

平山清次（1874-1943）の生涯と研究 ～小惑星の族発見をめぐる諸相～

吉田 省子

〈北海道大学大学院農学研究院食資源研究棟 〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目〉
e-mail: hirakiyo@agecon.agr.hokudai.ac.jp



平山清次は1918年に小惑星の族を発見し、既存の知識（固有要素）と既存の手法（天体力学）でパズル解きに成功し、1922年に族の理論を完成させた。この問題では固有要素が鍵だ、と認識した最初の天文学者である。緯度観測コミュニティからはみ出したものの、編暦業務に伴う海外派遣を経て、新しい領域に着地した。平山は、ブラウンの月運動論に親しみ、後年大学で太陰論として講義し、小惑星や衛星の運動論も探求した。また、天文古記録や天文暦書等の調査を行い、明治前日本科学史の編纂にも貢献した。平山の依頼実験でもある室内破壊実験は、1970年代以降の新しい高速破壊実験に繋がり、太陽系内の天体衝突の研究に繋がっている。

1. はじめに

リュウグウに小惑星探査機はやぶさ2が達し、岩石資料を持ち帰ろうとしている。平山清次は1935年の『小惑星』の中で、「小惑星の起原の問題は物理学とも亦、地質学とも関係がある」¹⁾と述べていて、観測し計算する対象から触ることができる実体として意識していた。

2018年の第30回IAU-GAで、日本人による天文学上の発見の中で族が初めて単一のテーマとなり、FM1 “A Century of Asteroid Families” が開催された。筆者は招待講演者として、族発見を中心に平山の生涯と研究について報告した。観測装置や観測技術の進歩、地上破壊実験の進展、探査機による目的天体の直接調査などにより、太陽系形成論や太陽系内の天体衝突などの研究は大きく発展していた。そこでは族は古びてはいなかった。

筆者は日本科学史学会会員で、平山が活躍した時代と族発見に至る背景とその後の展開や知的環境を調べている。「平山清次と小惑星の族」²⁾を投稿する前の1996年5月28日に、北海道大学大学

院理学研究科の山本哲生先生のご紹介で三鷹の天文台に中村士先生を訪ね、偶然にも、古在由秀先生のお話を拝聴する機会を得た。中村先生、谷川清隆先生、故横尾広光先生に導かれ、谷川先生・相馬充先生が世話役の天文学史研究会に参加した。東洋天文学史国際会議に参加する機会を得て、“Hirayama Kiyotsugu: Discoverer of Asteroid Families” を2011年に中村と吉田で著した³⁾。



図1 平山清次。参考文献5により元星の手帖社社長の阿部昭氏に連絡して、2010年頃に使用許可を頂いた。



図2 旧制二高，1890年代初期撮影の集合写真。手前から二列目，左から三番目が平山。
富田良雄氏（当時京都大学）の好意による（2000年「新城文庫」目録に収められた一葉）。

2. 平山清次小史

平山清次は1874年10月3日に仙台市で生まれ、1943年4月8日に東京で没した。墓は仙台の泰心院にある。仙台一中と二高で学び、1894年に帝国大学理科大学星学科に進み、寺尾寿（1855-1923）の指導を受けた。二高には、理科大学物理学に進学した新城新蔵（1873-1938）がいた。

平山は、1897年に大学院に進み、1906年まで水澤緯度観測所に呼応する形で東京天文台（麻布）で緯度変化観測を行い、以下の論文群で、東京帝国大学より1911年11月に学位を授けられた。

さて、東京帝国大学理科大学に就職したのは1906年5月のことで、星学科（第2講座）助教授となった。東京帝国大学理学部天文学科第1講座教授になったのは1919年で、寺尾の退官による。平山自身の退官は1935年のことである。なお、東京天文台には継続的に関わっていて、1908年

表1 平山清次の博士論文⁴⁾。

- | | |
|---|------------------------|
| 1 | 天頂儀を以て測定せる緯度の系統的誤差に就いて |
| 2 | 列国共同緯度観測結果に就いて |
| 3 | 天頂儀の筒の歪みに就いて |
| 4 | 246個の恒星の赤緯及其固有運動 |
| 5 | 樺太に於ける日露境界劃定委員の緯度観測 |
| 6 | 日本歴史に於けるハリ彗星 |
| 7 | 西暦紀元372年及374年彗星に就いて |

に急逝した水原準三郎（1858-1908）の後任として編暦業務に携わり（1908-1915; 1917-1921）、1921年から1928年までは東京天文台技師を兼任した。学会活動としては、1908年1月19日の日本天文学会発足時の創立時役員の一で（庶務掛）、3回会長（理事長）を務めた。また、1925年に死去した寺尾の後任として帝国学士院会員となった。

