

宇宙大規模構造スケールでの 大局的なHubble定数の決定

渡 邊 大

〈国立天文台データ解析計算センター 〒181 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

宇宙の銀河分布には数十 Mpc スケールの大規模構造が存在する。そのため、宇宙全体の平均的な膨張率を表すパラメータである Hubble 定数を観測的に決定するためには、我々の近傍やもしくは宇宙空間内で局在した銀河サンプルなどを用いて解析をするのではなく、より広い空間領域にわたるより稠密なサンプルを用いた、より大局的な解析を行なうことによりその値を求めることが重要である。

こうして求められた大局的な Hubble 定数の値はこれまでに近傍で求められた値と一致するだろうか。大規模構造スケールの空間領域から得られた銀河サンプルに基づく、Tully-Fisher 関係を用いた Hubble 定数の解析の結果を報告する。

1. はじめに

1.1 Hubble 定数

我々の近傍のごく限られた銀河の場合を除けば、一般に銀河から発せられた光はその固有波長 λ_0 よりも長い波長 $\lambda_{\text{obs}} (> \lambda_0)$ で観測される。このことから、我々はそれら銀河が我々から遠ざかる運動(後退運動)をしているという描像を得る。

特に赤方偏移 $z \equiv (\lambda_{\text{obs}} - \lambda_0) / \lambda_0 \ll 1$ の銀河についてはその後退速度は $V_{\text{obs}} = cz$ (c は光速) で与えられることになる^{*}。この後退速度 V_{obs} は、その銀河の距離 r_{obs} と比例の相関を持つことが観測的に知られており、この関係はその発見者にちなんで Hubble 則と呼ばれている。一方、理論面からのアプローチによると、Robertson-Walker 計量に基づく現在の標準的な膨張宇宙モデルにおいては、銀河の(固有)距離 r が、時刻 t の関数である宇宙のスケールファクター $a(t)$ と座標原点(観測者)から対象銀河までの座標距離 x を用いて $r = a(t)x$ と表されることから、宇宙膨張に伴う銀河の後退速度 $V \equiv dr/dt = (da/dt)x$ は、

$$\begin{aligned} V &= (da/dt)r \\ &\equiv H_0 r \end{aligned} \quad (1)$$

と表され、Hubble 則が自然に成立することが分かる。またこの Hubble 則の比例定数 H_0 はスケールファクター a の現在における変化率 $(= da/dt/a)$ という意味をもつことも明らかになる。

この比例定数 H_0 は Hubble 定数と呼ばれ、観測的宇宙論における最も重要な定数の一つである。その重要性は二点であり、一つはこの定数が Hubble 則を通じて後退速度から宇宙の距離の尺度を与える点、もう一つはこの Hubble 定数の逆数が、宇宙密度パラメータ Ω_0 と宇宙定数 Λ との組合せにより宇宙年齢の指標となる点である。

1.2 Hubble 定数の決定方法及び不定性要因

Hubble 定数 H_0 は、原理的には銀河に対して式(1)における V , r を観測的に推定することにより、その比として求められる。 V の推定量は V_{obs} であり、また r の推定量は、例えば銀河の見かけ等級 m_{obs} ^{*} と絶対等級 M_{est} から計算される距離

* 本稿では宇宙マイクロ波背景放射(CMBR)の静止系に対する速度とする。

* 吸収など補正済み

$r_{\text{obs}} = 10^{(m_{\text{obs}} - M_{\text{est}} + 5)/5}$ pc である。以下では距離 r と距離指数 $(m-M)$ を適宜混用することをあらかじめお断りしておく。直接観測量ではない絶対等級 M_{est} は、通常他の何らかの銀河観測量 ξ の関数 $M_{\text{est}}(\xi)$ として推定されることになる。この推定に用いられる ξ と M_{est} の間の相関関係は、一般に距離指標関係と呼ばれる。Hubble 定数を求める計算において最も大きな不定性要因となる物理量がこの M_{est} であるため、Hubble 定数決定の歴史は、より信頼性が高くかつ使い勝手の良い距離指標関係を開拓することによる銀河測距の歴史であるとも言える。この点に関する歴史的な経緯は、例えば本報 1993 年 4 月の岡村氏の記事¹⁾に詳しい。

