。何故、Bauer はSC が伝播すると考えたのであろうか。これは、この磁気嵐が起こった同じ時刻 (約2分前) に、モンプレー火山 (西インド諸島マルチニーク島) の大爆発があり、それにより電流が流れて広範囲に磁場変化が生じたと最初考えたこと¹³⁾に影響されたと思われる。また、Faris も1906–1909年の間の15個の磁気嵐について5カ所の観測データを調べて、やはり Bauer と同一の結論を得たと発表した¹⁴⁾。

更に Bauer は、太陽からの放射や微粒子放出の効果が、地球大気を電離して導電層を作り、常に存在する電場により磁気嵐の間に大気電流系が生み出されるという磁気擾乱に関するイオン理論を提出した¹⁵⁾。これによると電流の速さは約 181 km/s であり、地球1周には3.75分かかると主張した。また、1882–1909年の期間に利用できる38個の突然の磁気擾乱について調査し、磁気擾乱は主として西方より東方に進行し (ある場合には逆方向)、その速さは $100\text{--}200\text{ km/s}$ であり、地球を一周するのに3–7分を要すると報告した¹⁶⁾。

Bauer の論文が発表されると、多くの地磁気学者がこの問題に注意を喚起されて論争が生じ、*Nature* 誌に次々に論文が掲載されるほどの大問題になった。Bauer への反論の論拠は何であったのであろうか。例えば英国の O. Krogness は「通常の磁気記録紙では1時間が20mmであり、1分は1/3mmである。器械の誤差もあり、1分が正確さの最少の限界である。baseline がカーブしているなどの不正確さなどから、数分の不確かさも生じるであろう。」と述べ、Bauer と Faris とは時刻がどのように正確に測定できたのかについて記述していないと主張した。また、Faris の観測した5つの米国観測所データの平均と、ポツダムのデータとの差は小さく、誤差の範囲内であった点や、Bauer のポツダムの磁気嵐開始の時刻と自分の読み取り時刻には2分の差があり、それゆえ SC は殆ど同時に起こると考えられると主張した¹⁷⁾。

更に英国の C. Chree は、SC 現象に関しては次の3つが考えられるとして、①異なった場所でも絶対的に同じである；②電磁波の伝搬の割合に相当する非常に小さい時間差である；③

一つの場所から遠い他の場所へは数分の時間差がある (Bauer の主張), を挙げた。そして、この当時の観測設備等の条件では、①と②の区別はできないが、①②と、③との間の区別は不可能ではないであろうと記述して、Bauer のイオン理論が正しいことを実証するには Faris の観測結果では不十分であるとし、時間測定信頼できる観測所だけを選んで注意深く比較を行うべきであると述べた¹⁸⁾。

これに対して Bauer は、*Nature* 誌で Krogness と Chree に反論し、彼等の磁気嵐開始の読みとり時刻の間違いやイオン理論の間違った理解などを指摘していた¹⁹⁾。Chree は Bauer の集めたデータの読み取り値の精度に関して疑問を投げかけ²⁰⁾、それに Faris が反論したり²¹⁾、また、ノルウェーの K. Birkerand が磁気赤道近くのスーダンに設置した早廻し磁力計による磁気嵐 SC の観測と、Faris の観測データとを付き合わせた結果、ほぼ同時刻であったこと²²⁾などを報告した。

Bauer は自分の考えが多くの地磁気学者の反論に遭ったため、1911年には新しい15個の磁気嵐に関するデータ収集を実施した。世界中の32の観測所の助けを借りて、これらの磁気嵐についての3成分の開始時刻や磁場変化の大きさ等を各観測所で決定してもらい、それらのデータを自分の所に送ってもらった。収集したデータを、Bauer 自身が編集している雑誌 *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity* に発表して²³⁾、地磁気研究者に SC が伝播性であることに決着をつけてもらおうと考えたわけであった。しかしながら、Angenheister, Chree や Chapman 等によりこれらのデータが調べられた結果でも、意味のある時間差を見い出せず、Bauer の伝播性の説を支持することはできなかった²⁴⁾。

