

恒星の自転速度の分布

Distribution of the Stellar Rotational Velocities

加藤 賢一 K. Katō
(大阪市立電気科学館)

(1) はじめに

恒星が自転していることは、太陽が自転している事実から容易に推察される。恒星のスペクトルを撮ってみると、ふつうそこには金属による吸収線がたくさん並んでいて、吸収線の広がりぐあい、つまり幅は、個々の恒星によって異っている。吸収線が広がる原因はいろいろあるが、特に早期型星の場合、自転による効果が大い。自転速度が大きければドップラー効果が大きく効いて吸収線は幅広くなり、自転が遅ければ吸収線は鋭い。この効果を利用すれば恒星の自転速度を求めることができる。その結果、早期型の星ほど自転が速く、晩期型の星では遅いことがわかってきた(福田・上杉, 1980)。

ドップラー効果は視線方向にしかきかないから、もし恒星の自転軸が地球の方に向いた pole-on の状態になっていると、見かけの自転速度はゼロになる。自転軸と視線との傾きを i 、赤道自転速度を V とすると

$$v = V \cdot \sin i$$

が観測から得られる見かけの自転速度である。ふつう傾き i を知ることができないから、個々の星の真の自転速度 V を求めるわけにはいかない。そこで、何か統計的な手法で i の寄与を打ち消し、真の速度の分布を求めようという試みが行われてきた。

一方、個々の星の自転速度 v をまとめてカタログ化する仕事が Uesugi(1976 a) や Uesugi and Fukuda (1981) らによって進められてきた。これらのカタログには 6000 個以上のデータが納められており、統計的な扱いに信頼がおけるようになった。

ここでは Uesugi (1976 a) カタログから数えあげた v の分布 $\phi(v)$ と、それを真の自転速度の分布 $f(V)$ への変換を、乱数を用いて行った実験の結果を報告する。

(2) 自転速度 v の分布 $\phi(v)$

Uesugi (1976 a) カタログにのっている星々を、スペクトル型ごとに分類し、数えあげる仕事は、Uesugi and Fukuda (1979) によって行われているが、これは発表されていない。ここでは独立に数えた結果を図 1, 2 と表 1 に示す。

表 1 や図の Be には Oe, Of 型星も含んでいる。Be には 460km/s 以上の自転速度をもつ星が 5 コ記されているが、これらはデータからおとした。F 型と G 型には上限のみがおさえられているデータも含んでいる。