さて、こうして求められた観測量 V_{obs} 及び r_{obs} であるが、これらが仮に観測誤差のない理想的な観測により求められた量であるとしても、これらは依然として式 (1) における理論的な物理量 V 及び r とは一般には一致しない量である。

観測誤差を除けば、これらの観測量と理論量は次式のような関係を持つ。

$$V_{\text{obs}} = V + \Delta V_r + \Delta V_b \quad (2)$$

$$m_{\text{obs}} - M_{\text{est}} = (m-M) + \Delta M(\Delta\xi) + \Delta M_{\text{int}} + \Delta M + \Delta m \quad (3)$$

ここで ΔV_r は銀河個々のランダム運動速度 ($\sim 500 \text{ km s}^{-1}$)、 ΔV_b は方向の揃った大規模な銀河運動の速度 ($\sim 500 \text{ km s}^{-1}$)、 $(m-M)$ は r に対応する真の距離指数、 $\Delta M(\Delta\xi)$ は ξ の総誤差 $\Delta\xi$ に起因する絶対等級の誤差 ($\sim 0.1 \text{ mag}$)、 ΔM_{int} は距離指標関係の内部不定性 ($\geq 0.2 \text{ mag}$)、 ΔM はその内部不定性をもつ距離指標関係をみかけ等級で制限された銀河サンプルに適用することにより生じる系統誤差 (後述)、そして Δm は観測されたみかけ等級に吸収補正などの補正を施す際の系統誤差 ($\sim 0.5 \text{ mag}$) である。

式 (2) から明らかなように、 V_{obs} を V の推定量として用いる際の相対誤差は、十分に遠方の銀河を用いることにより十分に小さく抑えることができる。一方、式 (3) から分かることは、誤差の評価が

距離指数 $(m-M)$ によって行なわれていることから、距離 r についての相対誤差は銀河の距離の大小に関わらず不変であるということである。 Δm はいわゆる「げた」であるために、その評価は比較的容易である。従って、この距離 r の誤差を小さく抑えるためにはまず最大のランダム誤差要因である ΔM_{int} 自体を小さく抑える必要がある。

以上のことから、Hubble 定数の研究における大目標の一つは、現行で最も ΔM_{int} が小さくかつ信頼性の高い距離指標関係であるセファイドの周期-光度関係を、可能な限り遠方の銀河に適用するということであった。この目標は、HST を始めとする近年の高空間分解撮像観測により大きな進展がみられ、おとめ座銀河団 ($V_{\text{obs}} \sim 1300 \text{ km s}^{-1}$) やしし座 I 銀河群 ($V_{\text{obs}} \sim 800 \text{ km s}^{-1}$) などの観測においてその成果が示されている^{2), 3), 4)}。後退速度に関してこれらの銀河団・銀河群は近傍にあり過ぎるため、実際の Hubble 定数の計算では、これらの銀河団・銀河群との距離比が良く求まっているかみのけ座銀河団 ($V_{\text{obs}} \sim 7200 \text{ km s}^{-1}$) の距離を算出することにより、このかみのけ座銀河団の距離と後退速度から Hubble 定数を求めている。その結果これらの研究からは $H_0 = 70-85 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ 程度の値が得られており、これは単体の銀河団を用いた局所的な銀河サンプルによる Hubble 定数の解析結果としては現行では最も信頼性の高いものであると言える。