何故、このデータを用いても未だ SC 現象の伝播性か同時性かが解明できなかったのであろうか。そこには、次の3つの問題点が存在していたと考えられる。第1には、通常の自記記録紙での観測による時間精度 (1.5–2.5cm/h) では、データ解析を行っても各地域による SC の時間差を精度よく摘出するには無理があったことである。第2には、いくら記録紙の方を早廻しにして測定したとしても、磁力計の感度がそれについて行かずに不十分であったことである。第3には、観測された波形が複雑であり、SC の起こる時刻を正確に決めることが困難であったことである。

この期には、田中館は、この SC 研究の国際的なネットワークには未だ参加していなかった。田中館が震災予防調査会による我が国での全国地磁気測量の結果に基づく論文を1904年に出版して²⁵⁾、各国の研究者にその印刷物を送り、その研究内容が国際的に高く評価されて行く中で、田中館が国際的な地磁気学者と認められるようになってゆく。その結果、1919年に発足した万国 (国際) 測地学及び地球物理学連合 (International Geodetic and Geophysical Union; 略称 IGGU) 傘下の地球磁気及び電気学部会 (Section of Terrestrial Magnetism and Electricity; 略称 STME) の初代部会長に推薦されたわけである。田中館は、1922年に部会長を辞し

た後にも、STMEの執行委員として活躍した。STMEが発足する迄は、我が国の地磁気研究者にとって国際的に発表する場がなかったといえる。それゆえ、1919年以前の我が国の地磁気研究が国際的にあまり評価されていなかった一因ともなっていると思われる。

3. 第Ⅱ期(1924-1930)での田中館の国際的な活躍

(3.1) Bauerの計画の下での田中館の活躍

STMEの書記兼中央局長であったBauerは、1924年10月のSTMEマドリッド会議において、磁気嵐SCについての国際的な研究計画を提案した。それは、「SCの起こる正確な時刻を決定するために、非常に高感度な特別の装置を製作し、選ばれた地磁気観測所で観測するための計画」であった²⁶⁾。この案は会議で採択され、実施のための調査委員会が発足したが、Bauerは、この委員会の委員長に田中館を推薦した。委員会では、新しい観測器械を開発し、世界中の主要な観測所に設置する方針を決めた。

そこで田中館は、Bauerの意向に沿って、各国の研究者の意見を集めることにした。磁気嵐SCに関して、観測に適した磁力計や、器機の精度や費用等について9項目からなる質問状を1924年11月に作成し、Bauerを通じて世界の著名な地磁気学者10名(S. Chapman, C. Chree, E. van Everdingen, J. Jaumotte, C. Maurain, L. A. Bauer, A. C. Mitchell, L. Palazzo, L. Rodés, S. J., A. Schuster)と1機関長(米国沿岸測地測量局長)に送付し、1925年5月末までの期限付きの回答を求めた²⁷⁾。田中館資料²⁸⁾の中にある、この送付に関するBauerから田中館への書簡²⁹⁾の中で、「試みられるべきいかなる明確な計画も、あなたは提案していないように思える。あなたが明確に推薦できるものを、一番の簡便さで私に知らせてもらえないでしょうか。」と記述されているように、田中館は各国の研究者から公平な意見を聴取しようとしたことが窺える。

この質問状に対する各国の研究者からの回答が、田中館宛に多数来たことが、田中館資料から分かる³⁰⁾。殆どの研究者が通常の磁力計での観測で、時間精度が20mm/h、感度が数 γ /mmの程度で良いとしていて、早廻しは労力と経費に問題があると意見を述べていた。田中館は、その時点までの7名からの返事について各々の項目の意見を取り纏めて、1925年8月に報告書“A report upon the inquiry on the study of sudden commencement of magnetic disturbances”をSTMEに提出している³¹⁾。