就職後の渡航歴は、編暦業務上の研鑽という名目で、1915年4月から1917年（6月2日帰朝）までワシントン海軍天文台及びエール大学のブラウ

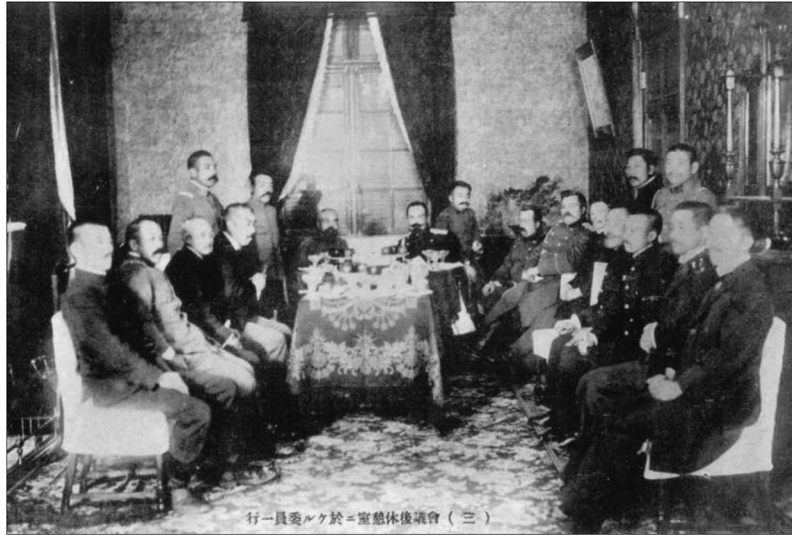


図3 1906年11月13日に旧日本郵船株式会社小樽支店で開催された日露国境測定委員会集合写真。平山清次はおそらく最右端の人物と思われる（ご厚意により小樽市博物館所蔵写真をコピー）

ン (E.W.Brown, 1866-1938) のもとに赴いたことが挙げられる。次いで、第2回IAU (7月14日～22日) 参加のため、1925年5月14日にケンブリッジ (英国) に向け出発し、帰路にアメリカに立ち寄り10月15日に帰朝した。最後は、米国ケンブリッジで開催された1932年第4回IAU (9月2日～9日) 参加で、8月31日の皆既日食観測に同行した。10月1日にケープタウンを目指しニューヨークを出発し、天文台視察を行い帰朝した。

いずれも岩波出版だが、『一般摂動論 岩波物理化学講座 宇宙物理学 (1930年)』『一般天文学 (1931)』と『小惑星 (1935)』が主著である。広瀬秀雄 (1909-1981) によると、正しくは「せいじ」なのだが、平山信 (S. Hirayama) とのイニシャルの重なりを避け Kiyotsugu を使った⁵⁾。

では、平山の研究を手法で3つに区分しよう。
〈1〉観測主体であることと統計的アプローチ：

平山には小惑星の族の発見に先立ち、統計的アプローチによる研究がある。1906年までの緯度変化観測データをベースに、データのある量の差異に着目し、平均からのずれを調べ、その際の性質をグラフ化したり、最小二乗法などを駆使して

経験式を立てた研究である。それは緯度観測の E-W 問題⁶⁾ (天頂望遠鏡で緯度観測を行う場合、星対の観測を望遠鏡の東側から始めて西側で終わる場合と、その逆の場合とで緯度の観測値に系統的な差異が現れるという問題) というもので、A.Marcuse (1860-1930) の1902年の報告に次いで指摘だった。平山は、この新しい緯度変化の系統的差異に木村乙項が包摂されるとした上で、新しい系統的差異の原因が望遠鏡の鏡筒の歪みにあるかもしれないと考えた⁷⁾⁻⁹⁾。

観測主体の主要研究は三つある。一つは1903年のスマトラ皆既日食の報告¹⁰⁾ で、これは1901年のスマトラ皆既日食遠征隊に参加し、早乙女清房 (1888-1999) と共に平山信 (1867-1945) を助けた際の報告書である。もう一つは1901年から1906年までの観測に基づいた恒星カタログ「246個の恒星の赤緯と固有運動」¹¹⁾ である。三つめは、日露国境線測定事業で実際にサハリンに行き、北緯50度 (天文緯度) の天文測量を行い、四つの天測境界点を定めたことである¹²⁾。この功で1908年にロシア皇帝より勲章を授かっている。

〈2〉天体力学的手法での理論的考察 (憶測含む)：

1919年にブラウンが出版することになる月運行表の計算を手伝ったが、その第1巻序文には平山に対する謝辞が記載されている¹³⁾。

天体力学的手法での研究は、小惑星の平均運動の分布および空隙に関する研究、小惑星の族に関する研究(1918-1933)、小惑星へキューバやヒルダの運動論(1927-1937)がある。なお、小惑星が何故壊れるのかについてはかなり逡巡しているが、最終的に平山は爆発説に立った。

平山は小惑星帯の空隙の形成を説明するのに、太陽系内に抵抗物質を想定したが、族の成り立ちを考察する過程で抵抗物質が存在してはまづいとなり、族形成の頃までには抵抗物質は消失したと述べた。本稿6.3でも述べるが、この考察は、希薄な星雲状物質の塊の中での天体の運動についての考察に平山を導き、やがて太陽系の形成や連星系や星団や周期変光星や恒星の熱源に関する憶測に導いた(1931~1932)。なお、ブラウンにも“On the passage of a star through a nebula”¹⁴⁾という論文があり、平山は参照している。

〈3〉古記録の調査と暦法の探求

平山は1908年から携わった編暦業務をきっかけに、中国、韓国および日本での日食や彗星(1910年のハレー彗星)の古記録の調査を行うようになり(1910-1929)、1938年には恒星社から『暦法及时法』を出版した。また、1942年3月28日に京都の東方文化研究所で藪内清(1906-2000)らに授時暦の研究大要を講義し、5月30日に東京での日本科学史学会第2回年会でも、授時暦について講演している。

平山諦(1904-1998)の「和算図書目録と明治前日本科学史」¹⁵⁾によれば、平山清次は日本学士院会員として「明治前日本天文学史」の編纂に関わり、1935年から亡くなる直前まで江戸時代の天文暦学書の目録作成を試み、藪内らに繋げた。神田茂(1894-1974)はこれらの成果を増補し、