1.3 我々の研究の特長

上述の Hubble 定数の研究は、 V_{obs} により V が十分良く推定されていると考えられている遠方のある一点 (かみのけ座銀河団) に関して、その距離を (間接的ではあるが) ΔM_{int} が最も小さい方法を用いて決定したという点において、Hubble 定数の研究において画期的なものであった。しかし、Hubble 定数の研究にはもう一つ重要な目標がある。Turner, Cen & Ostriker (1992) は、宇宙の大規模構造の存在による ΔV_b などの影響から、このような局所的な銀河の解析からは大局的な Hubble 定数の値を

精確に求めることが困難であることを指摘している。また ΔM の影響によるバイアスの影響も様々に議論されている⁶⁾。しかしこれらの影響はいずれも、宇宙空間内で無限小といえる領域一点のみを少ないサンプル銀河を用いて解析する従来の研究では評価できない問題であった。従ってこれらの系統誤差の要因 ΔV_b 及び ΔM の影響を抑えた、もしくは陽に補正した解析を行ない、より大局的な Hubble 定数の値を求める、ということがもう一つの重要な課題なのである。

これらの問題を考慮した Hubble 定数の研究は Ichikawa & Fukugita⁷⁾によって行なわれた。彼らは、Arecibo サーベイ^{8), 9), 10)}によってうお座-ペルセウス座領域 ($22^{\text{h}} \leq \alpha \leq 4^{\text{h}}$, $+22^{\circ} \leq \delta \leq +33^{\circ}$) のほとんどすべての CGCG 及び UGC カタログ銀河に対して一様に中性水素 (HI) の 21cm 線データが与えられていることに着目した。CGCG カタログ及び UGC カタログはパロマーチャートの眼視精査による、それぞれ見かけ等級 15.5 mag 及び視直径 1 分までの完全な銀河カタログである。このデータを用いることにより、21 cm 線幅を用いる距離指標関係である Tully-Fisher (TF) 関係からこれまでで最大の空間領域における大局的な Hubble 定数を求めることができる考えた。この領域はその規模が $V_{\text{obs}} \sim 12000 \text{ km s}^{-1}$ に及ぶため、この領域を大局的に見た場合の ΔV_b の影響は無視できると考えられる。またサンプル銀河が 400 個と非常に多くかつ稠密であることから、 ΔM についても陽にその補正を行なった解析が可能である。この彼らの研究も画期的なものであったが、未だ不十分な点も残された。即ち、1) 測光データがパロマーチャートの眼視測定に依るカタログに準拠している、2) 銀河の統計的な解析において、個々の銀河の統計的重みが明確でない、という点である。この問題を受けて、我々は東京大学木曾観測所の 105 cm シュミット望遠鏡を用いて同領域の B バンド写真撮像サーベイ観測を行ない、全 CGCG 及び UGC 銀河、総計 1524 銀河の表面測光を行なった。測光誤差は 0.13

mag である。このうちの TF 関係に適用できる渦状銀河 441 銀河を用いて、最尤法による新たな解析法で同領域内の大局的な Hubble 定数 H_0 を求めた。我々の解析領域の広さ及びこれまでの局所的な研究に主に用いられてきたおとめ座銀河団の距離に相当する位置及びかみのけ座銀河団の位置を図 1 に示す。

2. 計算方法

ΔM はその発生原理の違いにより、以下の二種類の系統誤差が考えられる。

紙面数の関係上詳しい説明は割愛するが、一つは観測限界等級以下の銀河がサンプルに含まれないというバイアス、もう一つは観測領域が一般に円錐形状となるという天文学特有の性質に起因するバイアス (Malmquist バイアス) である。距離指標関係に有限内部不定性が存在することも両方のバイアスの発生の原因となっている。詳しい説明は「天文情報処理研究会第 22 回会合『天文学データ解析における誤差』収録」を参照して頂きたい。