その後、英国の地磁気学者A. C. Mitchellが誘導型変化計(固定コイル中の誘導電流 dV/dt の測定装置; V は地磁気の垂直成分)を考案し、地磁気水平成分と偏角との変化により、 $2\gamma/mm$ のオーダーの感度が期待されていると伝えてきた³²⁾。Mitchellと手紙のやり取りを行う中、田中館は考案中の磁力計の素描画も送ってもらって有効性も把握した。そこで、1926年11月に

報告書“Preliminary report on sudden commencements of magnetic storms”をSTMEに提出してMitchellの磁力計を紹介している³³⁾。1927年9月のSTMEプラハ会議では、解決すべき問題の一つとして、SCの開始時刻の研究が採択され、田中館による報告書“Report of the committee on investigation of sudden commencement of magnetic storms”が提出された³⁴⁾。これによると、SC委員会ではMitchellの磁力計が便利さの点で認められて、Mitchellにより試作中であると報告されている。また、小野澄之助が高感度磁力計を考案し、柿岡地磁気観測所で試験中であることも報告された。

このようにMitchellの誘導型磁力計が計画されたが、基金不足と、Bauerのカーネギー研究所での地位喪失（1927年に地磁気部長解任）とにより、この計画は断念せざるを得なくなった。

(3.2) 田中館の指導の下での小野澄之助の高感度磁力計の製作

田中館の愛弟子であった小野澄之助（当時中央気象台技師、1929年からは東京文理科大学教授）は、田中館の指導の下にSCの問題に関する幾つかの報告書を発表した。1927年には、柿岡地磁気観測所のエッセンハーゲン（Eschenhagen）型磁力計での通常の磁気記録（20mm/h）による12個のSCデータについて報告している³⁵⁾。それによると、SCには色々なタイプがあり、データの精度から見てSCの開始時刻を決定するにはnormal-runの磁気記録では不正確であるとし、新しい高感度磁力計を準備中であると報告した。田中館は、この報告書を各国の地磁気学者に送っている。

小野により開発されたSC研究のための磁気測定装置は、 $0.5\gamma/\text{mm}$ の感度を持ち、時間精度は18cm/hであった。小野の論文³⁶⁾によると、この装置は、門岡により考案されて三崎油壺での観測に使用されたものを改良したものであった。改良点は、簡単な調整と操作とにあり、磁針を吊るすものとしては、水晶繊維を使用し、望まれる感度にまで調整することが可能になったという。小野は柿岡地磁気観測所に設置したこの高感度磁力計を用いて、地磁気3成分についてSCの開始時刻と変動分を測定し、その結果の報告書を提出した³⁷⁾。田中館は小野の磁力計に関する論文と、観測結果の報告書を各国の地磁気学者に送り、意見を聞いている。

(3.3) その当時のSCの同時性か伝搬性かについての研究の動向

1925年にBauerとW. J. Petersは、Farisが用いた1906–1909年のデータを整理し、更に1909–1925年については南半球の新設観測所のデータも利用して調査した結果、次の結論を得た。磁気嵐は地球上各地において同時に起こるものではなく、その進行方向は東西方向に関しては不安定であるけれども進行の速さは約1,000km/sである（以前は100–200km/sであったので、大幅に増大させたことになる）。また、磁氣的緯度に関しては赤道から極の方向へ約100

km/sの速さで進行するとした³⁸⁾。南北方向への時間差を算出したのはこの論文が最初であった。

一方、Chreeは、STMEのSCの調査に最も適切な新装置や観測場所の決定を促進させるために、SC開始時刻に関する問題点のレビューを発表した³⁹⁾。また、H. W. L. Absalomは、スコットランドのエスクダレマイアでの、Mitchellにより開発された誘導型変化計を用いた観測結果と、通常の磁力計での南北成分・東西成分、並びにポツダムの水平成分の各測定値からSCの開始時刻を導出・比較することにより、2地点での意味のある時間差は見い出せなかったと報告した⁴⁰⁾。

その当時の我が国での磁気嵐SCの研究としては、岡田武松（当時中央気象台長）が、柿岡と米国のチェルトナムの地磁気データから1926年1月27日の磁気嵐は約70km/sの速さで東から西の方へ進行したことを示している⁴¹⁾。

