

## 投稿

# 「ハッブルの法則」から 「ハッブル - ルメートルの法則」へ ～国際天文学連合 (IAU) 決議とその対応～

岡村定矩 (東京大学エグゼクティブ・マネジメント・プログラム)

## 1. 経緯と背景

2018年8月20-31日にオーストリアのウィーンで開催された第30回国際天文学連合 (International Astronomical Union: IAU) 総会で、「今後、宇宙の膨張を表す法則は『ハッブル-ルメートルの法則』と呼ぶことを推奨する」という決議案が提案された。決議案に関して総会でさまざまな議論があり、それを踏まえた最終案が会員による電子投票に付されることになった。10月4日に電子投票の受付が開始され、10月26日の締め切りまでに会員の37%に当たる4070名が投票した。その結果、決議は、賛成78%、反対20%、棄権2%で採択された。

遠方銀河のスペクトル線は波長が長い方へずれて観測される赤方偏移を示す。赤方偏移から求まる視線速度 (我々から遠ざかっているように見えるので後退速度と呼ばれることが多い) と銀河までの距離が比例すること (以下、速度-距離関係) は宇宙膨張の最も重要な観測的証拠である。この証拠を初めて示したのが1929年にアメリカのハッブル (E. P. Hubble) が出版した論文であると考えられていたことから、速度-距離関係はこれまで「ハッブルの法則」と呼ばれてきた。

実は、銀河の後退速度と距離の比例関係は、ベルギーの神父であり宇宙物理学者であるルメートル (G. Lemaître) によって1927年に出版された論文に記述されていた。ところがこの論文はフランス語で書かれ、多くの人の目に触れにくい雑誌に投稿されたので、出版

直後には広く知られなかった。イギリスのエディントン (A. S. Eddington) の紹介で1931年にこの論文は英文に翻訳され、英国王立天文学会誌に掲載された。ところが、この英文論文では原論文にあったいくつかの節、特にハッブル定数を求めた節、および速度-距離関係が宇宙の膨張に起因することやハッブル定数の不定性について述べた重要な脚注が削除されていた。このことは少数の研究者には以前から知られていたが、誰が英訳を行ったのか、削除が何らかの意図のある「検閲」によるものであったのかどうか、2009年頃から関連研究者の間で大きな話題となった。

## 2. ハッブルの1929年の論文の概要

“A RELATION BETWEEN DISTANCE AND RADIAL VELOCITY AMONG EXTRA-GALACTIC NEBULAE (系外銀河の距離と視線速度の関係)”, Edwin Hubble, communicated January 17, 1929, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Vol. 15(3), pp. 168-173 [1]

当時視線速度の観測されていた系外星雲 (今日言う「銀河」) は46個であった。この論文では、その中で24個の系外星雲に対してかなり信頼できる距離を求め、それらに対する太陽の運動 (最終的には銀河系から見た星雲の運動にひき直す) を調べた。ハッブルは系外星雲の距離を3種の方法で求めた。も

つとも信頼できるセファイド変光星などの手法によるものが7個(うち2個はシャプレーによる距離を採用)、系外星雲中で最も明るい星の絶対等級はほぼ一定であるとして、それらの見かけの明るさから距離を求めたものが13個、および、おとめ座銀河団の距離を適用したものが4個である。視線速度としては、同僚のハマソン(M. Humason)の最新の測定値を4個の系外星雲に用いたが、それ以外はアメリカのヤーキス天文台のスライファー(V. M. Slipher)による観測データである。これらのデータから作成した以下の図が速度-距離関係を示した有名な図である。この図のデータからハッブルは、視線速度と距離の間の比例定数(今日ではハッブル定数と呼ばれている)の値として530 km/s/Mpcと500 km/s/Mpcという値を求めている(注1)。(注1. 2016年時点でのハッブル定数の最良推定値は70-73 km/s/Mpcとなっている; Beaton *et al.* 2016, *ApJ*, **832**, 210。当時の値との大きな違いの主な原因は、「セファイド」に2種類あることが分かったこと、及びハッブルが星と思ったもののいくつかが実際は電離水素領域であったことである)