さらに中村士らは2006年出版『明治前日本天文学・測量の書目辞典』¹⁶⁾,*1に繋げた。

さて、科学史家中山茂(1928-2014)は明治以降の科学者を第一世代と第二世代に分け、制度を立ち上げ整えるのに力を注ぐ必要がなく、平山など学究にエネルギーを集中させられる世代を第二世代と呼んだ¹⁷⁾,¹⁸⁾。だが、族発見はこの枠組みだけでは見えにくく、細部の語りも必要である。

3. キャリア形成

3.1 受けた教育と新しいテキストの攻略

ここでは、平山が帝国大学の学生だった時期を中心に、受講できた科目を大まかに整理する。東京大学百年史部局史(二)第六編理理学部や通史(二)をたどると、開講科目の変遷が分かる。

平山が大学院に進んだ1897年は東京帝国大学に改称され、カリキュラムも変わった。解析幾何学、天体力学、微分方程式論、函数論や球函数、天体物理学などが追加された。ティスラン(F.F. Tisserand, 1845-1896)の天体力学のテキスト全巻が1896年に刊行し終わったことは、平山にとってはタイミングが良く、そこから独習が始まった。ティスランは1874年の金星の太陽面通

表2 星学科開講科目(東京大学百年史と注5)から作成)。

| 時期 | 主な科目 |
|-----------|--|
| 1877-1886 | 天文学 重力測定のための理論と実習 |
| 1886-1897 | 天文学、球面天文学、最小二乗法、微積分演習、一般数学、一般物理学及び応用物理学、力学、実習と演習(天文観測、物理と数学) |
| 1897-1901 | 天文学と最小二乗法、球面天文学、解析幾何学、天体力学、微積分演習、微分方程式論、函数論、球函数、天体物理学、力学、実習と演習(天文観測、物理と数学) |

*1 国立天文台三鷹図書館神田茂文庫。筆者は同館で神田の「平山清次の略歴と業績関連資料」を閲覧した。

過に際し長崎を観測拠点としたフランス隊隊員で、寺尾の留学先での指導教官だった。なお、平山による太陰論（ブラウン月運動論）がイレギュラーながら開講科目の中に挙げられている（1919年～）。

3.2 緯度観測コミュニティの中で

平山は、1906年に東京帝国大学助教授になるまでの間、陸軍参謀本部陸地測量部修技所で教え、東京天文台での緯度変化観測に嘱託で従事し、東京物理学校で数学を教えたりした。緯度変化観測で実地天文学者としての腕を磨き、陸地測量部修技所では測量技術のための基礎として星学を講義した。1897年9月25日に木村栄（1870–1943）の後任として修技所講師となり、1901年12月に教授となった後、1903年に退いている^{19）}。

日本の天文学コミュニティは、地の利を生かして国際的観測ネットワークに参入し、金星の太陽面通過やIAG（国際測地学協会）の国際協力事業としての緯度変化観測網の拡大（1899年に木村が所長で水澤町一現岩手県奥州市水沢一に緯度観測所が設置された）を上手くとらえた。緯度変化の木村のZ項の発見などもあり、緯度観測コミュニティには勢いがあった。

平山が緯度観測のE-W問題で、Z項の原因を観測者やランタンの温かみによる望遠鏡の鏡筒の歪みとほめかしたので、緯度観測コミュニティを刺激した。これは、Z項の原因は望遠鏡自体にはないという科学界のコンセンサスに抵触した。なお、1908年5月7日、木村の上京に合わせて第46回天文学談話会が開催された。参加者は9名で、平山と木村が報告し議論となったと記録されている^{20）}。この時期に、平山の研究スタイルは統計的アプローチであると印象付けられたと言える。

3.3 二つの転機：

平山の研究人生には短い期間の間に二つの転機がある。第一の転機は、日露戦争とアカデミックポストである。日露戦争（1904–1905）の後処理としてのポーツマス条約（1905年9月5日）でサ

ハリンの南半分が日本に割譲されることになり、樺太境界劃定事業が陸軍省を中心に行われることになった。そこで、天文学者の参加が求められた。

平山は、測量のための天文学を陸地測量部修技所で講義していた経験があり、帝国大学星学科卒業生の中で一番自由がきき適切な人材だったが、テニユアのポジションがなかった。折よく1906年5月9日に、32歳で東京帝国大学理科大学第2講座助教授に抜擢され、20日後の5月29日に「日露国境劃定委員会嘱託委員」に任命された。

第二の転機は、1908年から東京天文台で編暦主任を兼務することになった時期が、ブラウンの月運動論が完成する直前だったことだ。1910年に月運動論の刊行を終えた後、ブラウンは月運行表の作成に取り掛かった。平山がエール大学に到着した時、まさにブラウンは計算の最中だった。

暦編纂に必要な最新の月運動論の調査という名目でブラウンのもとへの洋行が決まり、平山は具体的な月運行表の計算に関わることができた。1914年の「衛星及び小惑星の自然淘汰」^{21）}に見られる平山の関心は、ブラウンとの対話一月・衛星・小惑星一に繋がり、新しい関心に繋がった。

4. 天文学的関心の変化

4.1 関心の変化と洋行のタイミング

～月（運行表）から小惑星（空隙）～

新しい関心は、1912年のブラウンの惑星や衛星系の秤動運動に関する論文が関わっている^{22）}。月運動論が新しくなり始めていた時期に、平山が編暦主任を兼務できたタイミングの良さは、小惑星の軌道の安定性問題の分野にまで及ぶ。ブラウンは平山に直接、小惑星の運動論やカークウッド空隙の説明が最先端の天文学的関心だ、と語った。

1922年に米国National Research Council (NRC) は研究動向トレンドを分野ごとにまとめ、天体力学はブラウンらが報告した（表3）。「太陽系」「恒

