

銀河考古学：古い星から銀河の成り立ちを読み解く



千葉 証 司

〈東北大学大学院理学研究科 〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉〉

e-mail: chiba@astr.tohoku.ac.jp

銀河系にある古い年齢の星ぼしは、銀河系がまだ生まれたばかりの当時の化石情報である化学元素や動力学構造を保持している。これらの星を調べることによって銀河系の昔をたどることができる。本稿では、銀河系の古い恒星系成分に関する研究の歴史と最近の成果を紹介し、銀河系形成の問題に迫る。

1. はじめに

私たちにもっとも近い恒星である太陽は、目で見える波長帯にエネルギー最大となる命の光を地上に降り注ぐ。そのまぶしく明るい光によって地球上のすべての営みが支えられている。宇宙には太陽のように自分で光ることのできる恒星はそれこそ星の数くらい(?)あり、目で見える明るい宇宙を形作る。もし恒星がなかったら、宇宙は可視域では真っ暗になってなんてつまらない世界であろう。恒星の多くは互いの重力で集まって銀河をなし、美しい渦巻き構造や楕円型、棒状型といったさまざまな形を作って、私たちの目を楽しませてくれるとともになぜそのような形になったのかという興味をかき立ててくれる。宇宙を明るく賑やかにしてくれているのは、宇宙空間にところどころに恒星が密集している銀河とも言えるであろう。

ところが、このような銀河の明るく輝いている部分は、銀河がその強い重力で固まっている全体の中のほんのごく中心部分しか過ぎない。天の川でお馴染みの銀河系円盤を例にとると、その明るい部分の半径はおおよそ 10 kpc といったところであろう。このように明るく輝く銀河円盤の周り

には、ハローと呼ばれる広大な領域があり、希薄な密度ながらも星や星団が存在している。これらの恒星系を含むハローの半径は、少なくとも 100 kpc 以上にわたって広がっていることが確認されている。さらに、これらのハロー天体を飛翔霧散させないようにその強い重力で引き付けるダークハローがあることがわかっており、銀河系の場合だとその半径は 200 kpc から 300 kpc も広がっていると考えられている¹⁾。したがって、その多様な形で私たちを楽しませてくれる銀河の明るい部分は、全体の大きさの 10 分の 1 よりもさらに小さく、ほんの一部分にしかすぎないのがよくわかる。そうすると、銀河がどのように形成されどのように進化して今のような形になったかを知るためには、この一部の明るい部分だけを注目しては全く十分ではなく、その周りに大きく広がっている淡い銀河構造の部分を一つひとつ調べる必要がある。

このような銀河ハローには年齢が 100 億年を超えるような古いハロー星や球状星団があり、銀河円盤よりも圧倒的に古いので円盤ができあがる前の銀河の初期状態を保持している。したがって、これらのハローの天体を調べることによって銀河の過去を読み解くことができるのである。図1に

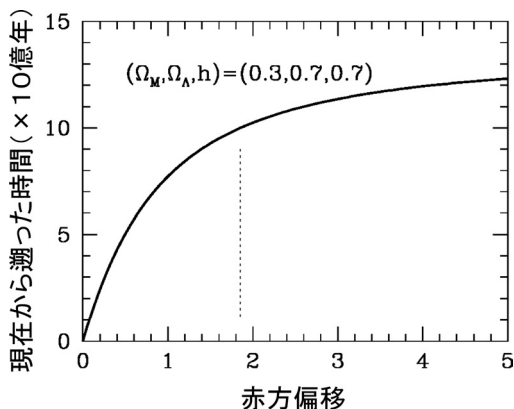


図1 膨張宇宙のパラメーターの値を $(\Omega_M, \Omega_\Lambda, h) = (0.3, 0.7, 0.7)$ と採用したときの、現在からさかのぼった時間の赤方偏移依存性。100 億年 (点線で示された箇所) は赤方偏移がおおよそ 2 に対応している。銀河系円盤は 100 億年よりも年齢が若い一方、ハローにある天体は古く 120 億年前後の範囲にある。

