

# 1936年の松隈隊の日食観測と一般相対論の検証

内田俊郎 (千葉商科大学、明治大学非常勤講師)

## 1 はじめに

1936年6月19日に北海道オホーツク海沿岸地域で皆既日食が見られた。この日食の皆既帯は地中海からロシア、中国東北地方、北海道オホーツク海沿岸をとおり太平洋に抜ける長大なものだったが、なかでも北海道オホーツク海沿岸は観測の適地とされ、国内だけでなくイギリス、アメリカを含む諸外国から観測隊が北海道に集結した。

この日食の際、松隈健彦を中心とする東北帝国大学理学部天文学教室のグループは一般相対論を検証するために太陽の重力場による光の屈折（湾曲）を測定する観測を行った。松隈隊の観測はこの種の観測で日本で行われた唯一の例ではないかと思われる。この東北帝大のグループによる観測については「日本の天文学100年」にも記述があるが、本稿ではより詳細な内容を調べ、現存する資料を確認、発掘することを目的としたい。

## 2 一般相対論の古典的なテスト

1916年に一般相対性理論を発表したアインシュタインは理論を検証する方法として以下の三つのテストを提唱した。

1. 重力によるスペクトル線の赤方偏移
2. 太陽の重力場における光の屈折
3. 内惑星の近日点の移動

本稿で扱う太陽による光の屈折は重力レンズ効果の一例であり、皆既日食時に太陽近傍にみえる恒星のみかけの位置の変位として観測される。1919年5月29日の日食において当時のイギリス王立天文台長ダイソンとエディントン等の企画によりイギリス隊がアフリカ東海岸のプリンシペ島とブラジルで行った日食観測は最初の一般相対論検証のための日食観測であり、この観測で一般相対論に肯定的な結果が得られたことが一般相対論の受容に大きく寄与したことは広く知られている。今年はこの観測からちょうど100年ということになる。

エディントン等の観測後も同様な観測は試みられており、1936年の日食以前のものとしては1922年9月21日と1929年5月9日の日食の例があるので松隈等の観測は一般相対論の検証を目的とする日食観測としては5例目ということになる。1960年代以前の観測はKlüber(1960)にまとめられている。

## 3 松隈健彦の略歴など

東北帝大理学部の日食観測隊を率いたのは、天文学教室の創始者で教授だった松隈健彦である。松隈は1890年（明治23年）3月18日出生。佐賀県唐津市出身で略歴は以下のとおり。

- 1913年 東京帝大学星学科を卒業
- 1922年 東北帝大学講師
- 1925年からイギリスのケンブリッジ大に留学し、エディントンに相対論などを学ぶ。
- 1934年 東北帝大教授に就任、天文学教室を創始
- 1950年 東北大学教授現職で死去

松隈に関する資料は少なく、ここでは東北帝大着任前の経歴は Internet 上の資料、日外アソシエーツ「20 世紀日本人名事典」に拠った。東北帝大着任後の松隈の足跡は「日本の天文学百年」四章、「東北大学と天文学 - 最初の半世紀 -」（竹内 2014）に詳しい。松隈健彦の肖像写真もこれらでみることができる。

松隈の専門分野は天体力学や重力多体系で、三体問題の数値解や球状星団の力学を研究した。球状星団の研究の際に松隈が導入した方程式は松隈方程式 (Matukuma equation) として知られ後に数学の研究対象となった (竹内 2014)。著書には「天体力学」「三体問題」「天文学概論 (上巻)」などがある。

一方で、一般相対論への関心も深かったようで、1921 年には「アインシュタインの相対性原理と万有引力 (一) ~ (四)」、1923 年には「相対性原理と日食問題」というタイトルで天文月報に寄稿している。松隈の弟子の吉田正太郎は日食観測について以下のように書いている。「(日食観測隊の) 隊長の松隈健彦博士は、アインシュタインの相対性理論を日本の天文学界に取り入れた先駆者でしたから、この日食観測の主要なテーマは相対性理論の実証でした。」(吉田 1997)

松隈はまた、エスペランティストとしても活動した。

#### 4 観測の原理

一般相対論によれば光は重力場により曲げられる。したがって、皆既日食のとき、見かけの位置が太陽近傍にある恒星からくる光線は太陽の方へ曲げられ、図 1 のように、太陽から離れる方向へ変位して観測されることになる。したがって、太陽の影響のない約半年後に同一の領域を撮影し比較すれば、太陽の重力場による光線の屈折角が測定できることになる。

