

---

A workshop - ATLAS 12 and related codes

Trieste, July 11-15, 2005

---

## ボブ・クルズに捧げる

2005年、トリエステ（イタリア北部、クロアチアとの国境近く）で開催されたワークショップでのエーデルマン（S. Adelman）によるクルズ（R. L. Kurucz）の貢献に対する賛辞の文を紹介する。クルズがハーバード・カレッジを卒業したのは1966年というから、このワークショップは彼の60歳を祝しての会合だったようだ。

クルズはここにある通りで、恒星分光学に非常に大きな貢献をしてきた。それは革命的と言っても良いほどである。ここでのエーデルマンの紹介と評価について異存を唱える人はそう多くはないと思う。だが、クルズは決して天才型とは見えない。少なくとも原理追求型の研究者ではない。むしろとても不器用で、それだけに順を追って行かなければ前へ進めないタイプのように見える。だから、途中で省略やごまかしたことは一切しないという信条なのではなかろうか。たとえば、原子の分配関数が欲しければ原理通りに求める。そのためには、原子レベルのデータを集める。その原子データの実験値が揃わなければ、波動関数に立ち返って求めていく。その成果が何千万という彼の原子線データベースである。

そうした成果の上に立っているのがATLASと関連コードである。彼はそれを公開しているのだから、驚くほかない。他の多くの研究者はそうした言わば「手の内」を明かすことはなく、自分の周りの者たちだけのものとし、よそ者に見せることはない。だから、実際のところ、どのような計算をしているのか、結果は知らされても、途中がさっぱり分からない。ところが、クルズはそれを惜しげもなくさらけ出す。省略もごまかしもないから、堂々と見せられる、とも言えよう。だから、クルズは信頼を勝ち得ている。もっともクルズのコードは決してわかり易いとは言いがたい。コメント文は最小限で、エーデルマンが言うように詰ま

りに詰まっている。しかし、それも見せているのである。

このように、クルズは新しい研究者のあるべき姿を見せてきたとも言えるだろう。



恒星分光学の先達であったアンダーヒルはかつて、解析用の道具は個々人が作るべしと言っていたが、筆者はそれを真に受けて、教科書を元にプログラムを書き始めた。1975年～1980年頃だった。大学を離れるとFortranが走るコンピュータは街の計算屋さんに行かないと使えなかった時代で、随分、出費もかさんだ。

そんなことがあって暫くして天王寺にあった大阪教育大学天文学研究室を訪ねると、定金先生にATLAS 5が京都大学のコンピュータに載っていて、大阪教育大学からテルネットで使えることを知らされた。そんな話を大阪府立教育センターの小林英輔さんに話したら、東北大学ではクルズから送ってもらったATLAS 5のマニュアル（1970、下のエーデルマンでも紹介されている）にあるソースコードをカードにパンチしてかけていたが、収束したかしなかったとかいう話をしていた。1975年～1980年頃はまだそんな状態だった。筆者も後日、そのマニュアルを目にすることになったが、驚くばかりの精緻さで、クルズの力量にはただただ敬服するばかりだった。

そして、クルズのコードの解析にとりかかったものの、これまた下の文にもあるように「頭をかかえる」ことになった。定式化を記したマニュアルは確かにあったが、それで読めるようなコードではなかった。それにCDCにかかるFortran文法だから、マシンが代わると結果も異なることもあったので、適切に翻訳しなければならず、東北大学でうまく動かなかったのはこれかも知れないなどと思った。

そんなわけで、下のエーデルマンの文章にあるとおり、Kuruczコードのユーザーになった。

そんなKuruczと出会ったのは、1996年のIAU京都大会でのことで、来日していた彼と西村昌能さんと一緒に短い挨拶を交わした。西村さんが「あなたは恒星分光界では神様と呼ばれている」といった趣旨の言葉をかけたら苦笑いをしていた。しかし、彼の立派な髭づらは、確かに、キリストの肖像画を彷彿とさせるものがあった。筆者は「なるほど、間違いなくKuruczだなあ」と思った。