典型的な宇宙論パラメーターを採用した場合の、赤方偏移と現在からさかのぼった時間の関係を示す。100 億年より古い年齢の天体を調べることは、赤方偏移が 2 よりさらに高赤方偏移の銀河を見ることに相当している。最近では Near-field Cosmology や Galactic Archaeology といった用語がよく使用され、近傍の古い星がもつ化石情報に基づいた銀河形成や宇宙論といった分野が盛り上がりを見せている。良いネーミングでわかりやすい用語を使う利点が伺われる。この研究手法は考古学に類似している面がある。古生物学者は、地球の歴史を知るために人ごみ（銀河では、恒星の密集する領域）を避けて人里離れたところ（ハローの領域）で化石（恒星）を探すように。

2. 銀河系ハロー星の発見

このような恒星系ハローにある星の数密度はたいへん小さく、太陽近傍でいうと 1,000 個の星を取ってきたらその中のたった 1 個だけがハローに所属するものとなる。もちろん、太陽近傍や銀河円盤から離れた領域に目を向ければハロー星の存

在する割合が圧倒してくるが、今度は遠くて星が暗くなってしまうので、詳しいことがわからなくなってくる。

オルト (Oort) は、1922 年の論文で太陽近傍にある星の銀河面内運動を詳しく測定し、ある速度まではきれいにガウス分布 (シュバルツシルト分布) の速度分布を示しているのに、ある速度を超えると非対称の分布になっていることを初めて示した²⁾。彼がまだ若干 22 歳のときである。その後、1926 年の論文で改訂版が出され、速度にして 63 km/s を超えるとガウス分布からのずれが見られ、しかも速度の方向も非対称になって銀経が 270 度の方向に向かう (銀河回転と逆方向に向かう) 星ばかりであることが示された³⁾。これから、銀河系には円盤にあるような円運動に近い星とは違う運動をする高速度星があり、また、それらを

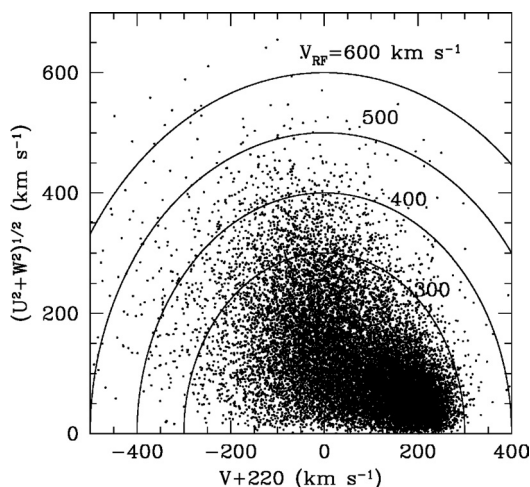


図2 太陽から 4 kpc 以内の距離にある星の 3 次元速度の分布。横軸に銀河回転方向の速度、縦軸に銀河回転に垂直な方向の速度を示す。実線は、静止速度一定の線を表し、銀河系重力ポテンシャルの深さの指標となる。太陽は横軸が 220 km/s で縦軸が 0 km/s で表される円運動に近い運動をしている。相対速度分布は、およそ 65 km/s 以上の速度では、非ガウ斯的になり、回転速度 (横軸) の値の大きなものが欠如する傾向にある。と書き換える。

束縛するために銀河系の重力場も広がっていることが示唆される結果となった。このような星の運動の様子を図2に示す。ここでは、後述する最新の太陽近傍の恒星運動データを使って、横軸に銀河回転方向の速度、縦軸にそれと垂直方向の速度がプロットされている。銀河円盤の回転速度よりも小さな回転運動を示す星が多数あり、このために太陽から見た星の相対速度分布がガウス分布からずれてしまうのである。なお、このオールの研究は、銀河の差動回転の発見（1927年）の論文より前のものである。