表3 参考文献23 1922年NRC報告書から抜粋した天体力学分野の研究動向トレンド（ブラウンの編集による）。

| 細分化 | 内容・項目 |
|----------------------|---|
| Part I 太陽系 | 月，8個の大惑星，月以外の衛星，小惑星あるいは小さな惑星と彗星 |
| Part II 恒星に適用される天体力学 | 実視連星，分光連星，または食連星の場合の軌道決定問題，シュヴァルツシルトに端を発する現代的恒星内部構造論，宇宙空間での恒星の分布と運動，セファイド型変光星の説明，連星の起源と進化，他多数 |
| Part III 三体問題以上の理論 | 制限三体問題，三体あるいは多体問題 |

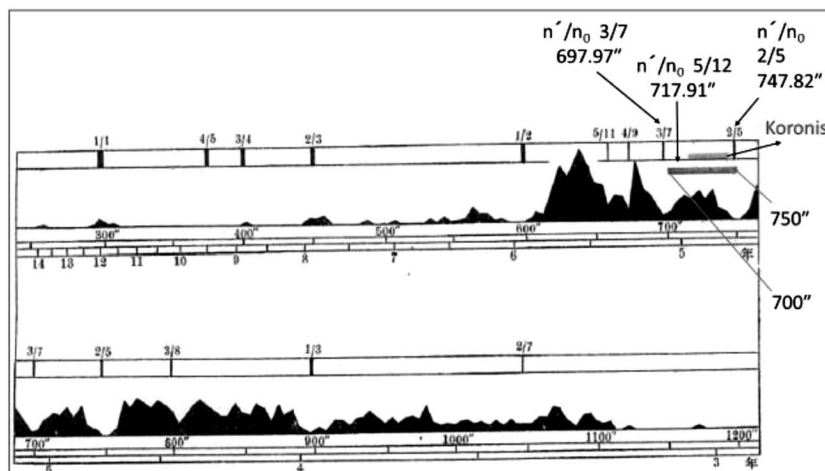


図4 『小惑星』102頁の第11図「平均運動の分布」に，平山の新しい関心を筆者が書き加えた。

星に適用される天体力学」「三体問題及び多体問題の理論」と三部構成で，小惑星の項は太陽系パートの半分を占めている。小惑星の平均運動の分布のギャップの説明が求められていた²³⁾。

4.2 新しい関心と副次的な関心

帰国後の平山は，小惑星帯には木星との共鳴点を挟んで空隙が存在するが，その空隙近傍の小惑星は安定なのかそれとも不安定なのかと考え続けた。ブラウンの小惑星の秤動理論をベースに，木星の摂動にさらされた共鳴点近傍の小惑星に着目し，太陽系内に抵抗物質があるとき，libration領域の小惑星の運動はどのような変化を被るのかを調べるといふものである。論文は3本あり，最後の論文の印刷は1918年だが，口頭発表は1917年11月である²⁴⁾。この中で，木星からの摂動と抵抗物質による抵抗の二つの効果から，空隙付近に

永くとどまる小惑星はないと述べた。

平山は『一般摂動論 (p. 170)』の中で，秤動と周動に関し，「振子の場合を例にとればその運動は一種の秤動であるが之に激動を與うれば右廻り又は左廻りの周動となる」と説明している。抵抗物質中での小惑星が被る運動の変化は，6.3で触れる1930年代の恒星進化論（平山の憶測）につながる²⁵⁾。

平山の計算では，共鳴点付近の小惑星に加え，空隙の両サイドに広がりを持たせた空間に分布する小惑星にも着目することになるので，かなりの範囲の小惑星の軌道要素にも目が行くようになる。その結果平山は，平均運動が700''と750''の間で，軌道傾斜角と離心率が小さいものが多いと感じた。図4のように， n_0 を共鳴点の平均運動， n' を木星の平均運動とすると， n'/n_0 が3/7である

共鳴点（空隙）と2/5である共鳴点（空隙）の間
の小惑星の軌道要素に着目することになったとい
うわけである。この部分の集積は、後にコロニス
族と呼ばれることになった。

平山は、観測データを検討しているうちに、空
隙でも群でもない領域にも小惑星の平均運動の分
布の奇妙さがあることに気づいたというわけであ
る。その結果、この新たな関心事に取り組むこと
になった。族発見は、1917年の小惑星帯の空隙
の説明を試みる論文の副次的効果だと言える。

5. 族の発見：データ・ロジック・シ ンボリックイメージ

平山は1918年に小惑星の族を発見²⁶⁾し、1922
年に族の理論を完成させた²⁷⁾。1918年論文では
摂動方程式の一般解からの考察を試みながらも、
後に不変要素の固有離心率や固有傾斜角であると
明確化するものを、任意定数とただけだった。
ここでは、1918年論文の構造と見え方に着目す
る。

5.1 第一段階：統計的アプローチ

まず平山は、膨大な観測データ（接触軌道要
素）の間に確率の影響だけで説明できない小惑星
の集積に気づいた。軌道が分かっている全小惑星
は790個である（B）。平均運動が720''と740''の
間に存在する実際的小惑星は37個あり、この37
個を軌道傾斜角で6領域に分類する（A）と、 $0^\circ < i < 4^\circ$ の間に不自然にも16個の集積がある。

表4は以下のように読む。Aの37個の軌道に対
しBの分布に釣り合うよう単純な比例計算（C）
をする。AとCの差はBの分布の割合で予想され
る個数との差なので、超過ぶりが見える。さら
に、21個（37-16=21）のフラットな分布を考
慮し、補正の比例計算をする（D）。区間0-4で
はAとDの差は11で、他の区間よりも際立って
いる。物理的に関連したグループがあると仮定し
て、この11個が1グループを作っているように
見えた。