図2のヒストグラムから平均値を求めた結果を表2に掲げた。個々の星の値から求めた平均値でないことに注意を要する。

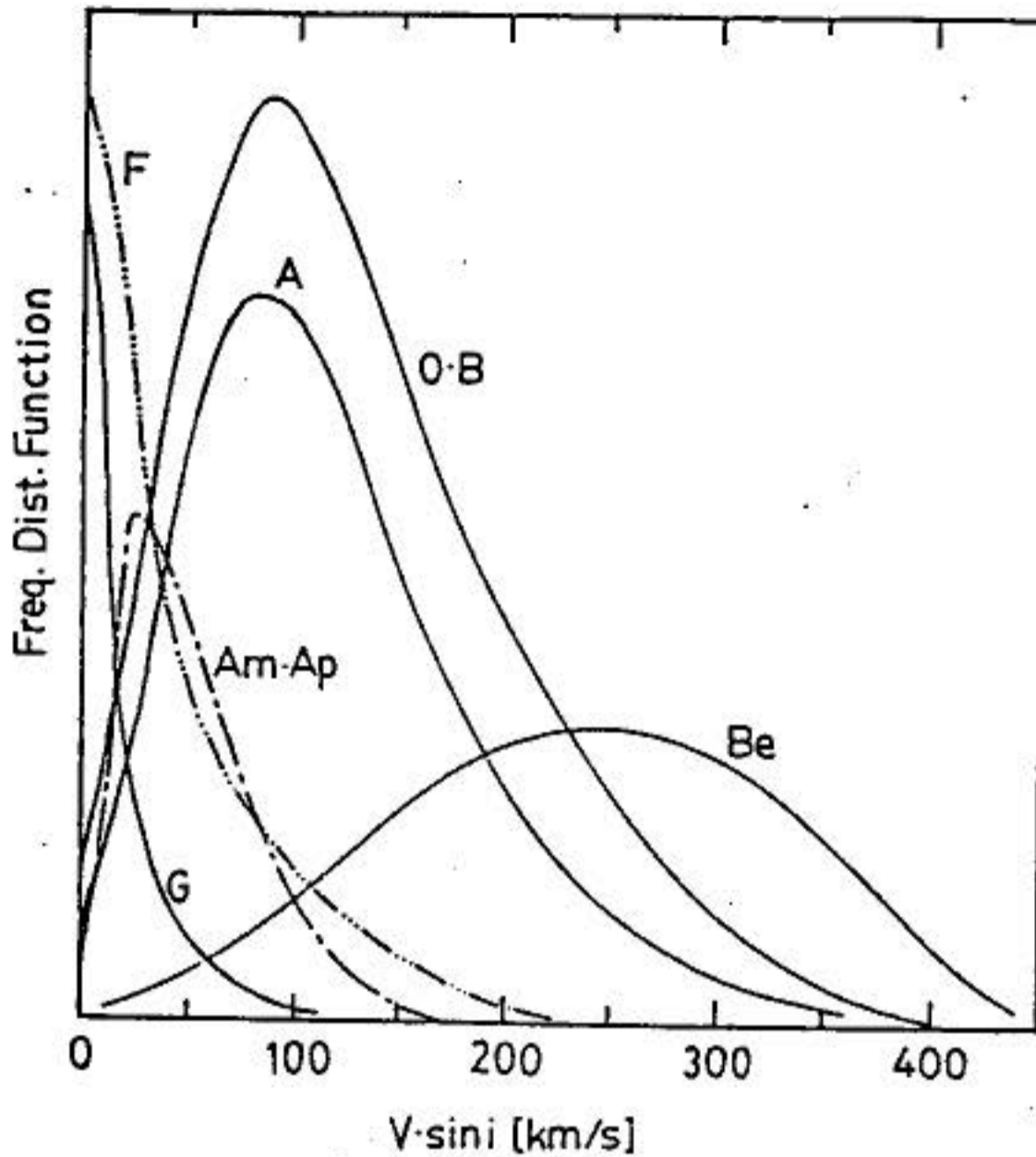


表1 数えあげたデータ数

Spectral Type	Number
O·B	2114
Be *	298
A	1420
Am·Ap	311
F	946
G	299

* including Oe and Of

図1 観測された自転速度 ($V \cdot \sin i$) の頻度分布。各スペクトル型の特徴がでるように模式的に表わした。縦軸は任意のスケールにとっている。

(3) 乱数による実験——真の頻度分布

観測から求められた分布 $\phi(v)$ を真の分布 $f(V)$ へ直接変換する解析的方法には取扱いに難点がある。そこで多くの場合、真の分布としていくつか仮定し、その中で観測値 $\phi(v)$ を再現するものを選んでいく。

しかし、ここで用いた方法はむしろ実験とよぶのが相応しいかと思う。すなわち、自転軸の傾き i がランダムだという状態を、文字どおり乱数を使って再現できるのではないか、それによって扱いにくい数式を解かずにすむのではないか、と考えたからだ。ここで次のようないくつかの仮定をおく。

- ① 観測値 $\phi(v)$ は均質なデータから成り、そのサンプル数は統計的処理に耐えるほどに多い。
- ② 傾き i はランダムに分布している。但し、 i の下限・上限は 0° と 90° に限らない。
- ③ 計算器で作られる擬似乱数はじゅうぶん良質の乱数で、傾き i の分布を正確に表現しうる。

具体的には次のように行った。分布 $\phi(v)$ のうち、ある範囲 $(v, v + \Delta v)$ を考える。そこに N コのサンプルがあるとする。一つ乱数を出して、 $(v, v + \Delta v)$ か