これらの誤差を念頭に置き、我々は以下のよう

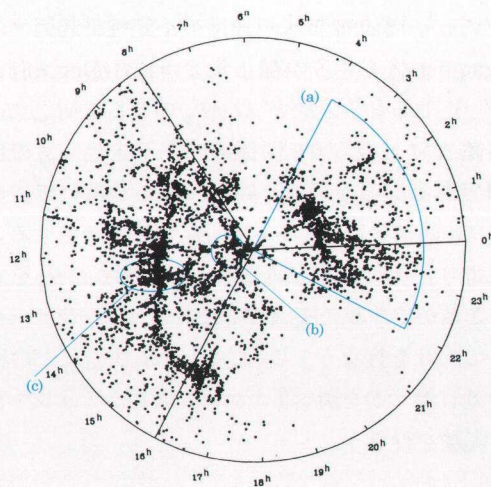


図 1 後退速度空間内の銀河分布。 $V_{\text{obs}} \leq 15000 \text{ km/s}$, $+20^{\circ} \leq \delta \leq +40^{\circ}$ の空間を示している。本解析のうお座-ペルセウス座領域(a)及びおとめ座銀河団(b)、かみのけ座銀河団(c)を囲んで示した。

な考え方で H_0 を計算する。我々の銀河サンプルは CGCG 及び UGC カタログによる、みかけ等級や視直径で制限されたサンプルであるが、Arecibo サーベイにより 21 cm 線幅に関しては任意のみかけ等級に対してほぼ一様なサンプルとなっている。よって、TF 関係を通して 21 cm 線幅と同値の物理量である銀河の絶対等級に関して、 H_0 をパラメータとする最尤法を用いることによりその値を求めることにする。すなわち、観測された銀河サンプルの絶対等級分布を最も良く再現する Hubble 定数 H_0 を決定するわけである。この方法により限界等級以上の銀河が含まれないというバイアスは十分に補正される。

銀河の絶対等級の推定量には、銀河の後退速度 V_{obs} と Hubble 定数 H_0 の組合せから求められる等級 M_v と TF 関係から求められる等級 M_{TF} の二種類がある。i 番目の銀河が絶対等級 M_v の下で TF 関係により絶対等級 M_{TF} と推定される確率 p_i を考えると、TF 関係が Gauss 分布の内部不定性を持つと仮定すれば、それは

$$P_i \propto \exp[-(M_{\text{TF}} - M_v)^2 / 2\sigma^2] \quad (4)$$

と表すことができる。ここで $M_v = m_{\text{obs}} - 5 \log(V/\text{km s}^{-1}) + 5 \log(h) - 15 + \delta$ であり、 $h = H_0/100 \text{ km/s/Mpc}^{-1}$ 、また δ は後退速度の不定性に起因する Malmquist バイアスの補正量 $\delta = 1.38(5 \log e)^2 (\Delta V_r/V_{\text{obs}})^2$ である。分散 σ^2 は M_{TF} の誤差 ΔM_{TF} 、 M_v の誤差 ΔM_v 、及び TF 関係の内部不定性 σ_{TF} の自乗和である。こうして計算される p_i を用いて、全サンプル銀河に対して p_i の積 $P = \prod p_i$ を計算することにより、尤度関数 $L = \log P$ を最大とする H_0 を求めることができる。 H_0 及び σ_{TF} をフリーパラメータとして計算を行なう。この方法が H_0 決定にどの程度有効に働くかを調べるために、次にシミュレーション実験を行なう。

3. シミュレーション

実際のサンプル銀河と同数の疑似銀河を、実際のサンプルに似せた後退速度分布で分布させ、更

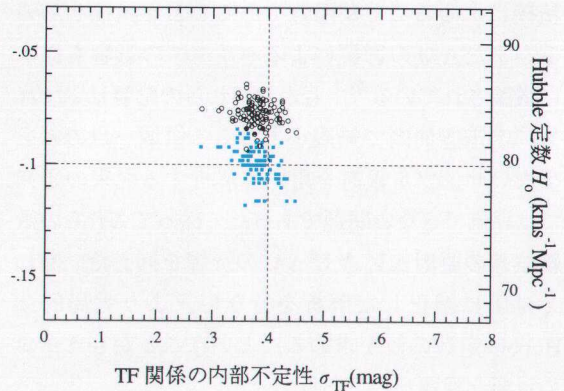


図2 100セットのシミュレーションサンプルに対して計算された H_0 と σ_{TF} 。点線は $\log h = -0.1$ 及び $\sigma_{\text{TF}} = 0.4 \text{ mag}$ の答を示す。■は最尤法による結果、○は Hubble 比の単純サンプル平均を示している。