表4 37個の小惑星（720''と740''の間）の軌道傾斜
角での分類：参考文献26) p.185の表。アル
ファベットのA~Dは筆者が加筆。平山は、
離心率関連で同様な表を作成するが、Cと差
A-Cで終えている。

| i 軌道 傾斜角 ($^\circ$) | A: 実際 の数 | B: 全て の小惑 星 | C: 37個 にBを 適用 | 差A-C | D: 21個 で補正 | 差A-D |
|-------------------------------|-------------|-------------------|---------------------|------|---------------|------|
| 0-4 | 16 | 149 | 7 | +9 | 5 | +11 |
| 4-8 | 6 | 213 | 10 | -4 | 7 | -1 |
| 8-12 | 6 | 191 | 9 | -3 | 6 | 0 |
| 12-16 | 6 | 131 | 6 | 0 | 4 | +2 |
| 16-20 | 3 | 55 | 3 | 0 | 2 | +1 |
| >20 | 0 | 48 | 2 | -2 | 2 | -2 |
| 計 | 37 | 790 | 37 | 0 | 26 | +11 |

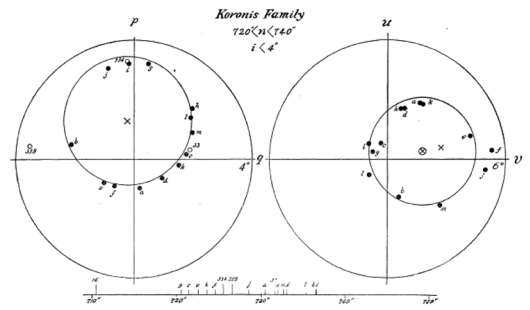


図5 p - q , u - v ダイアグラム（軌道傾斜角／離心率）。

5.2 第二段階：式と計算～天体力学の学徒として
明記されていないが、平山はここで天体力学の
一般的手法に従い、

$$\begin{aligned} p &= \tan i \sin \Omega & u &= e \sin \varpi \\ q &= \tan i \cos \Omega & v &= e \cos \varpi \end{aligned}$$

と置いて計算する。その上で、超過の小惑星を
 p - q 平面上と u - v 平面上にプロットする。 p - q は
軌道傾斜角 (i) と昇交点黄経 Ω の関数で、 u - v は
離心率 (e) と近日点黄経 ϖ の関数である。

5.3 第三段階：プロットでシンボリックイメージ
計算結果をプロットすると、図5のように特徴
的なイメージが現れる。

Astronomical Journal紙面では、見開き2頁に

わたり，コロニス族とエオス族のそしてテミス族の3つの族のダイアグラムが目飛び込んでくる。コロニス族は p - q 平面円周上に15個， u - v 平面円周上に13個並んだ。摂動論を駆使した理論的考察は，その右ページのテミス族のダイアグラムの下から始まるが，イメージの力は大きい。

5.4 第四段階：1918ロジック～完成は1922

天体力学の学徒ゆえ，平山はコロニス族のイメージを見て，摂動方程式の一般解，永年方程式を以下のように表した。

$$p = \tan i \sin \Omega = p' + N \sin (ht + \beta)$$

$$q = \tan i \cos \Omega = q' + N \cos (ht + \beta)$$

$$u = e \sin \varpi = ku' + M \sin (gt + \alpha)$$

$$v = e \cos \varpi = kv' + M \cos (gt + \alpha)$$

p, q を直交座標とみなせば，点 (p, q) は中心 (p', q') ，半径 N の円周上を角速度 h で移動する。点 (u, v) も同様である。

ダイアグラムのイメージからも明らかなように，一群の小惑星が不思議なことに，同一円周上に並ぶ。これは何らかの物理的な関係があることを示唆している。そこで平山は説明を試みる。

グループを構成する各々の小惑星は，もっと大きな小惑星がはるか昔に小さな破片に壊れてできた。壊れた破片は摂動により，長い時間の間に，永年変化の式に従って， (p', q') を中心とした半径 N にほぼ等しい円周上に散らばっていき，現在のような分布が生じたというのである。

残念ながら，1918年の時点で平山は N や M を任意定数と呼ぶのみで，不変要素であるとの明瞭な認識はない。従ってイメージを凌駕するロジックができていない。1922年に初めて接触軌道要素ではなく不変要素である固有軌道要素（1918論文の N に相当）と固有離心率（同じく M ）で，起源を同じくする小惑星を判定するということをも明確化する。つまり，族に属する小惑星を同定するロジックの完成は1922年のことである。

6. 尽きぬ難問・沸き立つ憶測

6.1 衝突か爆発か：なぜ小惑星は壊れたか

平山は1922年に小惑星の族の理論を完成させたが，なぜ小惑星が壊れるのかについては明確に述べていない。1923年に爆発としたが，爆発の理由が説明できず1927年頃まで衝突説をとった。太陽系ができ小惑星帯が形成された後，小惑星同士の衝突が起こり，小さく壊れたものが小惑星の族を形成すると考えたが，1927年からは爆発説をとった。迷いは1935年の『小惑星』の中でも感じられる。例えば，165頁から166頁にかけてこう述べている。

二つの小惑星が其様に衝突する事は甚だ稀に相違ないが何百万年という永い年数の間には必ずしも不可能ではない。唯，それに対する一つの要件は衝突の機会の多い運動を為すものに多く起こり，少ない運動を為すものに少なく起こらなければならぬことである。…機会の少ないものが却って多く衝突したというのは不可解である。

