

天文観測データベースの構築
-金属欠乏星の観測、解析データの収集と利用-
**Construction of the Database System of
Astronomical Observation**
- compilation and utilization of data obtained from the
observations and analyses of metal-poor stars -

須田 拓馬 (Takuma SUDA)
北海道大学知識メディア・ラボラトリ
Meme Media Laboratory, Hokkaido University

Abstract

The project of constructing the database of astronomical observations has started since 2003. This project is motivated by the nuclear database mainly by the nuclear theory group in Hokkaido University. Although there are many data center for the observations of astronomical research in the world, it is worth giving an eye to the field of stellar abundance analyses which have made rapid progresses in the number of observations as well as in the accuracy. In particular, the surface element abundances of metal-poor stars, which are known as ancient stars in the universe, have revealed the anomalous feature compared with the solar ones owing to the recent observations with the current generations of 8 m-class telescopes.

Since we have developed the search and plot system for nuclear database during this year, we get a chance to apply this skill to the other fields. That is why we focused on the recent progresses in the observation of stars. Differently from the data accumulated by the experiments of nuclear reactions, no data have been taken from the literature but from the observational device without any analyses. Therefore, it is not easy for us to get reduced, and analyzed data by the authors of the papers, while spectral and bibliographical data are available by many database systems. Needless to say, the abundances of metal-poor stars are important to understand the circumstance and the evolution of the early universe as well as their origin. In our project, we focus on the properties of each star observed to date which includes the strength of the absorption by atom, the derived model of stellar atmosphere, the derived abundances of each element, and so on.

In this report, we review the history of the database in the field of astronomy, the current plan and status of the project, and the future prospects of the system produced by our project.

1 天文データベースの背景と本計画の概要

近年の観測技術の向上によって、恒星の観測はより遠くにある、より古い星の探査に成功してきている。星の「古さ」は、恒星表面の鉄の組成量によって測られ、目安として太陽組成に対する鉄の相対量によって表されている。ビッグバン宇宙論と元素合成論から、

リチウムより重い元素をまったく含まない星はまさに宇宙で最初に誕生した星であり、その後の星の生死の繰り返しによって、星の内部で作られた鉄などの重い元素が星間空間で蓄積されていく。宇宙初期の情報を得ることは天文学の分野で重要な意味を持つが、そのためには、宇宙初期の電磁波(光)を観測する必要がある。しかし、宇宙初期の恒星の生き残りが我々の銀河系の内部や近傍に存在していれば、遠くの宇宙を観測することなく宇宙創成期の情報を探ることができ、その環境や進化の理解にとって重要な鍵となる。

鉄の量が最も少ない星を観測する試みは 1950 年代にはなされていたが、系統的な大規模観測は 1980 年代に始まり、恒星のスペクトル解析によって元素組成の情報が詳しく調べられるようになったのは 90 年代に入ってからである。現在のところ、鉄をまったく含まない星は観測されていないが、2002 年には鉄の量が太陽の 20 万分の一しかない超金属欠乏星の存在が報告された。

これまでに観測された超金属欠乏星の数はまだ統計に耐えうるほど多くはないが、上記の成果を挙げた観測プロジェクトは始まったばかりであり、宇宙初期の天体は今後数多く観測されることが期待できる。一方で、近年の恒星のスペクトル解析の結果を報告した論文は、個々の天体に関する情報がますます詳しくなっている。たとえば、さまざまな波長領域での観測により、星の大気モデルの性質を決める表面温度の導出により信頼性が与えられ、以前には同定できなかったラインを検出し、より詳細な元素組成、あるいは新たな元素の組成を知ることができるようになった。

本計画では、超金属欠乏星の探査における成果と今後得られるであろう多くの情報に備えて、新しいデータベースの構築と文献情報を再利用するシステムの構築を提案する。本データベースの特徴は、出版された論文や文献から情報を採録するという点であり、天文学、宇宙物理学の研究に直接利用可能であることを目的とする。本計画の目的は、金属欠乏星に関するデータの中から、宇宙初期の恒星や星形成に対する新たな知見を得ることはもちろん、元素組成の情報と恒星進化のモデルを用いて、原子核実験によって得られた反応率のデータベースを評価することも含まれる。また、本計画で設計されたシステムは、金属欠乏星の観測データのみならず、球状星団中の恒星の観測や、その他の天体の観測にも応用可能である。