4. 第三期（1930—1940）での田中館の国際的な活躍

(4.1) 第二回国際極年観測（1932—1933）と田中館の国際SC委員会委員長としての活躍

1930年に第二回国際極年観測の計画が持ち上がってきた。そこで、田中館は再度のSC観測実施への積極的な働きかけを行った。田中館はIATME⁴²⁾の書記兼中央局長であったC. Maurainへ書簡を送り、極年観測でのSCに関する観測の重要性を述べ、観測プログラムの中に含めるべきであると提案した⁴³⁾。それにより、地磁気早廻しの世界同時観測が実施され、再度、SC現象の同時性か伝播性かの問題が研究されることになった。田中館が引き続いて国際磁気嵐SC委員会の委員長となることも決まった。

田中館は、第二回国際極年観測開始直前の1932年5月に開催された、天文、気象・地磁気、電波関連の地磁気に関する合同会議において磁場擾乱のSCについて報告している⁴⁴⁾。1932年8月から1年間、第二回国際極年観測が実施された。1933年7月には、田中館とMaurainとによるIATME回状が出された。その内容には

「中央気象台長の岡田博士から柿岡と豊原の両方で早廻しの磁力計により良好に観測された3つの磁気嵐SC（1932年10月24日、1933年4月30日、1933年5月29日のSC）を連絡してきた。他の観測所での早廻しの磁力計により観測された時刻と比較するために、これら3つのSCの観測記録のコピーを送って下さい。次のリスボン会議で報告します。」

とあった⁴⁵⁾。

1933年9月のIUGGのIATMEリスボン会議では田中館がこれらの3つのSC開始の時刻に関して「29カ所の観測所からえられたデータを調べた結果、記録の精度では、開始は全世界殆ど同時刻であり、その進行速度を確かめ難かった。」と報告した⁴⁶⁾。

J. Egedal は、田中館が報告したデータから、「①このような材料から伝播速度を出すことは不可能である。②地球の半径に等しい距離を磁気嵐が伝播するには1分以上を要しない。」との結論を1934年に報告している⁴⁷⁾。

更に、田中館は1936年9月に開催されたIUGGのIATME エジンバラ会議でも、日本で観測されたSCに関して報告書を提出した⁴⁸⁾。

(4.2) 田中館の提唱に基づく我が国でのSCの観測実施

田中館は第二回国際極年観測での国内での観測計画推進のために、1931年、学術研究会議の中に国際極年小委員会を発足させた。田中館はその委員会の委員長となり、観測項目の一つとして磁気嵐SCの観測を推進させた。我が国でのSCの観測は、中央気象台の今道周一（柿岡地磁気観測所長）らによる柿岡、豊原（現ユジノサハリンスク）、青島での同時観測と、東京文理科大学の小野澄之助による下田での観測とがある。

まず最初に中央気象台での高感度早廻し磁力計の製作と、それによるSCの観測実施を見てみよう。高感度早廻し磁力計は中央気象台工作場製作のエッセンハーゲン型単線式で、水平成分のみの測定用であった。自記記録装置は今道提案のものを工作場で改良製作したものであった。時間精度は12-15mm/mim (=0.2-0.25mm/s) であり、同一形式のものを3組製作して、柿岡、豊原、青島に配付して測定を行った⁴⁹⁾。

今道は3観測所での磁気嵐SCの開始時刻を調べて、IUGGのIATMEリスボン会議(1933)、並びに、エジンバラ会議(1936)に田中館を通じて報告し、次のような伝播性の結果を得た。

「①磁気嵐が進行するとすれば、北半球においては磁気赤道から北の高緯度の方へ約100-200km/sである。②磁気嵐の東西方向の向きは決定出来なかったが、西から東へ向かうものでは約800km/sであった⁴⁹⁾。」

また、今道が「SCは早廻し記録をとると極めてゆっくりと変化していて、SCがどこで始まっているかを読み取ることは困難であった⁵⁰⁾。」と述べているように、波形自身は複雑であることが判明した。