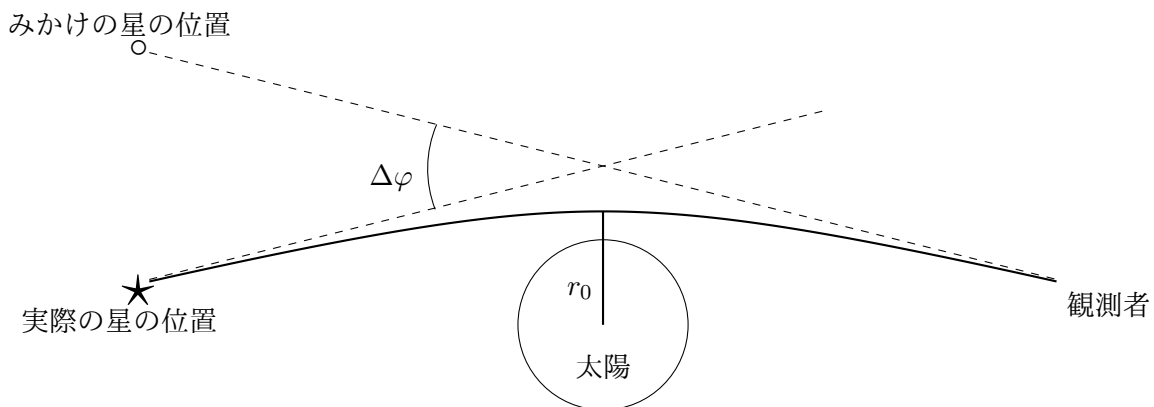


図 1: 太陽による光の湾曲

一般相対論によれば、恒星の位置の変位  $\Delta\phi$  は万有引力定数を  $G$ 、真空中の光速を  $c$ 、太陽の質

量を  $M_{\odot}$ 、光線が太陽に最も近づくときの太陽との距離を  $r_0$  とすると、

$$\Delta\varphi = \frac{4GM_{\odot}}{c^2 r_0}$$

となり、恒星の位置の変位は太陽の質量に比例し、光線の太陽への最接近距離に反比例する。 $r_0 = R_{\odot}$  ( $R_{\odot}$  は太陽半径) として、 $G$  と  $M_{\odot}$ 、 $R_{\odot}$  に既知の値を使うと、 $\Delta\varphi = 1.75''$  となる。 $4GM_{\odot}/(c^2 R_{\odot}) = 1.75''$  から一般に  $\Delta\varphi$  は、

$$\Delta\varphi = 1.75'' \frac{R_{\odot}}{r_0} \quad (1)$$

のようにも書ける。太陽をぎりぎりで掠めてきた最も大きく屈折した光線の屈折角が  $1.75''$  ということであり太陽から離れるにつれ屈折角はさらに小さくなることから、かなり難しい測定だったといえるだろう。