2 天文データベースの現状

世界には天文に関連したいくつものデータベースがあり、データベースを管理するデータセンターも世界各国に存在する。天文分野のデータベースの中にはインターネット上で閲覧できるものもあり、多くの研究者に利用されている。例えば、データベースのデータベースである web サイト (<http://cdsweb.u-strasbg.fr/astroweb.html>) への登録件数は 3000

件以上にのぼる(2004年4月現在)。以下に代表的なデータセンターとデータベースを挙げる。

- ストラスブール天文台 (<http://cdsweb.u-strasbg.fr/>)
文献情報から観測データまで幅広くデータを蓄積しており、Java servlet を用いたアプリケーションによって画像データの閲覧も行える。また、各々のデータベースは相互に参照、図示することができ、機能が充実している。
- NASA ADS(<http://adswww.harvard.edu/>, <http://ads.nao.ac.jp/> : 国立天文台ミラーサイト)
文献情報に特化したデータベース。天文分野の雑誌、書籍、集録等が web 上で検索でき、他のデータセンター、データベースとの連携も進んでいる。
- 赤外線観測処理解析センター (IPAC)(<http://www.ipac.caltech.edu/>)
膨大な量の赤外線データを蓄積しており、web 上で公開している。銀河系外の天体の検索できる巨大なデータベースシステムがある。
- 国立天文台天文データセンター (ADAC,NAO)(<http://dbc.nao.ac.jp/>)
日本が所有する望遠鏡の観測データのアーカイブを公開している。

3 観測データベースの構築

3.1 観測データベースの特色

前節で紹介したデータベースは観測データや、文献のデータを蓄積したものであるのに対し、本計画では、学術論文雑誌に掲載されている解析データを蓄積することによって、学術目的に直接利用可能なシステムを構築する。また、データの入力も Web ブラウザを介して行うことができ、データの入力とデータの検索が統合されたシステムとなっている。蓄積されたデータは数値だけでなく、データがプロットされた画像データとして取得することができる。

3.2 全体計画

文献からデータを採録する書式は原子核実験の分野においていくつか採用されており、本計画では、それらを参考にしてデータの蓄積やシステム的设计を行う。たとえば、世界中の原子核実験のデータが蓄積され、独特の書式に変換されて利用されている EXchange FORmat(EXFOR) はこの分野では最も広く知られており、データの蓄積や利用に関して最も実績がある。また、国内においては、日本国内の加速器を用いて行われた荷電粒子の実験を対象とした Nuclear Reaction Data Format(NRDF) や、評価済み実験データを集めた Japanese Evaluated Nuclear Data Library(JENDL) がある。

北海道核理論グループは、EXFOR の日本国内の実験データの採録と検索システムの構築、NRDF ではデータの採録と検索システムの構築、JENDL の検索システムの構築を行っており、その実績は高く評価されている。本計画は、上記機関で現在進行中の作業と並行しながら、データベースの扱いや検索システム構築に関するノウハウを利用して進めていく予定である。

また、天文観測に関する独立したデータベースの統合環境である日本仮想天文台 (JVO: Japanese Virtual Observatory) との連携も視野に入れて開発を進める。

3.3 データ蓄積システムの開発計画

データを効率良く蓄積するために、文献情報はウェブ上からフォームを通じて容易に入力できるシステムを構築する。ウェブから入力された情報は一時ファイルに保存され、データのチェックが行われた後、管理者によって MySQL サーバーへと登録される。MySQL は、フリーでインストールできる Relational Database Management System (RDBMS) の中では広く使われており、他の RDBMS 同様、データの拡張性、システムの変更に対する柔軟性に優れている。本計画では、現在のところ、観測された星で検出されたすべての元素の組成をデータベースへの登録対象とするほか、星の光の吸収量をあらゆる等価幅、観測された波長域における測光データ、大気モデルから得られた星のモデルに関する情報を採録する予定である。