6.2 天文学者と物理学者の協働：室内破壊実験

天文学者の平山が，爆発か衝突かを室内破壊実験で確かめることはできないだろうか，と考えたことがある。寺田寅彦（1878～1935）の弟子である実験物理学者，鈴木清太郎（1887～1977）は，1966年に「寺田先生を介して平山清次博士からの依頼実験をした。私と故長島秀男君の共著で球体の石膏，封蝋等を平板上に落下しその破壊模様を見た²⁸⁾ ことがある」と回顧²⁹⁾ している³⁰⁾。

鈴木らの一連の破壊実験は1932年から1938年まで行われ，その後は行われていない。図6の1932年の衝突実験論文³¹⁾は平山の『小惑星』の出版に間に合ったが，1935年の爆発実験論文³²⁾は微妙である。室内衝突実験はその後大きく展開し，京都大学（当時）の藤原頭らは，高速度衝突

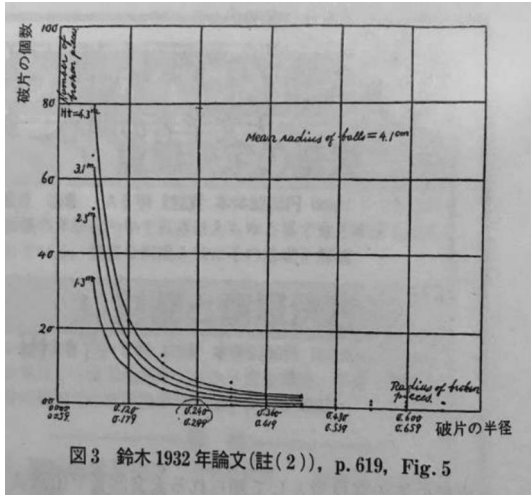


図6 1932年の衝突破壊実験。横軸が破片の半径で縦軸が破片の個数。参考文献34からの引用。

による岩石破壊実験を1970年代以降に展開し、1982年に族の小惑星のサイズ分析をしている³³⁾。

なお、鈴木は割れ目や破壊に関する初期の実験を行った人々の一人である。平山が鈴木の前破壊実験を知ったのは、1920年5月1日の日本数学物理学学会常会での口頭報告、もしくはこれを論文化した参考文献28)の鈴木の前1921年論文であろう。円板状に成型した試料の上に鉄球を落とす落下衝突実験で、破片の数や破片の大きさや打撃の強さを調べるという物理的関心から行われたものである。鈴木の前1921年論文には、1930年代の破壊実験とは異なり、小惑星(族)の成因を探るといふ天文学的関心が存在しない³⁴⁾。

ところで、日本数学物理学学会とは東京数学物理学学会(1877年創立東京数学会社が1884年に改称)が1918年12月に改称されたものであり、常会と年会があり、天文学、数学、物理学の三分野連合による学会である。1946年に日本物理学会と日本数学会に分かれた。学会誌名称は、前者がProceedings of the Physico-Mathematical Society of

Japanで、後者はProceedings of the Tokyo Mathemato-Physical Societyという。平山の1918年論文は後者の雑誌にも掲載された。AJ誌と同じ内容だが、配置されたダイアグラムの位置はAJ誌とは異なっていた。日本天文学会が1908年に結成されてからも、東京及び日本数学物理学学会での年会や常会での報告は行われた。

6.3 抵抗物質への執着と憶測

平山は、太陽系内にあった抵抗物質は族形成の頃までには消失したと述べている。しかし、抵抗物質が何故存在して、しかも消えてしまったのかについては、族の論文群は何も述べない。平山自らの回答は、2.<2>で述べたように天体力学的手法による恒星進化論(憶測)の中にある。なお、20世紀の初め、多くの天文学者が抵抗物質に関心を持っていた³⁵⁾。

希薄な抵抗物質の塊があって、その中で抵抗物質の集積があちこちで起きていて、惑星の核に相当するものができてきている。つまり平山は、抵抗物質が降着集積し原型惑星ができていたと考えている。平山のストーリーはこうである。そのような系に、恒星(原型太陽)が侵入した時、恒星が捕獲されて太陽系が作られていく。原型太陽がその系の中心におさまり、外部から持ち込んだ角運動量によって回転運動が生じた。系内部の抵抗物質は、侵入してきた原型太陽に大量に吸収され、成長する惑星に降り注ぎ、減少する。

平山は、「降り注ぐ抵抗物質—恒星捕獲」という思弁により、太陽系の形成、連星系や星団の形成および周期変光星の説明について、さらには恒星の熱源の問題にまで言及した^{36), 37)}。この話題は、小惑星の族から離れてしまうのでこれ以上は述べない*2。なお、熱源問題以外での関心は、前出1922年NRC報告書の「恒星に適用される天体力学」のテーマに沿ったものではある。

*2 参考文献24は、太陽系内に抵抗物質を仮定した時の小惑星の運動の行く末を考察したもので、この延長線上に文献36の恒星が捕獲されるという平山のシナリオがある。同時に文献23にあるような、当時の天文学者が共有していた連星系や恒星の熱源問題への関心もあり、平山の恒星捕獲というアイデアは平山にとって都合のよい道具になっている。

7. 平山族の評価：発見をめぐる言説

7.1 初期の評価と E.W.Brown と D.Brouwer

1918年論文で任意定数だったものに対し、1922年論文では正しく固有軌道傾斜角と固有離心率の名が与えられ、固有要素で定義された小惑星の族の概念が確立した。しかし、この小惑星の族の正しい概念は簡単に広がったわけではない。