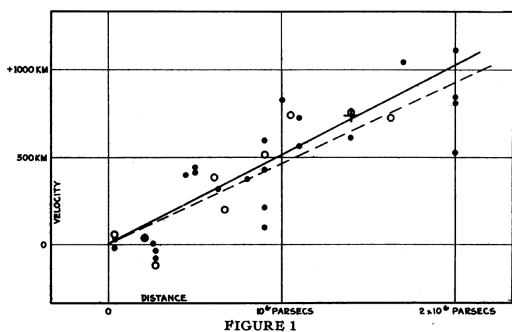


図1 距離の推定された24個の銀河(黒丸印)の後退速度を距離の関数としてプロットした図。白丸印はいくつかの銀河をグループにまとめたもの。実線と破線は黒丸と白丸に対するベストフィットの直線。プラス印は、距離の精度の低い22個の銀河の平均値を示す。

ハッブルは、視線速度と距離の比例関係を指摘したが、その解釈についてはごく簡単に、ド・ジッター宇宙モデル(指数関数的に膨張する、正の宇宙定数をもつ物質を含まない宇宙のモデル)に基づいた記述をしているだけである。そこでは「比例関係は限られた距離範囲において近似的に成り立っているのかも知れない」との含みも持たせている。

### 3. ルメートルの1927年の論文の概要

“Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques”(系外星雲の視線速度を説明する質量が一定で半径が増加する一様な宇宙), Note de M. l'Abbé G. Lemaître 1927, *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, **A47**, pp. 49-59 [2]

1931年出版の英語版:

“Expansion of the universe, A homogeneous universe of constant mass and increasing radius accounting for the radial velocity of extra-galactic nebulae”(宇宙の膨張、系外星雲の視線速度を説明する質量が一定で半径が増加する一様な宇宙), Lemaître, G. 1931, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. **91**, pp. 483-490 [3]

一様で質量一定の宇宙に対するアインシュタインの一般相対性理論の方程式の解を導出した。その解によると宇宙は膨張し、系外星雲の後退速度は距離に比例することが導かれる。さらにルメートルは、文献から彼がデータを利用できた41個の系外星雲に対してハッブル定数を625 km/s/Mpcと求めた(データの扱い方によっては575 km/s/Mpcとなることが脚注に述べられている)。彼が用いたのは、スライファーにより測定され出版され

ていた系外星雲の視線速度と、ハッブルの1926年の論文(Hubble 1926, "Extragalactic nebulae", *Astrophysical Journal*, Vol. 64, pp. 321-369 [4])に掲載されている系外星雲の距離の推定値である。

#### 4. リビオの論文

ルメートルの論文を英訳したのは誰か、また英訳に当たっていくつかの部分が英訳時に削除された理由は何か。この問題に結着をつけたのがリビオ(M. Livio)による論文[5]である。それを調べるためにリビオは原資料の調査を行った。王立天文学会誌の当時の編集長であったスマート(W. M. Smart)とルメートルの間でこの件に関してやりとりした書簡や王立天文学会の議事録等を調査した結果リビオは、「英訳したのはルメートル自身であったこと、削除に関しては何らの圧力はなくルメートル自身が決めたこと」という証拠を得た。論文の最後で、リビオは次のように述べている。

「ルメートルの手紙はまた、1920年代の(何人かの)科学者の科学に対する気持ちをうかがわせる。ルメートルは彼の最初の発見に対する優先権を固執するなどということは決してなかった。ハッブルの結果が1929年に出版されたのであるから、それより以前の自分

の暫定的な発見を1931年に再度繰り返し記述する意味はないと考えた。それよりも彼は、王立天文学会誌に彼の新しい論文「膨張する宇宙」を出版することを望んだのであり、それは後に実現した。」

#### 5. 国際天文学連合 (IAU) の決議

宇宙膨張の発見は現代天文学・宇宙物理学の基礎となった重要な発見の一つである。新たに判明した事実を踏まえ、それに重要な寄与をしたルメートルの功績を記念すべきと考えたIAU執行部の提案が今回IAU会員の支持を得たのである。