3.4 検索システムの開発

データ蓄積システムにより MySQL サーバーに入力されたデータは検索システムによって利用可能となる。検索対象となるデータは、前節で述べたとおり、星の組成、等価幅、測光データ、大気モデルのパラメータである。検索結果は数値データとしても、可視化されたデータとしても得られるようにする。

もし天体の位置情報を得ることができれば、3次元プロットにより天体の位置が得られる検索表示システムを構築する。天体の位置情報は文献にはほとんど記載されていないが、例えば天体の位置情報を集めた HIPPARCOS 衛星の観測データが利用できれば、このシステムに組み込むことが可能となるかもしれない。

観測データの検索システムが完成し、公開される前には EXFOR、NRDF、JENDL の検索システムが大部分完成していると考えられ、システム構築の技術的な面に関する問題はほぼ解消されるものと思われる。検索の実行に関しては、前節で述べた MySQL を採用し、表示システムの記述には Perl と Javascript を用い、描画には Gnuplot を採用する。

検索システムの基本設計の構築には半年から一年程度かかる見通しである。システム完成後は検索システムの利用方法に関するマニュアルを作成し、本採録が完了した文献データを対象にして外部に公開する。

4 システム開発状況

現在のシステム開発状況は以下のとおりである。

4.1 データ入力システム

データは本システムによってテキストファイルとして CSV 形式で保存され、それらは MySQL テーブルに変換されて初めて検索システムの利用が可能となる。現在は論文から採録したデータを EXFOR 形式に変換して保存するシステムとなっている。入力可能な項目は表 1 に与えられている。データ入力の画面を図 1 に、データの出力結果を図 2 に示す。以下に開発履歴を記す。

- Format Editor version 1.0

CGI を用いて、フォーム上に入力された情報から整形されたテキストに変換するシステムを構築した。開発当初は文献データを特定の文法規則に従った形式に焼きなおす計画であったため、その第一段階として EXFOR 形式のデータに変換するアプリケーションとなっている。今後は入力データを CSV 形式のファイルとして保存するシステムに変更する予定である。

表 1: 入力可能な項目の一覧。種別は図 1 の個々のフォームに対応している。

種別	項目
文献データ	論文タイトル 著者情報 (名前、所属) 書誌情報 (雑誌名、年号、巻、号、ページ)
観測に関する情報	観測装置 観測手法 (大気モデルの導出等)
天体データ	天体名 星のスペクトルタイプ 連星周期 天体の位置 観測の露光時間 S/N 比 星間吸収量 星の等級 (V, B-V, V-K など) 図の軸名、単位 数値データ

図 2: 出力結果画面の例。図 1 の上の例に対する結果が示されている。

```

ENTRY      A0004  20040517      A000400000001
SUBENT     A0004001  20040517      A000400100001
BIB        7          16          A000400100002
TITLE      STELLAR ARCHAEOLOGY: A KECK PILOT PROGRAM ON EXTREMELY
           METAL-POOR STARS FROM THE HAMBURG/ESO SURVEY. II.
           ABUNDANCE ANALYSIS
AUTHOR     (J.G.COHEN'1',N.CHRISTLIEB'2',T.C.BEERS'3',
           R.GRATTON'4',E.CARRETTA'4')
INSTITUTE  (2USACIT'1',2GERHSH'2',1USAMSU'3',2ITYINA'4')
           '1'Palomar Observatory
           '3'Department of Physics and Astronomy
           '4'Osservatorio Astronomico di Padova
REFERENCE  (J.A.J.124,470,2002)
FACILITY   (KECK1)Resolution R = 45000
           (ESO-DANISH)DFOSC is used.
           (PALOMAR)
GRAVITY    (ISOCHRONE)log g is determined from the Y2 isochrone
           for stars that are 14 Gyr old with Z=1.0e-5
           equivalent to [Fe/H]=-3.3 dex.
ENDBIB     16          0
NODATAINFO 0          0
NODATA     0          0
ENDSUBENT  20          0
           A000400199999