一方、1929年に中央気象台を辞して東京文理科大学に戻っていた小野は、下田の東京文理科大学臨海実験所内に観測室を設置して、SCの観測を実施した。以前、小野自身で製作し、柿岡で観測した高感度早廻し磁力計を使用した。観測データは、田中館を通じて、他の観測所データと共にIATMEリスボン会議(1933)で報告された。小野は、柿岡、豊原、下田のデータを用いて、SCは同時性であるとの次のような見解を述べている。

「急始といっても早廻しで記録して見るとかなりの緩慢な変化であるので、採る点によってもかなりの差が出るから、観測時刻の差は殆んど誤差の範囲内と見てよいものである。始発時刻の差が若しあるとしても観測誤差と同程度以下のものである⁵¹⁾。」

(4.3) この期の SC 研究の動向

この期の地球電磁気学上での大きな発展は、Chapman による磁気嵐の理論的解明であった。SC の問題から端を発して、磁気嵐自身の解明の問題へ進展していったわけである。Chapman は弟子の V. C. A. Ferraro と共に、“A new theory of magnetic storms” というタイトルの論文を1931–1933年にかけて、*Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity* に次々に発表し⁵²⁾、太陽からの微粒子と地球磁場との相互作用を論じた。

磁気嵐の SC 自身について見れば、田中館の国際的な活躍がなされても未だ SC の同時性か伝播性かについての問題に決着はつかなかった。早廻し高感度の磁力計により、時間精度は上がったが、波形には幾つかのタイプがあり、正確な開始時刻を決められなかった。波形の地方時、緯度での違いを明らかにする必要があった。

また更に、世界での地球電磁気学研究の最大の関心は、オーロラ現象と結びついた極地方での磁気擾乱の研究の方向へと移って行ったこともあり、この期の SC 現象の同時性か伝播性かの研究は、我が国以外では、それほど活発とはいえなかった。

5. その後の SC の研究（我が国の研究者による精力的な研究）

IGY（1957–1958）での早廻し磁力計による世界的な観測がなされ、そのデータ解析が実施された。田中館の SC 研究での世界的貢献の伝統を受け継いで、1950–1960年代に、主として日本人研究者により精力的な研究がなされた。それらの研究により、SC の波形が4種類のタイプに分けられて、緯度や地方時に対する波形分布が明らかにされた。SC の偏波や、SC に対する電離層での等価電流系も明らかにされた。更に、惑星間空間変化（衝撃波や不連続面）と地上 SC 現象との対応も明らかにされた。

その後、これらの研究を基にし、人工衛星データと地上データとを有機的に結合させて、SC 現象の全体像把握の研究がなされた。その結果、磁気圏・電離圏での3次元的な電流系の構造と電磁流体波の伝播との考慮により、SC 現象は、同時刻に開始される低緯度で卓越する場と極地方で卓越する場との重ね合わせであることが明らかになった⁵³⁾。地上 SC の波形は、これら2つの場の重ね合わせの結果として出現するものであり、緯度や地方時の違いによって、見かけ上 SC の開始時刻が遅れて見えることが明らかになった。ここに漸く SC 現象自身についての同時性が解明でき、20世紀初頭以来の同時性か伝播性かの問題に決着がなされた。

6. おわりに

本論文では、世界での SC 研究の発展の中での、田中館の果たした役割を明らかにした。磁

気嵐 SC 委員会の委員長として国際的な活躍をすると同時に、国内においても SC 研究を積極的に推進していったことが明らかになった。これらのことから、本論文の科学史的意義として次の2点を挙げることができる。第1に、田中館のこの国際的な活躍が、我が国の地球電磁気学研究の国際的な評価を高めることに貢献したといえる点である。第2に、田中館の指導の下に我が国で SC の観測・研究を行ったことにより、戦後にも我が国に SC の研究の伝統が築かれていくことになった。この研究の発展の礎をつくったといえる点である。