IAUの決議(resolution B4)は以下の11の項目からなっている。そのうち1-6は決議に向けて考慮した事柄である。

1. 通常「ハッブルの法則」と言われている、銀河が見かけ上我々から遠ざかって行くように見えるという発見は、天文学の過去100年間の発展の中の画期的な出来事の一つであり、現代宇宙論の基礎の一つであること；
2. ベルギーの天文学者であるジョルジュ・ルメートルが1927年に「Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques (系外星雲の視線速度を説明する質量が一定で半径が増加する一様な宇宙)」という題名の論文[2]を(フランス語で)出版した。この論文の中で彼は、

アインシュタインの一般相対性理論の方程式に対する膨張宇宙を記述するフリードマンの動的解を最初に再発見(注2)した。さらに彼はまた、宇宙が膨張すれば遠方銀河のスペクトルが銀河までの距離に比例して赤方偏移することを示している。そして最後に彼は、出版されたデータに基づいて、銀河の速度と測光学的に求めた距離から

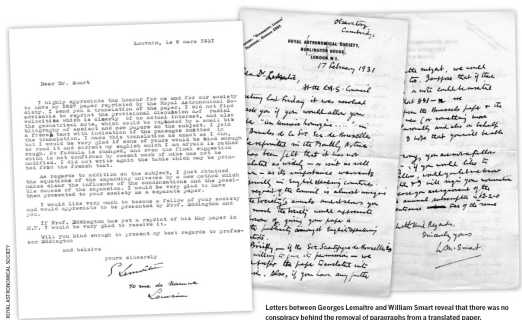


図2 ルメートルとスマートの間で交わされた書簡(Mario Livio 2011, *Nature*, Vol. 479, pp. 171-173 [5]より転載)

(彼が理論的に見いだした比例関係を仮定して)、宇宙の膨張率を導き出したこと；

(注2. フリードマンの解は1922年に公表されていたが、ルメートルはそれを知らなかった。)

3. この論文が出版されたとき、ルメートルの論文が掲載された学術誌の知名度は低く、また用いられた言語のせいもあり、彼の画期的な発見は天文研究者にほとんど知られなかったこと；
4. ジョルジュ・ルメートル(1925年からIAUメンバー)とアメリカの天文学者エドウィン・ハッブル(1922年からIAUメンバー)はともに1928年7月にライデンで開催された第3回国際天文学連合総会に出席し、系外星雲の赤方偏移と距離の観測データは、あらたな宇宙の進化モデルに適合することに関して意見を交換したこと；
5. エドウィン・ハッブルが1929年に「A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae (系外星雲の距離と視線速度の関係)」というタイトルの論文 [1]を発表し、その中で、最終的には1931年のハマソンとの共著論文に載せた新しい視線速度のデータも含めて、銀河に対する距離と速度の比例関係を提案し導出したこと；
6. 1931年に、Journal Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (英国王立天文学会が出版する学術誌)の招待に応じてルメートルは彼の1927年の原著論文を英語に翻訳した[3]。その時彼は、宇宙の膨張率を導き出した節と宇宙の幾何学に関する脚注を、「明らかに今や関心のない(原著論文にあった)視線速度の暫定的な議論、およびこの問題に関する過去及び新しく出た論文リストで置き換えられる宇宙の幾何学に関する脚注を再度ここに記述するのが良いとは思えない」との理由で、意図的に

削除したこと；

続いて、決議の目的が7-10に記されている。

7. ジョルジュ・ルメートルとエドウィン・ハッブルが現代宇宙論の発展に根本的な貢献をしたことを賞賛するために；
8. 自分自身の知名度よりも科学の発展により高い価値を見いだしたジョルジュ・ルメートルの知的高潔さをたたえるために；
9. 意見を交換し国際的な議論を促進する国際天文学連合総会の役割を強調するために；
10. 将来の科学的な講演・論説・論文などに対して歴史的事実を示すために；  
そして最後が決議の本文である。
11. 第30回IAU総会は、今後、宇宙の膨張を表す法則は「ハッブルルメートルの法則」と呼ぶことを推奨する。