(2022.2.27.星学館)

**ボブ・クルズに捧げる**

-----

この会議ではボブ・クルズを称えたいと思う。我々は皆、ボブが作成した素晴らしい恒星関連のデータやモデル大気、プログラム、それに関係情報が満載された彼のポータル・サイトにアクセスしている。ボブは 1966 年にハーバード・カレッジで学士号を取得し、1973 年にハーバード大学から博士号を取得した。吸収度分布関数 (odf) と吸収線毛布効果を取り入れたモデル大気のグリッドを計算するためのコンピュータ時間を取得する際にツーソンのキットピーク国立天文台とサンディエゴで過ごした時を除いて、彼はプロの研究者としてハーバード大学と MA 州ケンブリッジのスミソニアン天体物理観測所で過ごしてきた。そのほとんどの時間は、スミソニアン天体物理観測所の物理学者として、だった。ボブがリストしている論文数は約 160 になる。彼は一貫してソフト・マネー (\*1) の支援を受け、優れた研究を行ってきた。1992 年に、彼はアメリカ天文学会のゲオルゲ・ファン・ピースブロック賞を授与されたが、これは、天文学への長期にわたる並外れた貢献や無私の貢献に対して生存中の個人を称えるものである。

1972 年頃から、ボブは計算コードと大気モデルを 7トラックの 800 bpi テープで定期的に配布し、その後 9トラックの 1600bpi テープで配布してきた。20 年後の 1994 年には、有名な CD セットが登場した。インターネットの進歩により、彼のプログラム、モデル、そして原子データのほとんどが ftp 経由で取得できるようになった。この並外れた寛大さによって、天文学者のコミュニティは彼に深く感謝することとなった。もしボブが共著者として彼の名前をコードの名称と共に入れるように各人に要求したら、彼が関係する論文の数は 160 よりはるかに多くなることだろう。彼の仕事に関する文献引用数は、ADS で約 18,000 ある。

ボブは常に喜んで、彼のプログラムについての知的な質問に答えようとしてきた。彼は、コード、モデル、およびデータを同じように自由に配布しようという他の研究者のロールモデルとしての役割を果たしてきた。我々は皆、この点についてできる限り彼の例に従うよ

うに決意しようではないか。

天文学者が過去 35 年間の恒星天文学を研究したら、ボブ・クルズがこの分野や関連分野で最も重要な研究者と満場一致で結論づけるものと私は確信する。この分野への彼の貢献は非常に大きく、その範囲を正しく評価するのはなかなか難しい。チャック・カウリーが 1970 年代のできごとを話してくれたことがあった。彼がボブの名前を口にしたところ、研究仲間は「ああ、そうさ、265,000 個の  $f$  値をはじき出した奴さ」と答えた。真に畏敬の念をもって言うのではなく、口調と態度で、その努力はいくらか時間の誤用だとその研究仲間はやんわり言ったのだった。チャックは後に、この口やかましい仲間や他の何人かは、恒星スペクトルの分析の問題、ボブの業績の重要性や、それによってもたらされることに伴う問題を単に把握していないだけだと気づいた。

ボブはいつも、問題となりそうな課題を予測する点では、我々の領域よりはるか前方に進んでいる。ボブは、私が便宜上、大気モデル、スペクトル合成コード、恒星スペクトル、原子スペクトル、そして分子スペクトルと分類している相互に関連する領域に貢献してきた。これらの分野のどれか一つだけでも、彼の業績は、1 人の研究者にとって称賛に値するほどの研究歴に匹敵する成果である。ボブがすべての分野で大きな前進を遂げたことは刮目に値する。

彼の ATLAS とその補助コードは、実にたくさんの研究に使用されてきた。これらのプログラムは、1970 年以降、たくさんの様々なプラットフォームに移植され、現在は LINUX に移植されている。ボブのサブルーチンは、他の多くのコードに流用されている。彼のモデル大気は、たとえば、物理的な考慮事項を追加する場合などのように、コードを追加する際の入力データとして使用されてきた。彼のスペクトル線リストは、他の多くの線リストの基礎となっている。ただ、残念なことに、そのいくつかは、大幅な変更もなしに別名にされ、形式を変えて配布されている。