## 5 松隈隊の日食観測

1936年6月19日の皆既日食の皆既帯は北海道オホーツク海沿岸から中国東北地方北部をとおりロシア中部に及んだ。

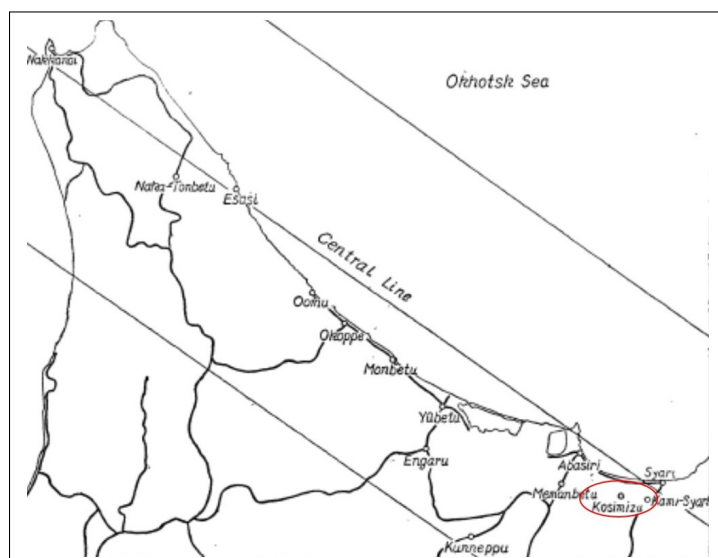


図 2: 日食の皆既帯

松隈は小清水村（現・斜里郡小清水町）を観測地を選び、北緯  $43^{\circ}51'$ 、東経  $144^{\circ}28'$  にある小清水尋常高等小学校の校庭に観測装置を設置した。松隈は小清水村を観測地を選んだ理由として、もうひとつの候補地の上斜里（他の多くの観測隊が観測地を選んだ）と比べ6月の天気がよさそうな点と小清水小学校の校舎とは別棟の裁縫室を借りられる点などを挙げている（松隈 1936）。

松隈隊のメンバーは、東北帝大理学部教授の松隈健彦、助手の小貫章と吉田正太郎、岩名義文（岩名氏の身分は不明）の4名で日食の50日ほど前から現地入りし、観測装置の設置や調整を行った。松隈隊は日食観測用の装置以外に子午儀なども持ち込み（子午儀は観測地の経度の決定に使用した）、観測装置の総重量は53トンに達したという（吉田 1997）。

観測には口径 20cm、焦点距離 5m の日本光学製シーロスタットに、オリエンタル写真工業製 25cm × 30cm (視野 2.9° × 3.4°) の乾板を用いた。ニコン製シーロスタットについてはニコンの社史、(株)ニコン『光とマイクロと共に：ニコン 75 年史. [本編]』(1993) に記述と画像があるので本文を以下に引用する。「10 年には東北帝国大学(現・東北大学)からの注文で、国産初の 30cm シーロスタット(主鏡有効径 30cm・厚さ 40cm、副鏡有効径 25cm・厚さ 35mm、対物レンズ有効径 25cm・焦点距離 500cm)を完成した。納入以来、同大学の太陽観測に使用され、11 年の北海道日食観測で好成績をおさめた。」

日食当日は朝は晴天でその後雲が出たが、皆既食が始まる少し前には雲が消え皆既中も晴天が続いた。観測当日には先に挙げた観測隊 4 名に加え、福本喜繁、藤田威雄、地元の中学(当時)の佐藤教諭の 3 名を加え、計 7 名が観測に従事した。日食の開始は午後 2 時 11 分 11.3 秒、皆既の始まりが午後 3 時 21 分 55.3 秒、皆既の終わりが午後 3 時 23 分 44.5 秒、日食の終わりが午後 4 時 27 分 33.3 秒で皆既食の継続時間は約 1 分 50 秒程度であった。この間、撮影できた乾板は 1 枚のみで、80 秒間の露出で 10 個の恒星が撮影できた。乾板は、当初仙台に持ち帰って現像する予定だったが、予定を変更して当日、現地で行なった。

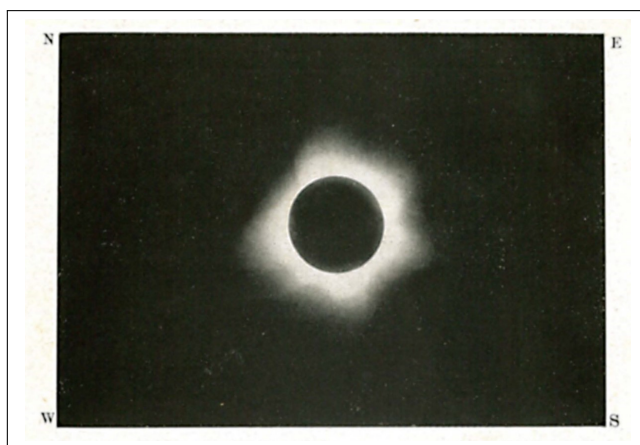


図 3: 1936 年 6 月 19 日の日食

日食から約半年後、太陽と重ならない状態で日食時に撮影したのと同じ領域を撮影し、皆既日食時に撮影したものと比べることになる。比較用プレートの撮影は仙台にて 1937 年 2 月 8 日と 11 日に撮影された。

## 6 観測結果

松隈の病気のため論文の発表が遅れたが、最終的な観測結果は以下の 2 つの論文で発表された。(Nature 論文は abstract 以外は未見である。)