- [1] Annales de la Société Scientifique de Bruxelles, A47, p. 49-59 (1927)
- [2] Lemaitre, G. 1950, Ann d' Ap., 13, 344, as translated by David L Block, 2012, in Georges Lemaitre: Life, Science and Legacy, eds. R.D. Holder and S. Mitton, Astrophysics and Space Science Library, Springer-Verlag: Berlin, Vol. 395, p. 89
- [3] IAU Transactions Vol. 1, 1922
- [4] Humason (https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4686), as reported by Sidney van den Bergh, 2011, JRASC, Vol. 105, p. 197
- [5] Proceedings of the National Academy of Science, USA, 15, 168 (1929)
- [6] "The velocity-distance relation among extra-galactic nebulae", Astrophysical Journal, Vol. 74, p. 43-80 (1931)
- [7] Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 91, p.483-490 (1931)
- [8] Georges Lemaitre, quoted by Mario Livio in Nature, Volume 479, Issue 7372, pp. 171-173 (2011)

### 図3 決議に引用されている参考文献リスト

## 6. 望ましい対応

日本学術会議物理学委員会傘下の天文学・宇宙物理学分科会とIAU分科会は、この決議が社会、特に学校教育現場に混乱を与えることがないように、対応のガイドラインを「提言」として準備中であり、近々「提言」として日本学術会議から発出・公表される予定である。今後はそれに沿った対応が各方面でとられることが望ましい。

今回の決議は、「今後は『ハッブルルメートルの法則』と呼ばなければならない」という規則改定ではない。したがって、「これまで

使われてきた『ハッブルの法則』という言葉は間違い」というような問題ではないことに注意すべきである。そうした事情を十分理解したうえで対応することが最も重要である。またハッブル定数」や「ハッブル時間」など、ハッブルの名前を冠する学術用語はたくさんあるが、「ハッブルの法則」以外はこの決議の影響を受けることはなく、従来通りである。

私は以下のような対応が望ましいと考えて日本学術会議のガイドライン作成に協力している。まず学校教育現場での対応であるが、第1に、直ちに教科書などに対する補充資料のようなものを作る必要はなく、教科書などにおける記述変更は直近の改訂時に行い、それまでは現場での解説で対応するのでよいだろう。第2に、各種試験で宇宙膨張の法則の名称そのものを問うて、『ハッブルの法則』か『ハッブル-ルメートルの法則』かによって解答の正否が分かれるような問題は出さないことが肝要である。

今回の決議の目的の一つは、「意見を交換し国際的な議論を促進する国際天文学連合総会の役割」として「歴史的事実を示す」ことであつた。学校教育現場に限らず一般社会においても、しばらくの期間は、『ハッブルの法則』と『ハッブル-ルメートルの法則』のどちらが使われていてもそれは問題とすべき事柄ではない。さらに、一般書やマスコミ等の記述、講演会などで用いる名称も当面担当者しだいとすべきであろう。日本学術会議のガイドラインも概ねこの方向でまとめられると想定される。

## 文 献

- [1] Hubble, E. (1929), “A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae”, communicated January 17, 1929, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Vol. 15(3), pp. 168-173
- [2] Lemaître, G. (1927), “Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques”, Annales de la Société Scientifique de Bruxelles, A47, pp. 49-59
- [3] Lemaître, G. (1931), “Expansion of the universe, A homogeneous universe of constant mass and increasing radius accounting for the radial velocity of extra-galactic nebulae”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 91, pp. 483-490
- [4] Hubble, E. (1926), “Extragalactic nebulae”, Astrophysical Journal, Vol. 64, pp. 321-369
- [5] Livio, M. (2011), “Lost in translation: Mystery of the missing text solved”, Nature, Vol. 479, pp. 171-173

岡村 定矩

\* \* \* \* \*