1970 年にボブが ATLAS コードをスミソニアン天体物理学特別報告書 309 で発表したとき、多くの平面平行大気コードがあった。ATLAS モデルには水素線の毛布効果が取り入れられていて、これは大幅な改善点だった。それと WIDTH コードがカリフォルニア工科大学に到着すると直ぐに、恒星の研究者、特に元素存在量を求めて分光観測と比較しようとした人たちがそれを試してみた。A. R.「ハリー」ハイランドは、当時、ポスドク研究員だったが、これらは今、使えるコードでは最高のものであって、筆者の学

位論文研究に使うべきだと言った。彼はまた、私（筆者）が使えるような細かいパラメータ刻みのモデルを持っていた。コンピュータ・コードを調べてみたところ、いくらかは簡単に理解できたが、すき間なく書かれたそれはボブがいかに優れたプログラマーかを示していた。私は、プログラミングの第一人者が一人ならずそれに驚嘆し、その論理を理解しようとして彼/彼女らが頭を引っ掻くのを見た。

私はこのコードを自分の学位論文に使い、古いコードを使って行った2つの星の解析をし直した。ボブが博士号を取得した1973年頃に、私の最初の元素存在量を決定した論文が *Astrophysical Journal* に受理された。私は一人ではなかった。水素線の毛布効果が入った高速大気モデル計算コードは、モデル大気のグリッドと有用な補助プログラムと共に、他のコードを信奉していた多くの研究者を変えてしまった。

ボブの研究のもう1つの重要事項は、Cowanコードを使用した半経験的gf値と線幅拡張パラメータについてのとても広範な計算である。特にスペクトル線のgf値の実験的決定には大いに関心が集まっていたが、天体分光学者の数と精度の欲求に常に遅れをとっている状態であった。理論計算は、そのギャップを埋めるための主たる方法である。ボブは、エネルギー準位を決定する原子物理学の同僚に、多くの準位を見つけて正しく分類するように勧めた。彼の一連の計算は、彼の値が絶えず最良の実験値に近づき、系統的誤差を減らすことへ影響を与えた。この仕事は、あらゆる種類の星の研究に影響を与えている。

1970年代の主な研究は、恒星の大気における金属線の影響をどのように取り入れるか、だった。それには原子物理学者が発見または予測したものだけでなく、すべての線に関係する問題もあった。最も貢献したように見えるこれらの元素に関するボブの大規模な計算は、効果のサイズに関する重要な情報を提供した。いくつかの追究が行われた。ボブは不透明度分布関数を使うことで、1979年に公開されたATLAS9コードで実行可能な方法を提供した。別のアプローチ法としてよく知られているが、不透明度サンプリング法はATLAS12で使われている。しかし、大型コンピュータにアクセスできる人ばかりでなく、より多くの人に使ってもらうには、コンピュータの性能を高めなければならなかった。

私は1970年代半ばにボストン大学で4年間過ごしたが、時折スミソニアン天体物理観測所を訪れた。ボブの研究室に初めて行った時のことを覚えている。狭い隅っこに

ボブがいて、端末があった。残りのスペースは天井まで紙、打ち出し図、パンチカードでいっぱいだった。1平方メートルあたりのスペースの重量は、本がいっぱい詰まった図書館のそれに十分匹敵していた。ボブが会議に行く時は、紹介したり、議論したりするために打ち出し図などの研究素材を携えていた。彼は、さまざまな問題で遭遇する可能性のある質問の99%以上に答えるのに必要なレベルを下回りたくなかったので、可能な限り天文学の会議に参加した。

コンピュータの性能が向上したので、多くの恒星解析コミュニティが、等価幅から存在量を導出するだけでなく、独自のモデル大気を計算し、スペクトル合成を行うことができる。SYNTHE (Kurucz & Avrett 1981) は、非常に便利で重要なツールになった。たとえば、私は絶えずこれを使用してバルマー線を中心とする領域を計算しているので、予測と観測を比較するときに金属線の毛布効果を含めることができる。