に適切な光度関数に従って絶対光度を割り当て、ランダム運動速度や TF 関係の内部不定性などの不定要因もすべて加味し 441 銀河の疑似サンプルを作成する。 $\log(h) = -0.1$ 及び $\sigma_{\text{TF}} = 0.4 \text{ mag}$ があらかじめこの疑似サンプルに与えられた答である。

このような疑似サンプルを 100 セット作り、それらに対して、 H_0 の推定法として「各銀河の Hubble 比の単純な平均値」という方法と今回の「最尤法」とを別々に適用してみる。その結果を図 2 に示す。このシミュレーションから、Hubble 比の単純なサンプル平均では H_0 の値を大きく導き出してしまふことが分かる。他方、最尤法では正しい値の周りにほとんど偏りなく推定値が分布することが認められる。

続いて、1 セットの疑似サンプルに対して、後退速度毎にサンプルを分割して、そのそれぞれのサブサンプルにこの二種類の方法を適用した結果を図 3 に示す。

このシミュレーションにより、限界等級によるバイアスの影響で遠方の銀河ほど Hubble 比が大きくなる傾向が明らかに確認され、図 2 に示された単純サンプル平均の正しい答えからのずれはこのような遠方銀河の影響が原因となっていることが分かる。他方、最尤法による結果では V_{obs} に関係なく

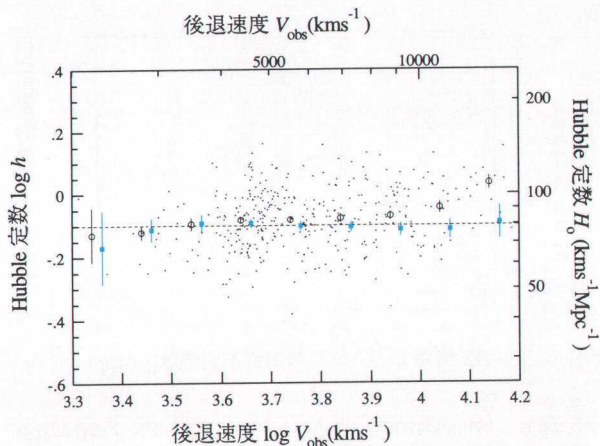


図3 1セットのシミュレーションサンプル ($\log h = -0.1$, $\sigma_{TF} = 0.4 \text{ mag}$) に対して $\Delta \log V_{\text{obs}} = 0.1$ 毎に計算された H_0 . σ_{TF} は固定して計算している. 点線は $\log h = -0.1$ 及び $\sigma_{TF} = 0.4 \text{ mag}$ の答を示す. ■は最尤法による結果, ○は Hubble 比の単純サンプル平均を示している. 小さい点は各銀河を表しており, H_0 の値は Hubble 比である点線は $\log h = -0.1$ を示している.

正しい答の値が再現されていることが確認される.

以上のシミュレーションから, 我々の最尤法によりバイアスに影響されない十分正しい H_0 の値が再現できていることが分かり, 今回の我々の方法が有効であることが確認される.

4. 解析結果

この方法を実際の銀河サンプルに適用する. TF 関係は Pierce & Tully¹¹⁾ の測光データを用いて, 距離既知の近傍銀河からあらかじめ決定しておく.