その後の正確な経緯については私も知らないが、文献を追ってみると、戦争終了後の1955年にローマン (Roman) が高速度星の多くは表面大気の金属含有量（金属量）に関係する吸収線が弱いことを見つけたようである⁴⁾。つまり、太陽の近くで高速に運動している星は、ハローにある金属欠乏星であることが確かになってきたと言える。そしてその後、1962年に有名なエゲン・リンデンベル・サンデージ (Eggen, Lynden-Bell, Sandage) の研究が発表され、以後の銀河天文学に多大な影響を与えた⁵⁾。彼らは、多くの高速度星を調べ、金属量の減少とともに星の軌道運動エネルギーや軌道離心率が増大するという相関を発見した。このことから、彼らは銀河が1億年程度の力学時間内で原始銀河ガスが自由落下のような収縮をし、その中で星が生まれ化学進化が進んでいったと考えた。つまり早い収縮によって銀河形成が起こったという考え方であり、その後頭文字を取って ELS シナリオと呼ばれ大いに議論されてきた。その後、1977年にサーレ (Searle) は、銀河系ハローにある球状星団の金属量が銀河系中心からの距離依存性がないことに気がつき、ELS シナリオではそうならず金属量の空間勾配が期待されることから、銀河の形成は単一の収縮ではなく個々に独立した恒星系の塊が合体して行われた、という新しいシナリオを展開した⁶⁾。これはさらに1978年のサーレ・ズィン (Zinn) の論文にま

とめられ、SZ シナリオとして議論されてきた⁷⁾。

3. 階層的合体によるハロー形成の証拠

銀河は単一の速い収縮で生まれたのか、それともランダムな合体過程の中でゆっくりと時間をかけて生まれたのか。これは、銀河天文学の分野で長い間議論されてきた大テーマであり、ELS や SZ の原論文やこのテーマに密接に関連する研究^{8), 9)}は30年から40年経った今でも引用され影響を与え続けている。

その後、この数十年間の間に、銀河合体の証拠と思われる観測結果がたくさん出てきた。まず、1994年に銀河系の中心方向に射手座矮小銀河 (Sagittarius dwarf) と呼ばれる、不規則に伸びた形をしている小銀河が見つかった¹⁰⁾。これは銀河系に落下している最中で銀河系の潮汐力で引き伸ばされた伴銀河である。この尾を引いているように引き伸ばされた構造は、銀河系ハローの空間に大きく広がっていることが後に判明した。まず、2MASS と呼ばれる近赤外線全天測光カタログに、射手座矮小銀河から伸びて大きく分布している晩期型星の集まり (射手座矮小銀河ストリーム) が見つかった¹¹⁾。また、スローン・デジタル・スカイ・サーベイ (SDSS) によって系統的な測光掃天観測が行われているが、射手座矮小銀河に付随した恒星系のストリーム構造の存在を確認している¹²⁾。この潮汐力で引き伸ばされた恒星系は、やがて緩和過程を経てばらばらになり、銀河ハローに混ざりながらハローを作っていく。つまり、銀河ハローの形成は現在でも続いているのである。SDSS は、これ以外にもいくつもの非一様な恒星系の空間分布 (サブストラクチャー) を同定してきている。その中には、太陽よりも少し銀河系の外側においてリング状をしている いっかくじゅう座リング (Monoceros ring) の構造や、乙女座銀河の方向に一定の恒星系のかたまりなども挙げられる。今や局所的な構造 (サブストラク