ボブの研究の多くは、太陽のスペクトルに関係している。彼の研究は、太陽型の星における吸収線毛布効果の役割を明らかにした。彼の計算と分子分光学者の研究が融合することで、特に分子スペクトルが原子スペクトルを凌駕しない場合にはATLASモデルがなおも有用であることを示した。

ボブは、太陽の元素存在量の決定を変えることには慎重に対処してきた。一連のモデル大気のグリッドは、その変化を反映している。

知っているとは思いますが、スペクトル線の計算や太陽放射照度スペクトルなど、仕上げたいと思っている大きな計画がボブにはまだ残っている。他にもたくさんあるのではないかと思います。ボブ、健康維持に努め、多くのコンピュータ時間、そしてこれらを完成させるためのサポートが得られるよう祈っているよ。

S. Adelman

---

**ソフト・マネー・サポート (\*1)** : Soft money is money that is donated to political parties where the purpose is not to promote a specific candidate. Soft money is largely unregulated, and there is no cap on it.

---

## A Tribute to Bob Kurucz

---

This meeting honors Bob Kurucz.

We have all visited Bob's web site which is a portal to marvelous stellar related data, models, programs, and information. Bob has an AB from Harvard College in 1966 and a Ph.D. from Harvard University in 1973. Except for some time at Kitt Peak National Observatory in Tucson and in San Diego where he obtained the computer time to calculate his odf's and grids of line blanketed model atmospheres, his professional career has been spent at Harvard and at the Smithsonian Astrophysical Observatory in Cambridge, MA. Most of that time he has been a Physicist at the Smithsonian Astrophysical Observatory. Bob lists some 160 papers. He has consistently done excellent science on soft money support. In 1992, he was presented with the George van Bieasbroeck Prize of the American Astronomical Society that honors a living individual for a long-term extraordinary or unselfish service to astronomy.

Beginning about 1972 Bob regularly distributed his codes and models on 7 track, 800 bpi tapes and later on 9 track, 1600 bpi tapes. Twenty years later beginning in 1994 came his famous set of CDs. With the advances of the internet now we can get most of his programs, models, and atomic data via ftp. This extraordinary generosity has produced a community of extremely grateful astronomers. If Bob had asked each to include his name as a coauthor on the **first paper** with one of his codes, the number of papers

attributed to him would be very much larger than 160. His number of literature citations to his work is about 18,000 on the ADS.

Bob has always been willing and has tried to answer intelligent questions about his programs.. He has served and continues to serve as a role model for others who have distributed their codes, models, and data as freely as he. Let all of us resolve to follow his example in this regard to the greatest extent possible.

When historians of astronomy study stellar astronomy in the last 35 years, I am certain that they will unanimously conclude that Bob Kurucz has been the most important investigator in this and related fields. His contributions to our field of astronomy have been so immense that it is somewhat difficult to appreciate their enormity. Chuck Cowley told me of an incident in the 1970's. When he mentioned Bob's name, the colleague responded "Oh, yes, the fellow who produced 265-thousand f-values". Instead of this being said with genuine awe, the colleague suggested by tone and by manner that this effort was somehow a misuse of time. Chuck later realized that this particular colleague and some others simply lacked a grasp of the problem of the analysis of stellar spectra, of the significance of Bob's accomplishments, and/or of the virtuosity involved in bringing it about. Bob has usually been far ahead of our field in anticipating problems that would likely arise.

Bob has made contributions to several interrelated areas that I categorize for convenience as model atmosphere and synthesis codes, stellar spectra, atomic spectra, and molecular spectra. His accomplishments in any of these fields alone represent a commendable career achievement for a single individual. That Bob has made significant progress in all of the areas is remarkable.

His ATLAS and its auxiliary codes have been used for a very large



number of studies.