1. 「Derivation of Einstein Effect from Eclipse Observations of 1936」、T. Matukuma, *Nature* **146**, 264–265 (1940)
2. 「On Einstein Effect derived from the Observations of the Total Solar Eclipse of June 19th in 1936」、T. Matukmaa, A. Onuki, S. Yoshida and Y. Iwana, *Japan Journal of Astronomy and Geophysics* **18**, 51–72 (1940)

ここでは、2の論文を検討することにする。

まず松隈は、一般相対論の検証の（当時の）現状について、「It is well known that the Einstein effect was already treated several times in past solar eclipses, and it is said that the relativity theory is proved by observations. In the problem of such kinds, however, it will not be useless to repeat it again.」と一般相対論は検証済みであるが再度の検証が必要であるとの見解を述べる。一方、1970年代に出版された山内らによる一般相対論の教科書（山内、内山、中野 1973）には「（皆既日食時の観測では）星は見かけ上太陽中心から遠ざかるように写真に写っている」「（理論によればずれの大きさは太陽からの距離に反比例するが）観測結果は、定性的にはこの  $1/r$  の法則に反しないが、定量的には理論との一致はよくない」と評されている。1936年時点での皆既日食による一般相対論の検証は定性的な一致にとどまっていたと考えるのが妥当であろう。

実際の観測では比較用に撮影された2枚のプレートのうち2月8日のものを No115、11日のものを No119 として、それぞれに対して皆既日食の時に撮影できた10個の恒星のうち乾板の端に近い2個を除く8個に対して位置の変位が測定できた（図4）。

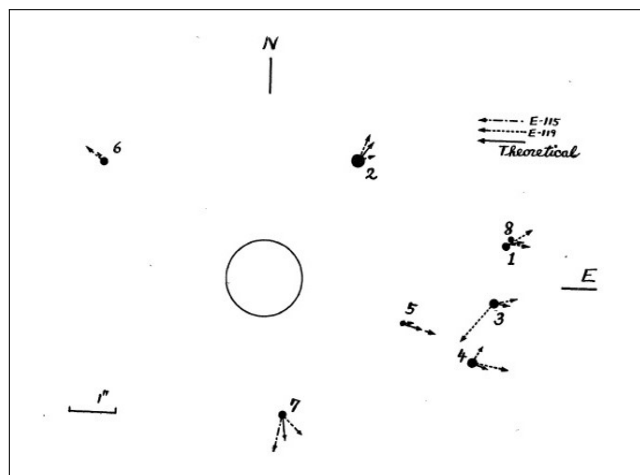


図4: 恒星の変位 (論文2 fig. 5)

結果の導出は以下の手順で行われている。比較用に測定したプレート上の恒星の位置に対し恒星の高度による大気による屈折の影響の違いと固有運動による半年間での恒星の位置の変化、光行差を補正する。日食時に撮影したプレート上の恒星の位置との比較により、日食時の恒星の位置の変位を求める。

一般相対論的效果による星の位置のずれは理論による予想と同様に

$$\Delta\varphi = E \frac{R_{\odot}}{r_0} \quad (2)$$

の形であると仮定する。ただし、ここで  $E$  は未定乗数である。観測から求めた変位は上記の一般相対論の効果と2つの乾板のずれ、回転、スケールの違い、乾板の傾斜による変位の和からなると考え、各項の寄与の大きさを未定乗数で表す。恒星と太陽の見かけの距離は皆既時の太陽の見かけの位置と既知の星表から求める。最小二乗法で未定乗数をきめる。(太陽中心と恒星の見かけの位置との距離  $r_0$  は、図1の  $r_0$  ではなく、図1では観測者と恒星の見かけの位置を結ぶ直線に太陽中心から下した垂線の足の長さとするべきだが、 $\Delta\varphi$  が非常に小さいので最低次では両者を区別しなくてよい。)

最終結果は（皆既日食時の太陽の中心から測った）太陽が存在しないときの恒星との距離  $r_0$  を横軸にとり、変位  $\Delta\varphi$  を縦軸として（図5は横軸を（2）式の  $r_0$ 、縦軸は  $\Delta\varphi$  とみなしてよい）観測値をプロットし、最小二乗法により定まった  $E$  を使って（2）に相当する線を書いたものが fig.6 として与えられている（図5）。