まず、掲載された雑誌の違いを指摘しておく。1918年論文は *The Astronomical Journal* の第31巻に、1922年論文は創刊したての *Japanese Journal of Astronomy and Geophysics* の第1巻に掲載された。両者とも英文であるが、コンパクトだがインパクトのある1918年論文と比べ、1922年論文は長編テキストのスタイルをとっていて、しかも雑誌のインパクトは弱かった。

S.G.Barton (1958年没) は1924年に平山族を引用したが、接触軌道要素で単純にグルーピングしただけのものとの解釈で、固有要素の関わりは認識していない。平山の1922年論文と固有要素表をもとに独自に20個ほどのグループを作ったのは、ロシアの N.Staude で1926年のことである³⁴⁾。

平山は、1932年秋に米国ケンブリッジでの第4回IAUに参加し、ブラウンから族の存在は認めるが爆発説には不同意だとの批判をうけたことを、米阿旅行雑記(二)³⁸⁾の中で記している。一方ブラウンは「平山の発見した族は引力によって出現した比較的安定な軌道をとるグループであるようにも見えるし、配置の多様性に由来するものかもしれない。現在からの情報では族が爆発ないしは衝突の結果であるかは知り得ない」と述べた³⁹⁾。

第4回IAUで平山は D. Brouwer (1902-1966) を直接知り、前途有望な若い天文学者と評している。そのBrouwerは1950年に、天体力学に馴染んでいる天文学者は誰もが固有要素が重要なものだと認識していたと指摘しながら、実際に膨大な計算をして固有軌道要素と固有離心率を定めたのは平山が最初だと述べている⁴⁰⁾。Brouwerは平山

の先取権を適切に認めていた。

7.2 萩原雄祐・中山茂・古在由秀

日本の科学界の評価はどうだったのだろうか。

萩原雄祐 (1879-1979) は、1943年の天文月報お悔やみ記事で、「平山の研究(平山族)は言われているような統計の仕事ではない」と読者に注意を促し、「天体力学の優れた仕事」だとした。

中山茂は *Dictionary of Scientific Biography* (1981) の中で「統計と既知の天体力学の原理に基づいた仕事」と述べ、古在由秀 (1928-2018) はあらゆる機会をとらえて、最初に固有要素に焦点を合わせた人物は平山だと述べ先取権を擁護した。

中村士は、平山族に対する応答や評価が緩慢だったのは、第一次世界大戦と第二次世界大戦との間で、小惑星探索と研究結果の伝達が悪かったので検証データが不足していたからだと述べた⁴¹⁾。

7.3 通常科学のパズル解き

日本の科学界には萩原が述懐したような、「族の発見は統計の仕事」だと思っていた人達がいたことになる。地震学の分野でも、1910年代から1920年代にかけて、「統計の仕事」が話題になっていた。金凡性は『明治・日本の地震学』⁴²⁾の中で、長岡半太郎らが日本の地震学は統計の仕事だと批判したこと、そして地震学の分野に物理学的アプローチが台頭してくる状況を活写した。その状況は、統計の仕事を見下すニュアンスを帯びていたとは言えないだろうか。

平山族に「統計の仕事」という印象があった要因は、二つある。一つは、3.2「緯度観測コミュニティの中で」で述べたが、緯度変化のE-W問題の論文群を通し、平山の研究スタイルは統計的アプローチだと印象づけられていたことである。木村栄(背後には田中館愛橘や長岡半太郎がいる)と平山のZ項の原因をめぐる論戦で、その印象は強められたと言っても良いのではないかと思う。

二つ目は5で述べたように、1918年論文の構成と読み手からの論文の見え方である。統計的アプローチの頁をめくると、イメージが大挙して押し

寄せてくる。ロジックは見開き右頁の下に配されている。ロジックは未完なので、速読の読者にとっては、統計的アプローチとイメージが印象づけられる。

何らかの集積があるという考え方の発端には、確かに統計的アプローチがある。しかし、その集積から余計なものをふるい落とし確実に族と言うためには、統計は非力だ。目の前の問題に対し、既存の知識とは言え、不変要素を解決のための作業ツールとして用いることが必要だった。既存の知識（不変要素）と既存の手法（天体力学）で、平山は通常科学のパズル解きに成功した。

8. まとめ：新分野形成者

1918年から1922にかけて、平山は小惑星の族の発見というパズル解きをした。20世紀最初の四半世紀は、物理学のみならず天文学も大きな転換の時期で、平山の小惑星の族は地味な発見だった。ゆっくりとした受容だったが、太陽系形成論や惑星科学の展開、ロケット技術や探査機の発達、望遠鏡を含む観測機器の進歩、シミュレーション科学の興隆に伴い、族は活躍中である。

平山は東京天文台の台長にも、IAUの役職にもつかなかった。緯度変化観測グループからはみ出したが、編暦業務を通してブラウンの月運動論に積極的に親しみ、講義科目とするようになった。

月運動論は、天文台での平山の後任である石井重雄（1901-1939）に、そして広瀬秀雄に繋がった。礼文金環食（1948年5月9日、10時24分40秒～13時17分51秒）での広瀬による正確な金環帯の予測成功の裏には、石井の掩蔽観測データの集約作業があった。広瀬は1949年に、「天体の位置観測に現れる局地性」の中で次のように回顧した⁴³⁾。

月の運行表を作るにあたってその理論に対する諸常数を決めたのは、最も永い観測材料を持つ Greenwich 天文台の子午環観測によっ

たのであるが、1923年以来世界中の掩蔽観測を集めてこれを整理し、その運動表による月の位置に対する補正を年々求めて月の運動を追跡した。Brownは1925年ころ世界中の天文台その他に掩蔽観測を広く依頼した。