These programs have been ported to many different platforms since 1970 and now to LINUX. Bob's subroutines have been borrowed for many other codes. His model atmospheres have been used as input for additional codes including for example, those that then add on additional physical considerations. His line lists have been the basis of many other line lists. Unfortunately some of them have been distributed with different names and formats without substantial changes.

In 1970 when Bob published his ATLAS Smithsonian Astrophysical Special Report 309, there were many plane parallel atmospheres codes. ATLAS included hydrogen-line blanketing in its models, which was a considerable improvement. Soon after a copy reached Caltech along with a copy of WIDTH, stellar investigators, especially those who were calculating abundances and trying to fit spectrophotometric observations tried it. A. R. "Harry" Hyland, then a Post-Doctoral Investigator, told me that these codes were the best available and I should use them for my thesis research. He also had a small grid of models that I could use. I looked at the computer code, parts were straightforward to follow, but then there were the space saving features that illustrated how good a programmer Bob was. I saw more than one programming guru marvel at them and scratch his/her head trying to figure their logic.

I used these codes for my own thesis and then reanalyzed two stars that I done using older codes. About the time Bob received his Ph.D. in 1973, my first abundance determination papers were accepted by the Astrophysical Journal. I was not alone. The availability of a fast model atmospheres code that included hydrogen-line blanketing with a grid of models and useful auxiliary programs converted many

adherents of other codes to Bob's.

Another important aspect of Bob's research has been the extremely extensive calculations of semi-empirical gf values and line broadening parameters using the Cowan code. The experimental determination of gf values of lines of particular interest has always lagged behind the desires of astrophysical spectroscopists in number and in accuracy. Theoretical calculations have been a major means to close the gap. Bob has encouraged those atomic physics colleagues who determine energy levels to find more levels and classify them correctly. The effect on his successive calculations has been for his values to become successively closer to the best experimental values and to reduce systematic errors. This work has affect investigations of all kinds of stars.

In the 1970's a major line of investigation was how to include the effects of metal lines in stellar atmospheres. Part of the problem concerned including all of the lines not just those that had been discovered or predicted by atomic physicists. Bob's massive calculations for those elements that were most likely to contribute provided vital information as to **the size of the effect**. A number of approaches were tried. Bob's use of opacity distribution functions provided a workable method in the ATLAS9 code published in 1979. As we well know an alternative approach, the opacity sampling technique is used in ATLAS12. But the computers had to grow in power so that more than just those with access to the largest computers could use this method.

I spent four years at Boston University in the mid 1970's and on occasion visited the Smithsonian Astrophysical Observatory. I remember coming into Bob's office for the first time. In one little corner was Bob and his terminal. The rest of the place was overfilled

with paper, plots, and punch cards up to the ceiling. The mass per square meter of office space was well into that what one found for well stocked libraries. In those days when Bob went to a meeting a subset of his work consisting mostly of plots to be shown and discussed accompanied him. He drove if at all possible to astronomical meetings as he did not want to par down below the level necessary to answer 99+% of the questions he might encounter on a wide range of problems.

With the increase in computer power, more of the stellar analysis community can afford to calculate their own model atmospheres and to synthesize spectral regions rather than just derive abundances via equivalent widths. SYNTH (Kurucz & Avrett 1981) has become an extremely useful and vital tool. For example, I regularly use it to calculate regions centered on Balmer lines so that I can include the effects of metal line blanketing when I compare predictions with observations.

Much of Bob's research has concerned the solar spectrum. His work has illuminated the role of line blanketing in solar-type stars. His calculations and his inclusion of the work of molecular spectroscopists has kept ATLAS models useful particularly when the molecular spectra do not dominate the atomic spectra.

Bob has followed carefully the changing determinations of the solar abundances. Successive grids of model atmospheres have reflected these changes.

As we should have known, Bob still has major projects that he would like to complete, for example, the line calculations and the solar irradiance spectra. I suspect that there are many others. Let us wish Bob, continued health, lots of computer time and the support to bring these to completion.

S. Adelman