このように、第二次世界大戦以前における田中館の国際的な活躍があったからこそ、敗戦国日本でありながらも田中館は戦後も依然として IATME 執行委員であることが認められた。田中館は90歳を越える高齢ではあったが、1948年の国際会議の開催に大いに尽力した⁵⁴⁾。この田中館の活躍が功を奏して、日本の地球電磁気学界の国際的復帰がいち早く成し遂げられ、IGY 以後の発展に繋がったといえる。

文献と注

- 1) この自動記録が普及したのは、第一回国際極年観測実施の時 (1882-1883) である。
- 2) W. G. Adams, "Comparison of simultaneous magnetic disturbances at several observatories", *Phys. Trans. London (A)*, **183**, pp.131-139, 1892.
- 3) "雑報 地磁気観測所", 『東洋学芸雑誌』, **18**(242), pp.479-480, 1901.
- 4) 中村清二, 『田中館愛橋先生』, 中央公論社, pp.112-113, 1943.
- 5) T. Terada, "On rapid periodic variation of terrestrial magnetism", 『東京帝国大学理科大学紀要』, **37**(9), pp.1-85, 1917.
- 6) 永田武, "地球磁気学100年の歩み", 『自然』, 1974年8月号, pp.28-46, 1974.
- 7) S. Chapman & J. Bartels, "*Geomagnetism*", Vols. 1 and 2, Oxford Univ. Press (Clarendon), 1940, 1007p.
- 8) 以下のような代表的な論文が "*Geomagnetism*" に紹介されている。
W. van Bemmelen, "On pulsations", *Batavia Obs. Magn. Met. Obs.*, **29**, Appendix 1-10 for 1906, 1908.
G. Angenheister, "Über die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit magnetischer Störungen und Pulsationen", *Göttinger Nachr., Math.-Physik. Kl.*, pp.565-581, 1913.
- 9) 小野澄之助, "地磁気と地電流竝に其の応用につきて (一) 附 東京物理学校敷地内の断層測定の考察", 『東京物理学校雑誌』, **543**, pp.87-91, 1927.
- 10) 以下の論文を始めとする幾つかの論文が次々に出され、地上では磁気嵐は殆ど同時に起こることが示された。

- W. G. Adams, "Comparison of curves of the declination magnetographs at Kew, Stonyhurst, Coimbra, Lisbon, Vienna, and St. Petersburg", *Rept. Brit. Assoc.*, pp.201–209, 1880.
- W. Ellis, "Correspondence of phenomena in magnetic storms", *Nature*, **23**, Nov.11, pp.33–34, 1880.
- W. G. Adams, "On magnetic disturbances and earth-currents", *Rept. Brit. Assoc.*, pp.463–474, 1881.
- 11) L. A. Bauer, "Beginning and propagation of the magnetic disturbance of May 8, 1902, and of some other magnetic storms", *Terr. Magn. Atmos. Elec.*, **15**, pp.9–20, 1910.
- 12) Bauer 自身は, sudden commencement という言葉は使用せずに, 一貫して abrupt beginning という言葉を用いていた。
- 13) L. A. Bauer, "Notice of magnetic disturbance during eruption of Monte Pelée, Martinique", *Terr. Magn. Atmos. Elec.*, **7**, pp.57–58, 1902.
- 14) R. L. Faris, "Times of abruptly beginning magnetic disturbances, as recorded at the coast and geodetic survey magnetic observatories", *Terr. Magn. Atmos. Elec.*, **15**, pp.93–105, 1910.
- 15) L. A. Bauer, "The physical theory of the Earth's magnetic and electric phenomena –No. I", *Terr. Magn. Atmos. Elec.*, **15**, pp.107–128, 1910.
- 16) L. A. Bauer, "The physical theory of the Earth's magnetic and electric phenomena –No. II", *Terr. Magn. Atmos. Elec.*, **15**, pp.219–232, 1910.
- 17) O. Krogness, "On the simultaneity of 'abruptly-beginning' magnetic storms", *Nature*, **85**(2145), pp.170–171, 1910.
- 18) C. Chree, "On the supposed propagation of 'equatorial' magnetic disturbances with velocities of the order of 100 miles per second", *Proc. Phy. Soc. London*, **23**, pp.49–57, 1911.
- 19) L. A. Bauer, "On the simultaneity of abruptly-beginning magnetic storms" (Letters to the editor), *Nature*, **85**(2149), pp.306–308, 1911.
- L. A. Bauer, "The non-simultaneity and the generally eastward progression of sudden magnetic storms", *Nature*, **86**(2157), pp.9–12, 1911.
- 20) C. Chree, "The non-simultaneity and the generally eastward progression of sudden magnetic storms" (Letters to the editor), *Nature*, **86**(2159), pp.78–79, 1911.
- 21) R. L. Faris, "On the non-simultaneity of suddenly beginning magnetic storms",