```

4.2 データ検索システム

グラフの X 軸、Y 軸を選択して表示件数を指定して検索した後、表示するデータを選んで図示する。元データは手入力による CSV 形式のテキストファイルを使用しており、1996 年～2003 年までの観測論文について、本報告執筆時点では、100 件ほどの実際のデータから元素組成や大気モデルの変数、測光データについて検索、図示が可能となっている。システムの最新版で検索可能な項目は表 2 に示されている。Gnuplot のオプションは、タイトル、軸名、値の範囲の指定、線種等の基本的なオプションの他に、表示項目の非表示、削除、数値データの表示、データ点の手動追加ができる。また、画像データを png, ps, eps, pdf 形式でダウンロードできる。図 3、図 4 に検索システムの実際の動作の様子を示す。以下に開発履歴を記す。

- Search and Plot version 1.0
データの図示を主目的とした簡易システム。X 軸、Y 軸のみ検索が可能。検索には Perl、図示には Gnuplot が用いられている。
- Search and Plot version 2.0
ver1.0 と動作は同じだが、検索に MySQL を採用している。MySQL テーブルへのデータ挿入は ver1.0 のテキストファイルから Perl スクリプトによって行われている。
- Search and Plot version 3.0, 3.1
ver2.0 のフレーム版。動作やデータは ver2.0 と同じである。

表 2: 検索可能な項目 (ver3.1) の一覧。種別は MySQL に登録されるテーブルに対応している。

種別	項目
測光データ	V バンドでの等級 (B-V) バンドでの等級 (V-R) バンドでの等級
星の大気モデル	有効温度 表面重力 金属量 (鉄の組成) 乱流パラメータ
星の表面相対組成	[C/Fe] : 太陽に対する炭素の相対比 [N/Fe] [NaI/Fe] : NaI 非電離ナトリウム [MgI/Fe] [CaI/Fe] [FeI/H] : 太陽に対する鉄の相対比 [FeII/H] : 一回電離した鉄の組成 [NiI/Fe] [SrII/Fe] [BaII/Fe] [EuII/Fe] [PbI/Fe]

図 3: Search and Plot version 3.1 のキャプチャー画面。上は検索入力画面、下は上図で”search”ボタンを押した場合の検索結果表示画面を示している。