最尤法を適用した結果の $\log(h)$, σ_{TF} に関する誤差楕円を図4に示す. ここに示した誤差楕円は最尤法の計算における内部不定性のみを示しているため, 最終的な不定性の合計を求めるためには, この解析における種々の誤差を評価する必要がある. 内部誤差として図4の誤差以外に, 用いた TF 関係の誤差 ($\pm 0.08 \text{ mag}$), また外部誤差として TF 関係決定に用いた近傍銀河の距離の系統誤差 ($\pm 0.1 \text{ mag}$), サンプル銀河の測光の系統誤差 (\pm

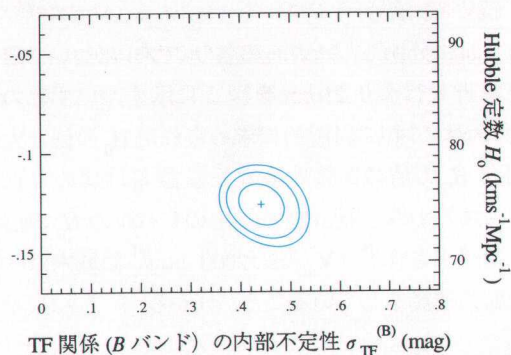


図4 我々の銀河サンプル ($N=441$) に最尤法を適用して計算された H_0 と σ_{TF} . 誤差楕円は 70%, 95%, 99% レベルを示している.

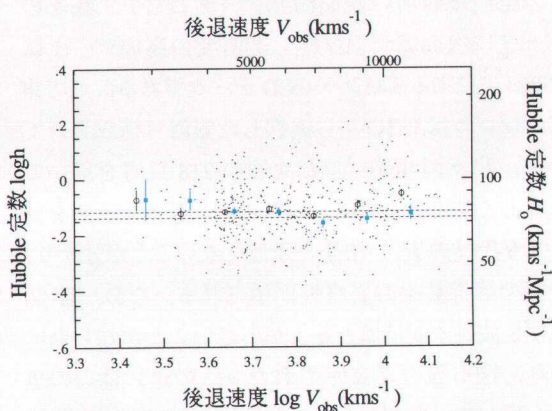


図5 我々の銀河サンプル ($N=441$) に対して $\Delta \log V_{\text{obs}} = 0.1$ 毎に計算された H_0 . $\sigma_{TF} = 0.44 \text{ mag}$ は固定している. 記号の説明は図3と同じ. 点線は図4における 70% レベルの範囲を示している.

0.05 mag), 銀河のみかけの軸比 R_{25} の系統誤差 ($\Delta \log R_{25} = 0.06$), 銀河吸収及び内部吸収の系統誤差 $\Delta m (\pm 0.06 \text{ mag})$, そして尤度関数 L を計算する際に用いたパラメータの不定性による系統誤差 ($\Delta \log h = 0.005$) などを考慮した. 以上をまとめて, うお座 - パルセウス座領域 $V_{\text{obs}} \leq 12000 \text{ km/s}$ から求められた大局的な Hubble 定数の値は,

$$H_0 = 75 \pm 4.8^{+12} \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} \quad (6)$$

と結論された. この値は近年のセファイド観測に

より近傍で求められた値を支持するものである。

続いて、銀河サンプルを $\Delta \log V_{\text{obs}} = 0.1$ 毎のサブサンプルに分割し、それらの各サンプルについて同様な解析を行なった結果を図5に示す。いずれの区間においても、局所的に求められた H_0 の値と大局的な H_0 の値の間に有意な系統誤差は認められない。すなわち、統計誤差以上のレベルの H_0 の揺らぎは観測されず、 $V_{\text{obs}} \leq 12000 \text{ km s}^{-1}$ 領域内は一樣な膨張運動をしていることが分かる。

5. rバンドデータを用いた比較解析

他の測光データを用いて独立に同様の解析を行ない、その結果を比較してみる。うお座 - ペルセウス座領域銀河の表面測光データとして、我々のデータに次いでサンプリング密度の高いデータは Willick¹²⁾による rバンド CCD データである。この銀河サンプルは UGC から選択した銀河で構成されている。我々のサンプルと共通の 218 銀河を用いて解析した結果を図6, 7に示す。測光データを変えても我々の H_0 の結果と矛盾しないことが分かり、今回の解析結果の妥当性が示される。なお、TF 関係は長波長バンドほど σ_{TF} が小さいことが知られており、図5及び7に示された σ_{TF} の違いはこの事実を表している。