チャー)の存在は当たり前になってきた。

小銀河の合体の証拠として、直接的に恒星系の空間的な集まりを見つけるほかに、速度分布やその反映としての運動の積分空間(あるいは広い意味での位相空間)の中に見いだすこともできる。一般に、小銀河の合体や降着が起こると、おおよそホスト銀河の力学時間程度の間には合体の破片はばらばらになって空間的には一様にならされてしまう。ところが、速度空間やエネルギー空間などでは、その緩和に長い時間を要するため、恒星系のかたまりや非一様な分布が発生し、小銀河の合体の痕跡として長い時間残っている。したがって、恒星の3次元運動を正確に決めることができると、位相空間の中にいくつもの過去の合体履歴を恒星系のかたまりとして見る事ができるであろう。実際に太陽の近くにあるハロー星で精度の良い運動データが得られているものの中にこのようなサブストラクチャーが確認されている¹³⁾。ただし、現状では運動データの観測誤差が大きすぎて、明確なサブストラクチャーを同定するのはいまだ困難な状況であり、精度の高い位置天文データが必要になってくる。

太陽近傍のサブストラクチャーの中には、銀河系にある球状星団の中でもっとも質量が大きくて明るいオメガ・ケンタウリ(ω Centauri)に関係したものも見つかってきた。 ω Centauriは、普通の球状星団と違って複数の恒星種族を含み、さらにAGB星起源の化学元素も存在していて、少なくとも星形成や化学進化が進んでいなければならないが、単体では銀河系の潮汐力の影響のため、時間的にそれは不可能となる。そこで、この星団はもともとある矮小銀河の中心部において化学進化が進む環境にあり、銀河系に落下したときにその銀河がばらばらになって星団が掃き出されたと考えるとつじつまが合う。このとき、矮小銀河の破片も彗星がその尾を引くように太陽近傍にばらまかれるはずであるが、その証拠が実際にサブストラクチャーとして見つかってきた。図3に、にコ

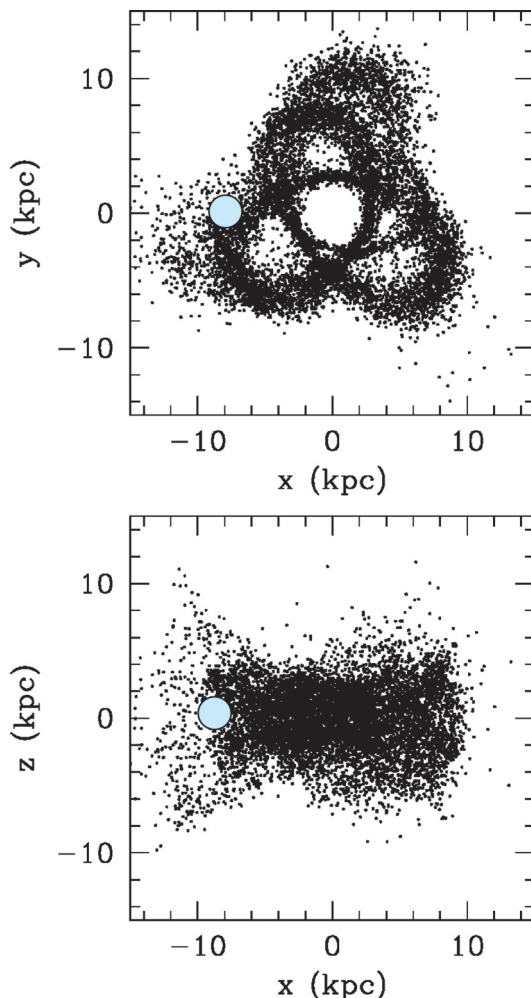


図3 数値実験によって得られた、 ω Centauriを含む矮小銀河が軌道運動して(約20億年経った後の)壊れた残骸の様子¹⁴⁾。xy面は銀河を正面に、xz面は銀河を横向きに見た場合であり、 $(x, y, z) = (-8, 0, 0)$ にある丸は太陽の位置を表す。銀河回転方向は右回りになり、散らばっている粒子は左回りにストリーミング運動をしている。