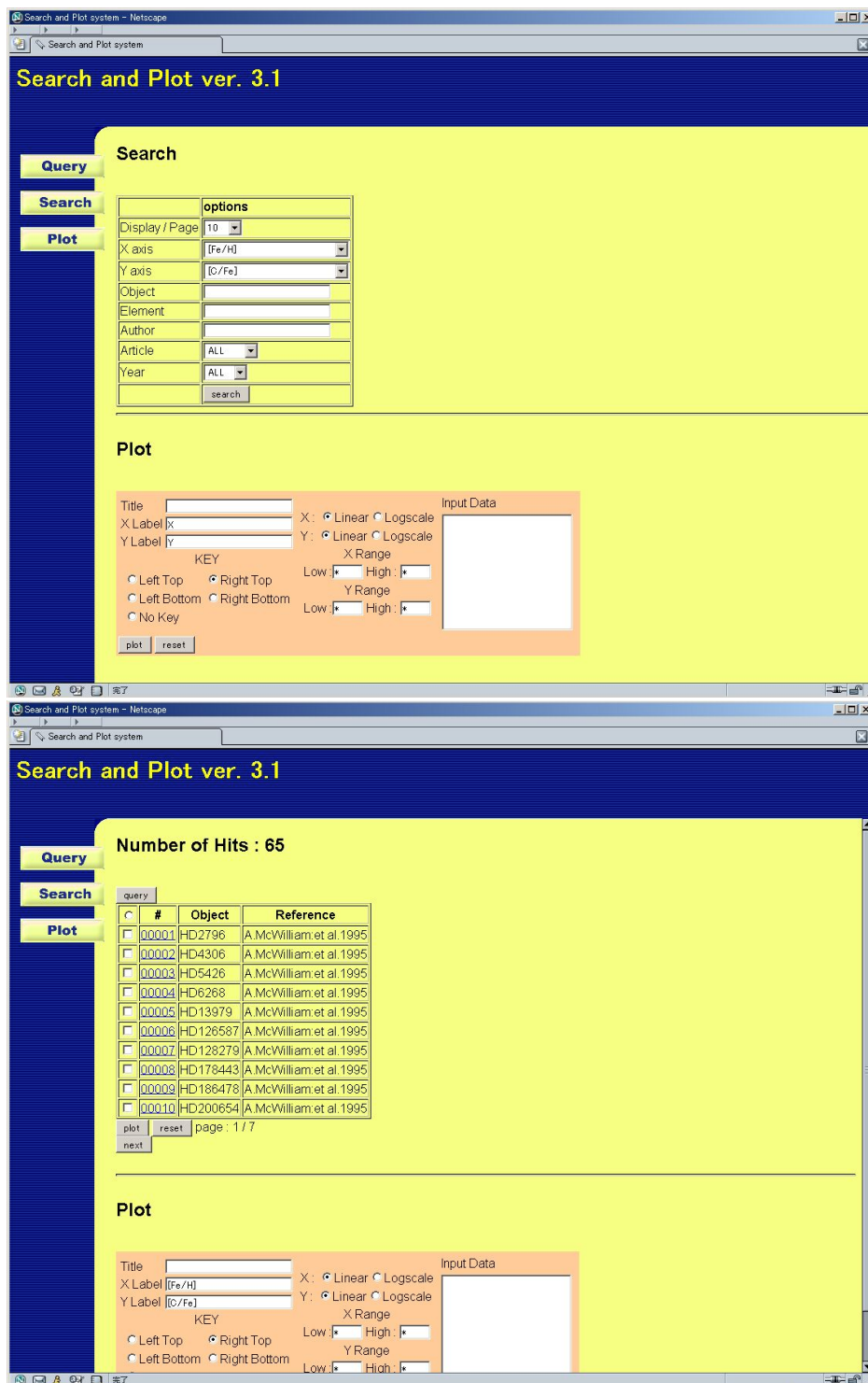
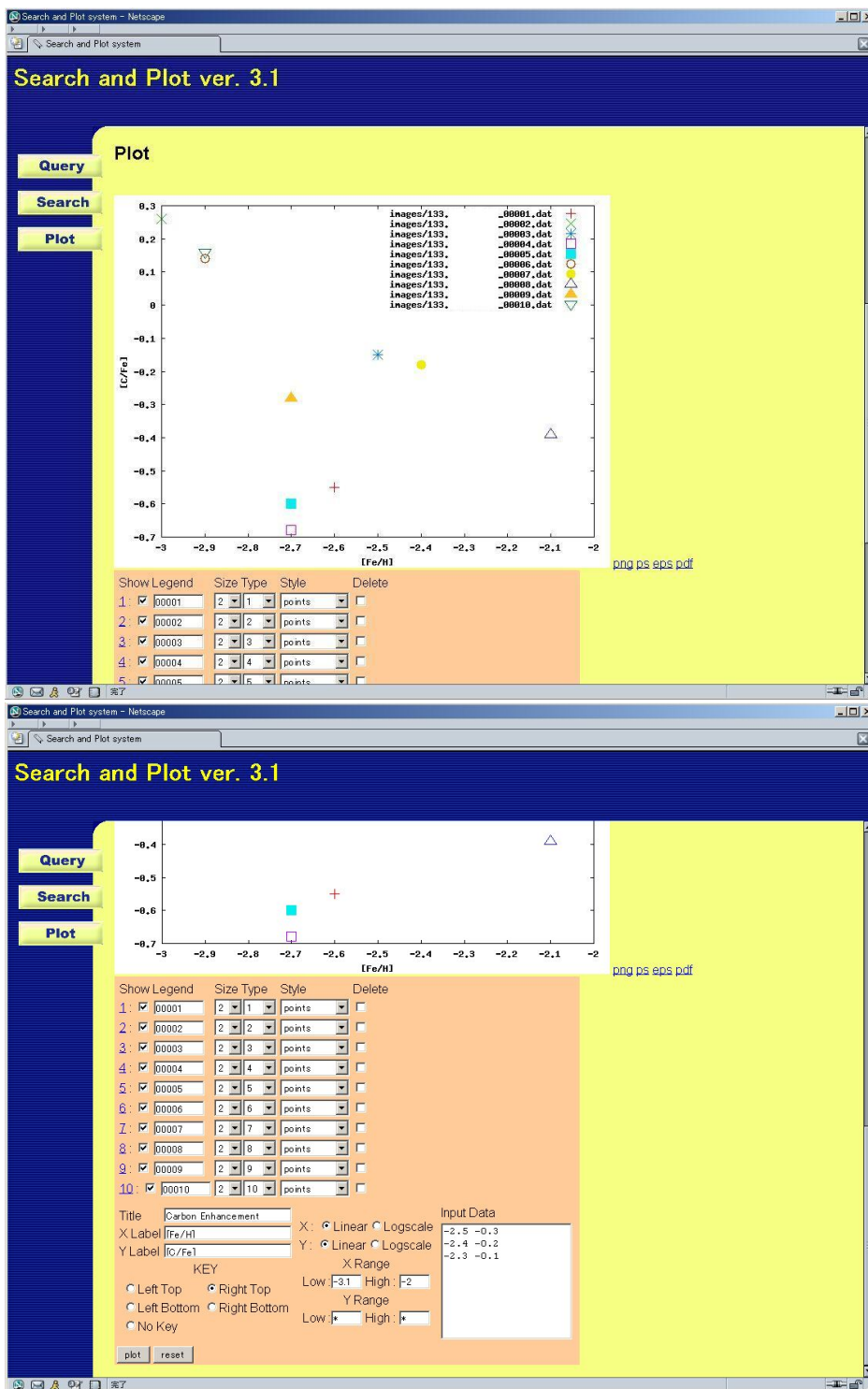