6. 考察

(1) 年齢問題

標準的な膨張宇宙モデルである Friedmann モデルに従うと、Hubble 定数 H_0 、宇宙密度パラメータ Ω_0 及び宇宙定数 Λ から現在の宇宙年齢が求められる。例えば $\Omega_0 = 1$, $\Lambda = 0$ の Einstein-de Sitter 宇宙モデルのとき、宇宙年齢 T_0 は $T_0 = 2/3H_0$ である。我々の求めた値 $H_0 = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ はこのモデルにおいては $T_0 = 8 \text{ Gyr}$ 程度となり、球状星団の等時曲線から許される下限値 $T_0 \geq 14 \text{ Gyr}$ と大きく矛盾する。我々の誤差範囲における H_0 の最小値 $63 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ をとった場合、この年齢の下限値と合わせるためには、 $\Omega_0 < 0.3$ という臨界密度以下の宇宙を考えるか、

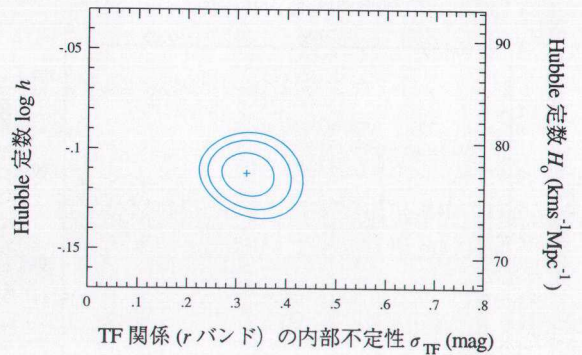


図6 Willick(1990)と共通の rバンド銀河サンプル(N=218)に最尤法を適用して計算された H_0 と σ_{TF} 誤差楕円は 70%, 95%, 99% レベルを示している。

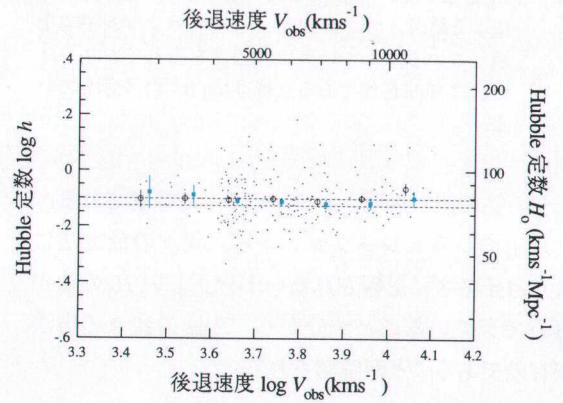


図7 Willick(1990)と共通の rバンド銀河サンプル(N=218)に対して $\Delta \log V_{\text{obs}} = 0.1$ 毎に計算された H_0 。 $\sigma_{\text{TF}} = 0.32 \text{ mag}$ は固定している。点線は $\log h = -0.1$ 及び $\sigma_{\text{TF}} = 0.4 \text{ mag}$ の答を示す。■は最尤法による結果、○は Hubble 比の単純サンプル平均を示している。

もしくは $\Lambda \neq 0$ を考えなければならない。

従来の少ないサンプル銀河を用いた解析から比較的大きい H_0 ($\geq 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$) が得られ宇宙の年齢問題が生じていたことは、宇宙膨張を調べるサンプルが宇宙空間内のほぼ無限小の一点であるということやバイアスの影響などの可能性が考えられていた。しかし今回の我々の解析により、