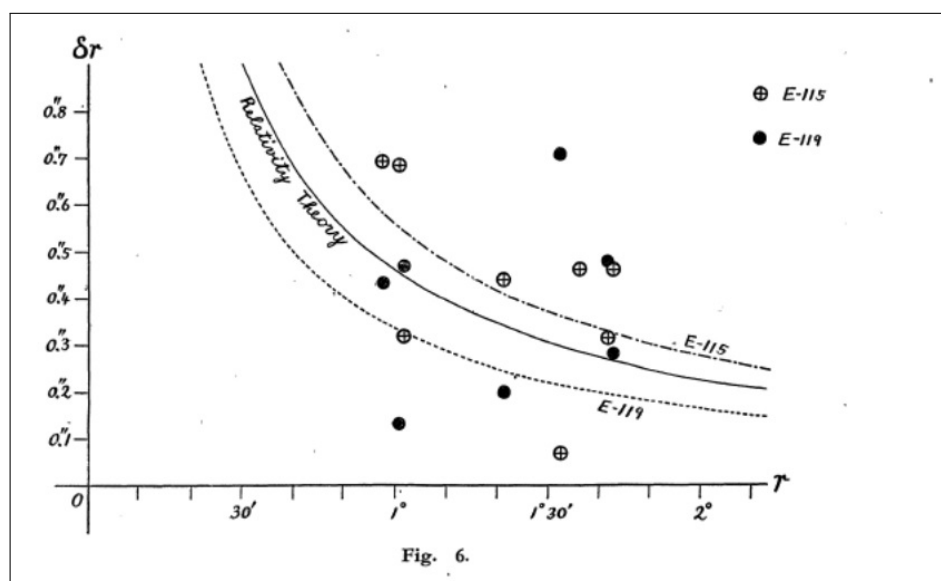


図 5: 理論との比較 (論文 2 fig.6)

最終的に求めた  $E$  の値は、プレート No115 から求めた値、プレート No119 から求めた値がそれぞれ、

$$E = 2.134'' \pm 1.146''$$

$$E = 1.284'' \pm 2.672''$$

である。松隈は後者については何らかの error があつた可能性に言及しているが、前者の結果については「the writer is in satisfaction」と満足できる結果であると述べている。批判的にみれば、後者は不確かさが測定値より大きいので意味がある結果とみなすのは難しい。前者も不確かさが大きいので一般相対論の予想値を含むが、相対不確かさが 50% を越えていて精度が低く、一般相対論による予想と矛盾はしないが定量的に検証できたとは言いかねる結果となっている。

## 7 まとめ

本稿では松隈健彦を中心とする東北大グループによる一般相対論の検証を目的とした 1936 年 6 月 19 日の皆既日食の観測について調べた。松隈の早逝や戦災のためか入手できた資料は多くなかった。現存する資料の確認と新たな資料の発掘が望まれる。

## 参考文献・資料

観測に参加した当事者の執筆によるもの

松隈健彦

1921 天文月報 vol14 p51 など

1923 天文月報 vol16, p163

1936 東北帝国大学 自修会報 第二十二号 (東北大資料館所蔵)

1940 Japan Journal of Astronomy and Geophysics 18, 51-72 (1940) (論文2として引用)

東北帝国大学自修会報 第二十二号 (東北大資料館所蔵) には松隈健彦による記事『日食行』が掲載されているだけでなく、他の1936年6月19日の日食の体験記が掲載されている。図3の写真も同号による。

吉田正太郎

1974 天文ガイド9月号

1981 「太陽の家族」誠文堂新光社

1997 「カメラマンのための写真レンズの科学」地人書館

1960年代までの一般相対論の検証のための日食観測の総合報告

Klüber(1960) *Vistas in Astronomy*, vol 3 p47

本文中で引用したその他の文献

ニコン (1993) 『光とミクロと共に : Nikon ニコン 75年史』、75年史編纂委員会編

竹内峯 (2014) 『東北大学と天文学 - 最初の半世紀 -』、非売品

竹内峯、関宗蔵 (2008) 『日本の天文学の百年』第I部4章、恒星社厚生閣

山内恭彦、内山龍雄、中野董夫 (1973) 『一般相対性および重力の理論』 裳華房