ンピューターシミュレーションによって得られた ω Centauriを含む矮小銀河の残骸の様子を示す。実際に観測されるサブストラクチャーの動力学的な性質をよく再現できている¹⁴⁾。

4. 銀河系ハローの2層構造

SDSSのプロジェクトでは、SEGUE (Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration) と呼ばれる銀河系の星をターゲットにしたサーベイが進んでおり、多数の分光スペクトルが得られている。このような恒星分光データには、表面大気に含まれる金属量やドップラー効果を通して得られる視線速度の情報が刻まれている。したがって、さまざまな視線方向にある恒星の視線速度を集めて統計解析すると、恒星系全体が示す系統的な運動、特に銀河回転方向に一定の回転運動をしているかどうかを金属量の関数として決めることができる。また、太陽から数 kpc 内にあるような比較的近いものでは、多少暗い等級をしても地上からの観測によって一定の精度で固有運動が決定されているものが多くあり、したがって、距離情報や視線速度情報と組み合わせて恒星の3次元運動を計算することによっても恒星系全体の系統的な回転運動を決めることができる。このようなことから、分光観測から得られるスペクトルデータはたいへん貴重である。

私たちは、このような分光観測データのキャリブレーション用に用いられた2万個余の恒星を使って、銀河系ハローの化学動力学構造を導出する研究を進めている¹⁵⁾。対象となる星は、等級がおおよそ15等から暗いもので18等までであり、SEGUEプロジェクトで開発されたデータ解析手法を通して、比較的精度良く恒星の有効温度や表面重力、金属量、視線速度の情報が得られている。また、全体の約半分(約1万個)の星に対してUSNO-Bと呼ばれる固有運動カタログからおおよそ3~4 mas/yrの精度で固有運動の情報も得られている。これほどの規模の恒星数を一度に扱えるようになったのはSDSSならではの言えよう。私たちは、これらのデータの中から、比較的精度良く3次元運動が求まる太陽から4 kpcより近い星だけを選び、さらに現実的な銀河系の重力

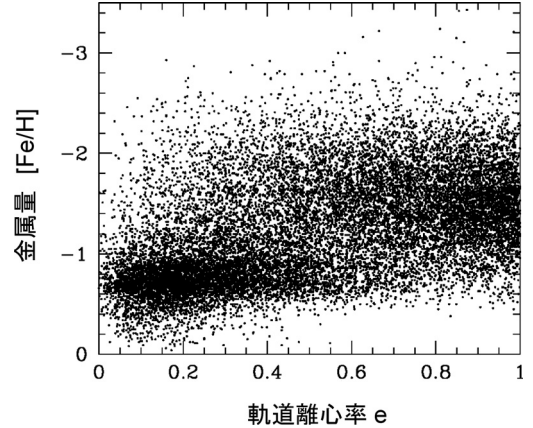


図4 SDSSで得られた金属量 $[\text{Fe}/\text{H}]$ と軌道離心率 e との関係。円軌道の場合は $e=0$ 、動径運動の場合 $e=1$ と定義されている。星が密集している部分が二つあり、 $[\text{Fe}/\text{H}]=-1.6$ 付近の部分はハロー、 $[\text{Fe}/\text{H}]=-0.8$ 付近の部分は厚い円盤に対応していると考えられる。

ポテンシャルを採用して1個1個の星の軌道運動を計算した。

図4に示したのは、個々の恒星の金属量 $[\text{Fe}/\text{H}]$ と軌道離心率 e との関係である。ここで、 e は遠銀点距離と近銀点距離を $r_{\text{ap}}, r_{\text{pr}}$ とした場合に $e=(r_{\text{ap}}-r_{\text{pr}})/(r_{\text{ap}}+r_{\text{pr}})$ と表され、円軌道運動のときに0、動径運動のときに1となるように定義されている。ハローに所属している星は $[\text{Fe}/\text{H}]$ にして-1よりも金属量が少ないものに当たり、軌道離心率が大きなものだけでなく円軌道に近くて e が小さいものもかなり存在していることがわかる。金属量が $[\text{Fe}/\text{H}]$ にして-1よりも多くて軌道離心率が小さな集合体は、厚い円盤と呼ばれて速い銀河回転を示す恒星系成分に対応している。このように、ELSの最初の研究から40年以上も経つと、図4に示したように金属量と軌道離心率の間にある詳細な関係が見えてきたのである。