- Nature*, **87**(2177), p.78, 1911.
- 22) K. Birkeland, "The simultaneity of certain abruptly-beginning magnetic disturbances," (Letters to the editor), *Nature*, **87**(2189), pp.483–484, 1911.
- 23) L. A. Bauer, "Data for abruptly beginning magnetic disturbances, 1906–1909, No. I", *Terr. Magn. Atmos. Elec.*, **16**, pp.85–108, 1911.
L. A. Bauer, "Data for abruptly beginning magnetic disturbances, 1906–1909, No. II", *Terr. Magn. Atmos. Elec.*, **16**, pp.163–204, 1911.
- 24) G. Angenheister, "Propagation velocities of magnetic disturbances and pulsations", *Nachrichtender K. Gesll. der Wissenschaften zur Göttingen, Math.-Phys. Kl.*, **4**, pp.565–581, 1913.
C. Chree, "Time measurements of magnetic disturbances and their interpretation", *Proc. Phy. Soc. London*, **26**, pp.137–153, 1914.
S. Chapman, "On the times of sudden commencement of magnetic storms", *Proc. Phy. Soc. London*, **30**, pp.205–214, 1918.
- 25) A. Tanakadate, "A magnetic survey of Japan reduced to the epoch 1895.0 and the sea level carried out by order of the Earthquake Investigation Committee", 『東京帝国大学理科紀要』, **14**, pp.1–180 App.1–346, 1904.
- 26) "International Geodetic and Geophysical Union, Section of Terrestrial Magnetism and Electricity, Agenda for Madrid Meeting, October 1–10, 1924", *Terr. Magn. Atmos. Elec.*, **29**, pp.85–86, 1924.
- 27) A. Tanakadate, "Circular regarding sudden commencements of magnetic storms", *Terr. Magn. Atmos. Elec.*, **29**, p.197, 1924.
- 28) 田中館愛橘の生まれ故郷の二戸市にある歴史民俗資料館に、田中館に関する資料が目録番号付きで整理保管されている。以後の記述では、この資料を“田中館資料”と略記して、その目録番号を付記することとする。
- 29) 1924年12月5日付手紙 (田中館資料 No.1754)。
- 30) 1924年12月9日付の S. Chapman の返事 (田中館資料 No.3407), 1925年3月24日付の L. Rodés, S. J. の返事 (No.3409), 1925年4月23日付の Ch. Maurain の返事 (No.3420), 1925年4月27日付の L. A. Bauer の返事 (No.3416, No.3417), 1925年4月29日付の E. van Everdingen の返事 (No.3410), 1925年4月29日付の E. L. Jones の返事 (No.3411), 1925年4月29日付の J. de Moidrey, S. J. の返事 (No.3408) など。
- 31) 1925年8月25日付報告 (田中館資料 No.3429)。
- 32) A. C. Mitchell, "On the vertical force changes during the 'sudden commencement' of