さらに、小惑星の族の発見を契機に、小惑星や衛星の運動論領域の関心を推し進め、天文古記録の調査から江戸時代の天文暦書等の調査も行い、明治前日本科学史の編纂に貢献した。また、平山が関心を持った室内破壊実験は、その後の新しい高速破壊実験に繋がりに、太陽系における天体衝突。進化過程の研究に繋がった。新分野形成の最初に平山清次がいる。

謝辞

2018年11月4日に、国立天文台と千葉工業大学の主催で研究集会「平山族発見から100年～太陽系における天体衝突・進化過程の理解と現状」があり、IAU・SOCの一員である吉田二美先生を介し講演者の一人として招かれました。関係者の皆様に改めて感謝いたします。

参考文献

- 1) 平山清次, 1935, 小惑星 (岩波書店), 2-3
- 2) 吉田省子, 杉山滋郎, 1997, 科学史研究, 204, 218
- 3) Yoshida, S., & Nakamura, T., 2011, Highlighting the History of Astronomy in the Asia-Pacific Region (Springer, New York), Part III, 171
- 4) 雑報学位記, 1911, 天文月報, 4(9), 105
- 5) 広瀬秀雄, 1979, 星の手帖, 6, 10
- 6) Abe, S., 1996, The proceedings of the International Latitude Observatory of Mizusawa, 6, 32
- 7) Hirayama, K., 1907, Astronomische Nachrichten, 176, 104
- 8) Hirayama, K., 1908, Astronomische Nachrichten, 179, 133
- 9) Hirayama, K., 1909, Astronomische Nachrichten, 181, 183
- 10) Hirayama, S., et al., 1903, Annales de l'Observatoire Astronomique de Tokyo, III, 1
- 11) Hirayama, K., 1907, Annales de l'Observatoire Astronomique de Tokyo, IV, 1
- 12) Hirayama, K., 1907, Proceedings of the Tokyo Mathe-

- matico-Physical Society, 2nd Series, 4, 329
- 13) Brown, E.W., 1919, Tables of the Motion of the Moon Three volumes (Yale University Press, New Haven)
- 14) Brown, E.W., 1921, AJ, 53, 169
- 15) 平山諦, 1985, 数学史研究, 106, 35; <http://www.wasan.jp/sugakusipdf/sugakusi106.pdf> (2019.7.31)
- 16) <http://library.nao.ac.jp/kichou/kanda.html> (2019.7.31)
- 17) 中山茂, 1974, 歴史としての学問 (中央公論社)
- 18) Nakayama, S., 1984, Academic and Scientific Traditions in China, Japan, and the Weas (University of Tokyo Press)
- 19) 1922年, 陸地測量部沿革史 (陸軍参謀本部陸地測量部)
- 20) 雑報, 1908, 天文月報, 第1巻3号, 30
- 21) 平山清次, 1914, 科学知識, 第4巻第7号, 824
- 22) Brown, E.W., 1912, MNRAS, 72, 609
- 23) Brown, E.W., et al., 1922, Bulletin of the NRC, 19, 1
- 24) Hirayama, K., 1918, Proceedings of the Tokyo Mathematico-Physical Society, 2nd Series, 9, 264
- 25) 吉田省子, 2002, 科学史研究, 224, 203
- 26) Hirayama, K., 1918, AJ, 31, 185
- 27) Hirayama, K., 1922, Japanese Journal of Astronomy and Geophysics, 1(3), 55
- 28) Suzuki, S., 1921, Proceedings of the Physico-Mathematical Society of Japan, 3rd Series, 3, 168
- 29) 鈴木清太郎, 1966, 物理学史研究, 3(2), 34
- 30) 横尾広光, 1997, 天文月報, 90(6), 273
- 31) Suzuki, S., 1932, Proceedings of the Tokyo Mathematico-Physical Society, 3rd Series, 14, 329
- 32) Suzuki, S., & Nagashima, H., 1935, Proceedings of the Tokyo Mathematico-Physical Society, 3rd Series, 17, 528
- 33) Fujiwara, A., 1982, Icarus, 52, 434
- 34) 吉田省子, 2001, 科学史研究, 219, 129
- 35) Brush, S.G., 1996, Fruitful Encounters, A History of Modern Planetary Science vol. 3 (Cambridge University Press)
- 36) 平山清次, 1931, 「恒星の進化に就いて」, 日本天文学会要報, 1, 2, 182: 引用は188頁
- 37) 株本訓久, 2000, 科学史研究, 213, 20
- 38) 平山清次, 1933, 天文月報, 26(5), 88
- 39) Brown, E., 1932, Publication of the Astronomical Society of Pacific, 44, 21
- 40) Brouwer, D., 1950, AJ, 55(1186), 162
- 41) Nakamura, T., 2014, Asian Journal of Physics, 23, 189
- 42) 金凡性, 2007, 明治・大正の日本の地震学～「ローカル・サイエンス」を越えて～ (東京大学出版会)
- 43) 広瀬秀雄, 1949, 科学, 19 12, 546

The Life and Researches of Kiyotsugu Hirayama (1874–1943)

～various aspects of the discovery of Hirayama Families～

Seiko YOSHIDA

Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Kita 9, Nishi 9, Kita-ku, Sapporo, 0608589 Japan

Abstract: Hirayama discovered the asteroid families in 1918, succeeded in solving puzzles with known principles and methods, and completed the theory in 1922. He first realized that the proper elements were the key. He escaped from the latitude observation community, but softly landed on new areas—the Brown's lunar theory; the asteroid families; the stability of the motion of asteroids and satellites; surveys of the archival astronomical records of China, Korea and Japan. The impact experiments that he was interested in have led to modern hypervelocity impact ones.