これらの二つの要因が年齢問題を解決する可能性は小さくなったといえる。

(2) 大規模流

うお座-ペルセウス座領域では $4000 \leq V_{\text{obs}} \leq 5000 \text{ km s}^{-1}$ に存在する超銀河団に対して $\Delta V_b \sim 400 \text{ km s}^{-1}$ の大規模流の存在が主張されている¹³⁾。この運動はいわゆる「グレートアトラクター」による運動と合わせると $V_{\text{obs}} \sim 10000 \text{ km s}^{-1}$ 規模での大規模流となる¹⁴⁾。このような広い領域にわたる揃った大規模流が存在するとすれば、宇宙構造形成モデルに対して銀河運動の面からの強い制限となり、現行の理論モデルでこのような大規模一様運動を説明するのは非常に困難である¹⁵⁾。今回の我々の解析結果(図5, 7)からは、この $\Delta V_b \sim 400 \text{ km s}^{-1}$ の大規模運動は2 σ レベルの現象である。Willick, Courteauらによる解析は、銀河の距離を求める際、TF関係を相対的に用いる手法を採っており、またTF関係の決定法においても我々の解析とは異なり銀河団銀河を用いている。これらの方法の違いによる影響は、TF関係の普遍性を仮定すれば本来問題にならない点である。フィールド銀河のTF解析に銀河団銀河で決定したTF関係が適用できるのかという問題はTF関係の環境依存性に根ざした問題であり、今後の更なる重要な研究テーマである。

本研究にあたり様々な助言を頂いた岡村定矩氏、市川隆氏、また大規模なサーベイ観測を行って頂いた木曾観測所のスタッフの方々に心から感謝致します。

参考文献

- 1) 岡村 天文月報 1993年4月
- 2) Pierce M.J., Welch D.L., McClure R.D., van den Bergh S., Racine R., Stetson P.B., 1994, Nature 371, 385
- 3) Freedman W.L., Madore B.F., Mould J.R., Hill R., Rerrarese L., Kennicutt R.C., Jr, Saha A., Stetson P.B., Graham J.A., Ford H., Hoessel J.G., Huchra J., Hughes S.M., Illingworth G.D., 1994, Nat 371, 757

- 4) Tanvir N.R., Shanks T., Ferguson H.C., Robinson D.R.T., 1995, Nat 377, 27
- 5) Turner E.L., Cen R., Ostriker J.P., 1992, AJ 103, 1427
- 6) Freudling W., Da Costa L.N., Wegner G., Giovanelli R., Haynes M.P., Salzer J.J., 1995, AJ 110, 920
- 7) Ichikawa T, Fukugita M, 1992, ApJ 394, 61
- 8) Giovanelli R., Haynes M.P., 1985, AJ 90, 2445
- 9) Giovanelli R., Haynes M.P., Myers S.T., Roth J., 1986, AJ 92, 250
- 10) Giovanelli R., Haynes M.P., 1989, AJ 97, 633
- 11) Pierce M.J., Tully R.B., 1992, ApJ 387, 47
- 12) Willick J.A., 1991, Ph.D. thesis, Univ. of California
- 13) Willick J.A., 1990, ApJ 351, L5
- 14) Courteau S., Faber S.M., Dressler A., Willick J.A., 1993, ApJ 412, L51
- 15) Gramann M., Bahcall N.A., Cen R., Gott J.R., 1995, ApJ 441, 449

The Hubble constant determined in the spatial volume comparable to the large-scale structure in the Universe

MASARU WATANABE

National Astronomical Observatory

Abstract: As the galaxy distribution in the Universe proved to be far from uniform, it is not obvious whether or not the observed value for the Hubble constant is representative of the global one if the analysis is made based on a localized or nearby galaxy sample. It is required from this view point that the value of the Hubble constant is determined by investigating with a homoeogeneous method motions and distances of galaxies which are distributed in a sufficiently large spatial volume. We make a Tully-Fisher analysis using a magnitude-limited sample of galaxies which are distributed in a volume as large as the extent of the large-scale structure, and compute a global value of the Hubble constant within the region.