図 4: 図 3 の続き。図 3 ですべての項目を選択して図示した場合の表示画面を示す。図 3 の下図は Gnuplot のオプション欄を示す。



5 まとめと今後の展望

本報告では、新たな天文データベースシステムに関する計画と現在の開発状況について述べた。本データベースの最大の特徴は、データが恒星の観測データに関する論文から取られているという点であり、これまでにない解析されたデータのデータベースとなっている。データの入力と取得は Web ブラウザ上で行うことができ、検索されたデータを画像データとして取得することもできる。このシステムは本稿執筆時点では公開する段階ではなく、100件ほどのデータについて検索と画像の表示が可能であるが、データの入力システムを用いてデータベースシステムに登録する機能は整備されていない。

本システムを利用することによって、今後以下のような進展が期待される。

- 本システムを用いて、金属欠乏星の観測事実に新たな特徴を探し、宇宙初期の恒星の構造と進化に関する新たな知見を得る。今後、恒星内部で合成されていると考えられている鉄よりも重い元素 - s-process 元素 - に着目し、これまでに発見されていない新たな特徴を本システムの試作版を用いて探査する。
- 安定に動作するシステムを公開し、改良を重ねる。最終的には JVO と連携することによって、より利用価値の高いシステムとして機能させる。
- 恒星進化の理論との比較を行うことによって、観測データを評価する。また、恒星の組成分布は原子核反応と密接な関係があり、理論と観測の比較では原子核の反応率が重要な役割を果たす。今後、ブリュッセルのグループが低エネルギー核反応率のデータベースを公開する予定なので、本システムによって原子核反応率の評価にも役立つ可能性がある。
- 本システムを他の観測データにも応用し、機能を拡張していく。例えば、近年の恒星のスペクトル観測で問題となっている、球状星団の組成異常を調べるために、球状星団を構成する星の観測データを収集・解析し、現状の問題点を恒星進化の立場から議論する。また、太陽系外の惑星の存在が発見されて間もないが、惑星を持つ恒星の観測データの検証も興味深い課題である。