ここで集めてきたサンプルは太陽からの距離が近いものばかりであり、したがって銀河系ハローの空間にどのように実際に分布しているか直接にはわからない。しかし、これらの星の3次元の軌

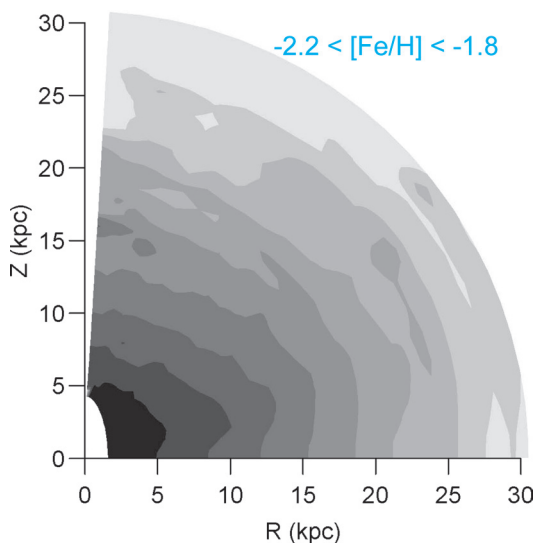


図5 金属量が $-2.2 < [\text{Fe}/\text{H}] < -1.8$ の範囲にある恒星系ハローの大局的な密度分布. SDSS で得られた太陽近傍の星の軌道を重ね合わせて作られた図である.

道運動から、なかにはハローのかなり外側まで軌道が達しているものも少なくないことがわかっていいる。そこで、個々の星の軌道運動の途中で、ちょうど太陽近傍に星が存在している確率を計算し、その確率に応じて星の軌道を重ね合わせると、各場所における星の存在確率、すなわち星の空間密度分布を構築することができる。図5はこのような原理により $-2.2 < [\text{Fe}/\text{H}] < -1.8$ の金属欠乏星の空間分布を示したものである。データ数の有限性から密度分布に多少凹凸があるが、内側の領域 ($R < 10 \text{ kpc}$, $z < 10 \text{ kpc}$) で扁平な楕円形をしており、外側に向かって球状の形に近づいている。前者の楕円形の部分は、金属量が多いほどより扁平になっていることもわかってきた。

さらに重要なことも導かれた。このようなハローの回転の様子を調べたところ、内側の楕円形の部分は銀河円盤と同じ回転方向に $V_{\text{rot}} = 30 \text{ km/s}$ 程度の速さで回転しているのに対し、外側の球状のハロー部分は、 $V_{\text{rot}} = -80 \text{ km/s}$ に達するほどの逆回転していることが判明した。恒星系の回転

(または角運動量) の方向が違うということは、動力学構造としては全く違う成分であり、違った形成機構が働いたものとししか考えられない。特に、ELS シナリオのような単一の銀河収縮では、このようなスピンの違うハローが共存することはない。さらに、金属量の分布もこの二つのハロー部分で違っていることがわかってきた。内側のハローではピークが $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.6$ あたりにあるのに対し、外側のハローではこれよりも有為に金属量が少ないほうに分布しており、 $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.2$ あたりにピークがある。すなわち、外側のハローのほうが系統的に金属量が少ないことがわかってきた。また、この SDSS のデータには、 ω Centauri に関連していると思われるサブストラクチャーの痕跡も見えてきており、これまでになく多くの重要な情報を含んでいることがわかってきた。詳細な内容は現在解析中の段階にある。