- a magnetic storm”, *Proc. Roy. Soc. Edinburgh*, **45**, pp.297–301, 1926.
- 33) A. Tanakadate, “Preliminary report on sudden commencements of magnetic storms”, *IGGU, STME Bull.*, No.6, Washington, D.C., pp.20–21, 1926.
- 34) 1928年9月27日付報告 (田中館資料 No.3394).
- 35) S. Ono, “Observations of sudden commencements of magnetic storms in 1926”, 1927 (田中館資料 No.3400).
- 36) S. Ono, “A new design of highly sensitive magnetic variometer”, *Geophys. Mag.*, **1**(3), pp.63–67, 1927.
- 37) S. Ono, “Observations of sudden variation of terrestrial magnetism in 1928 and 1929”, 1929 (田中館資料 No.2704).
- 38) L. A. Bauer and W. J. Peters, “Regarding abruptly-beginning magnetic disturbances”, *Terr. Magn. Atmos. Elec.*, **30**, pp.45–68, 1925.
- 39) C. Chree, “The times of ‘sudden commencements’ (S.C.s) of magnetic storms: observations and theory”, *Proc. Physic. Soc. London*, **38**, pp.35–46, 1925.
- 40) H. W. L. Absalom, “The times of recent ‘sudden commencements’ of magnetic storms at Eskdalemuir”, *Terr. Magn. Atmos. Elec.*, **32**, pp.1–4, 1927.
- 41) T. Okada, “Magnetic storm of January 27th, 1926, recorded at the Kakioka Magnetic Observatory, Japan”, *Geophys. Mag.*, **1**(2), pp.57–61, 1926.
- 42) 1930年に IGGU は英文名称を IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) に変更したが, その時同時にセクションをアソシエーション (協会) と改称し, STME は International Association of Terrestrial Magnetism and Electricity (略称 IATME) となった。
- 43) 田中館から Maurain への1930年8月28日付の書簡 (田中館資料 No.3465).
Bauer は, カーネギー研究所での地位喪失後には神経衰弱に陥り, 1932年に自殺している。今回は田中館自身による研究計画の提案であった。
- 44) “Meeting of the Part Section on Terrestrial Magnetism (to be held concurrently with the next preceding joint meeting)”, 1932 (田中館資料 No.3026).
- 45) 1933年7月1日付の Circular (田中館資料 No.2915).
- 46) A. Tanakadate, “Short preliminary report on three sudden commencements of magnetic storms”, *Comptes Rendus Assemblée Lisbonne, 1933, IUGG, IATME Bull.*, No.9, Copenhagen, pp.149–157, 1934 (報告の草稿; 田中館資料 No.2836).
- 47) J. Egedal, “On the propagation of magnetic storms”, *Terr. Magn. Atmos. Elec.*, **39**, pp.321–324, 1934.

- 48) A. Tanakadate, "Report on sudden commencements of magnetic storms in Japan", *Trans. Edinburgh Meeting 1936, IUGG, IATME Bull.*, No.10, Copenhagen, pp.174-177, 1934.
- 49) 今道周一, "磁気嵐及び脈動の発現時比較に関する調査", 『地磁気観測要報』, 1 (4), pp.32-43, 1938.
- 50) 今道周一, "第二回極年観測について", 『地球観測百年』(永田武・福島直編), 東京大学出版会, pp.236-242, 1983.
- 51) 小野澄之助, "第二回極地観測本邦観測の概要報告", 『日本学術協会報告』, 9 (4), pp.147-151, 1934.
- 52) S. Chapman and V. C. A. Ferraro, "A new theory of magnetic storms" (Part I. - The initial phase), *Terr. Magn. Atmos. Elec.*, 36, pp.77-97, 1931; 36, pp.171-186, 1931; 37, pp.147-156, 1932; (Part II. - The main phase), 37, pp.421-429, 1932; 38, pp.79-96, 1933.
- 53) T. Araki, "A physical model of the geomagnetic sudden commencement", "*Solar Wind Sources of Magnetospheric Ultra-Low-Frequency Waves*", American Geophysical Union, pp.183-200, 1994.
- 54) 永野宏・佐納康治, "第二次世界大戦後における田中館愛橘の国際的活躍", 『科学史研究』, 38(209), pp.36-42, 1999.