5. 銀河系の形成シナリオ

このようなハローの2層構造は一体どのようにしてできたのだろうか。この論文を発表した後、銀河形成の実際の数値実験に基づいて2層構造を再現せんとするいくつかの研究結果の話が届いているが、まだ決定的な結果に至っていないようである。私たちの考えている形成シナリオは次のとおりである。内側のハローは、比較的質量が重くて金属量も多い伴銀河の少数が、星間ガスのエネルギー散逸を伴いながら互いに合体して形成された。合体の際には、それまでにすでにできあがっていた恒星をばらばらにしつつも、それぞれの伴銀河のもっていた軌道角運動量を内側のハロー全体の回転運動に転化するという結果になった。また、残った星間ガスからさらに円盤成分が形成され、その際に主に円盤に垂直方向の断熱収縮の効果によって、ハローの空間分布も扁平な状態になる。こうして、円盤成分と同じ方向に(少しだけ)回転して扁平な内側のハローは生まれる¹⁶⁾。

一方、外側のハローは逆回転していることか

ら、内側のハローとは基本的に独立した過程で形成された。考えられるのは、いくつもの小質量銀河がエネルギー散逸を伴わずにもともと存在したハロー（ホスト銀河のダークハロー）に合体をしたが、質量が小さいためにホスト銀河ハローの内側に到達する前に潮汐力で壊れて外側にその破片であるハロー星をばらまいたのかもしれない。小質量銀河では一般に星形成がゆっくり進んでいることから星の金属量は比較的少ないので、このような過程でできた外側のハローの金属量分布も比較的少ないほうに偏りがあるというものである。このような多くの伴銀河の合体は、内側のハロー部分や銀河円盤成分の回転とは独立に起こりうるものなので、できあがった外側のハローの回転方向は必ずしも一致しなくてよい。このシナリオの真偽はまだわからず今後の詳細な数値実験に基づいて調べていく必要があるが、大体このような過程の中で銀河系ハローが形成されたものと考えている。

いずれのシナリオによっても、ほかにも考慮しなければならない銀河系形成にかかわる観測事実が多々ある¹⁷⁾。たとえば、銀河系の伴銀河にある恒星の金属量は、一般には少ないものの $[\text{Fe}/\text{H}]$ にして -3 を下回る星は存在しないが、銀河系ハローには $[\text{Fe}/\text{H}] < -3$ の星が多く存在している^{*1}。また、銀河系ハローでは Mg や Ca といった α 元素の相対量 $[\alpha/\text{Fe}]$ が多い一方、伴銀河の中にある赤色巨星では $[\alpha/\text{Fe}]$ が系統的に低く、星形成がゆっくりと進んできたことを示唆している。つまり、観測されている伴銀河を集めて合体させても、銀河系ハローを再現することはできないのである。さらに、そもそも銀河系のハロー成分は、アンドロメダ銀河や他の銀河のハローに比べて、おそらく例外的に金属量が低くかつ年齢が古すぎる特徴がある。銀河系は実は例外なのかもしれない。こういった問題のほかに、暗黒物質そ

のものの根幹にかかわるミッシング・サテライト問題も全く未解決であり、このような状況を鑑みると、私たちはまだ銀河の形成史を書き上げる段階には到底達していないと言えよう。

6. 今後の展開

ELS 論文から 40 年以上経ってもまだ解明に至っていない現状ではあるが、近年銀河考古学の重要性の認識が世界的に高まっており、実際にいくつものプロジェクトが実施・計画中である。多くの恒星の視線速度を測るプロジェクト **RAVE (RADial Velocity Experiment)** が進行中であり、すでにデータリリース 1 が出て初期成果も発表されている¹⁸⁾。第 3 期目の **SDSS** プロジェクト (**SDSS-III**) も予定されており、**SEGUE-II** や **APOGEE (APO Galactic Evolution Experiment)** といったサーベイによって、銀河系ハローの金属欠乏星の分光観測だけでなく、近赤外線領域の分光観測によって、銀河円盤やバルジなどの星間吸収が大きな領域にある恒星系の分光データも多数得られる予定である¹⁹⁾。また、まだ議論中の観測装置ではあるが、広視野多天体分光器 **WF MOS (Wide-Field Multi-Object Spectrograph)** による観測が実現されると、明るい観測サンプルの多数を占められると思われる厚い円盤成分の詳細な化学元素組成、さらにはハローの外側にあるような暗い恒星の詳細な化学元素組成を一度に多数測ることができ、ほかでは追従できないような超大規模な研究が可能となる。さらに、次世代の位置天文衛星 **GAIA** などによる観測によって、高精度の年周視差や固有運動が得られると、多数の星の 3 次元運動が決定できるとともに、分光観測データと組み合わせることによって、銀河系内の広い空間領域にわたる詳細な化学動力学構造を明らかにすることができる²⁰⁾。銀河を形作るものとしてこれらは最高の情報であり、これらから銀河系がどのように形成

*1 最新の研究で、最近見つかった暗い矮小銀河にも $[\text{Fe}/\text{H}] < -3$ の星が存在していることが確認された (Kirby E. N., et al., 2008, ApJ 685, L43).

され進化して現在のような動力学構造に至ったのかを明らかにすることは私たちに突きつけられる大課題である。さらに、国立天文台が中心に考案している理論計算プロジェクト（天の川創成プロジェクト）も促進力となって、いよいよ銀河系形成の最終解明の時代に突入しようとしている。

参考文献

- 1) Sakamoto T., Chiba M., Beers T. C., 2003, A&A 397, 899
- 2) Oort J. H., 1922, BAN 1, 133
- 3) Oort J. H., 1926, Publ. Kapteyn Astron. Lab. Groningen, No. 40
- 4) Roman N. G., 1955, ApJS 2, 195
- 5) Eggen O. J., Lynden-Bell D., Sandage A., 1962, ApJ 136, 748
- 6) Searle L., 1977, in The Evolution of Galaxies and Stellar Populations, B. M. Tinsley and R. B. Larson, Eds. (Yale Univ. Press) New Haven, CT., p. 219
- 7) Searle L., Zinn R., 1978, ApJ 225, 357
- 8) Yoshii Y., Saio H., 1979, PASJ 31, 339
- 9) Norris J., Bessel M. S., Pickles A. J., 1985, ApJS 58, 463
- 10) Ibata R., Gilmore G., Irwin M. J., 1994, Nature 370, 194
- 11) Majewski S. R., et al., 2003, ApJ 599, 1082
- 12) Belokurov V., et al., 2006, ApJ 642, L137
- 13) Helmi A., White S. D. M., de Zeeuw P. T., Zhao H.,

- 1999, Nature 402, 53
- 14) Mizutani A., Chiba M., Sakamoto T., 2003, ApJ 589, L89
- 15) Carollo D., et al., 2007, Nature 450, 1020
- 16) Bekki K., Chiba M., 2001, ApJ 558, 666
- 17) Helmi A., 2008, A&A Review, 145
- 18) <http://www.rave-survey.aip.de/rave/>
- 19) <http://www.sdss.org/news/releases/20080110.sdss3.html>
- 20) <http://www.rssd.esa.int/gaia/>

Galactic Archaeology: Deciphering Galaxy Formation from Ancient Stars in the Backyard

Masashi CHIBA *Astronomical Institute, Tohoku University, Aoba-ku, Sendai 980-8578, Japan*

Abstract: Old halo stars in our neighborhood hold fossil records of galaxy formation in their chemical abundances and three-dimensional kinematics, thereby providing us with invaluable information on the Galactic past. We present here the recent progress in our understanding of old stellar components of the Milky Way to get fundamental insight into galaxy formation.