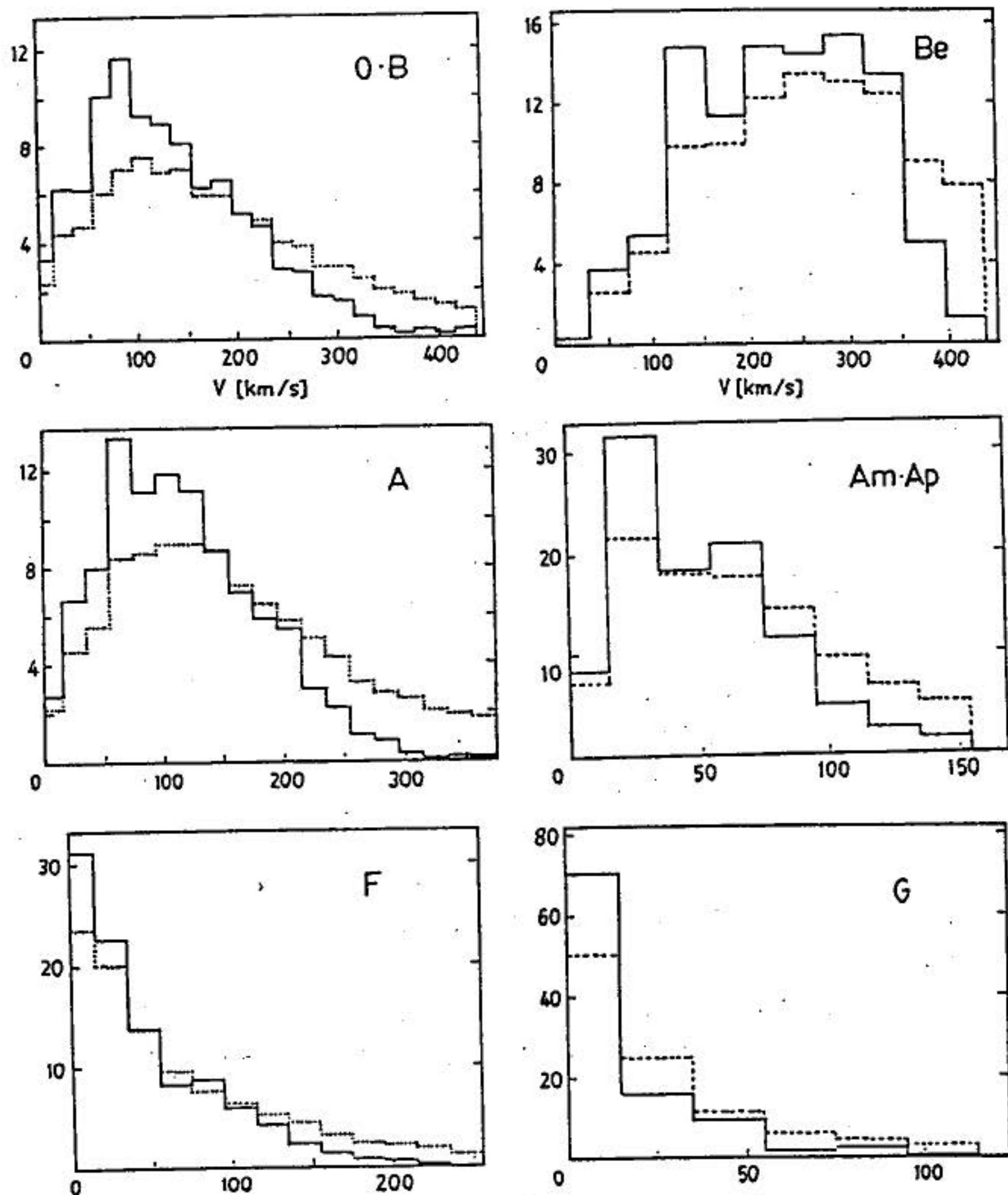


表2 観測された自転速度の平均値〔 $V \cdot \sin i$ 〕と真の自転速度の平均値〔 V 〕

Spectral Type	〔 $V \sin i$ 〕	〔 V 〕
O・B	133	190
Be	230	264*
		262**
A	117	153
Am・Ap	51	64
F	47	64
G	17	26

* $i=0^\circ-90^\circ$

** $i=30^\circ-90^\circ$

図2 観測された自転速度(実線)と真の自転速度の頻度分布(破線). 横軸のとり方はやや変則的で, はじめは0~15km/s, それ以降は20km/sきざみになっている. ただし, Be星では, はじめは0~35km/s, それ以降は40km/sのきざみにしている. 縦軸は総量に対する比率(%)を表わす.

らある速度 v を選ぶ。次にもう一つ乱数をだして、 i を作る。 $V=v/\sin i$ を計算する。そうして一連の操作を N 回行って、次の速度範囲へ移る。すべての速度についてこれを行えば V の頻度分布が得られる。 N の総和としては表1の数の10倍ないし20倍とし、更に数回の計算をくり返し、平均をとった。

もし上記の仮定が満たされれば、真の自転速度の分布 $f(V)$ は正しく行われるだろう。

結果は図2と表2に記した。Be星については自転軸の傾きを2種類とってみたが、結果に大差ない。他のスペクトル型ではすべて $i=0^\circ\sim 90^\circ$ にとった。

(4) 結果の比較

ところで、Uesugi (1976 b) は真の分布 $f(V)$ に矩型分布を仮定し、どのような形の分布 $\phi(v)$ が得られるか計算している。これは矩型の横幅と自転軸の傾き i をパラメーターにとっている点で柔軟性のある定式化となっている。

ここで得られた分布 $f(V)$ は、期待どおりではあるが、 $\phi(v)$ に比べてなだらかな形になっている。すなわち、Uesugi (1976 b) の矩型分布に近づいている。特にO・B, Be, A, Am・Apについてはその傾向が強い。しかし、F, Gの二つの型については矩型分布では説明が困難であると思われる。晩期型では自転のおそい星が多い傾向が見られ、早期型ではある速度範囲にはほぼ同じ頻度で分布していると結論してよいのではないか。

またBe星については傾き i による違いは表われていない。Be星が高速自転していることについては昔から多くの議論がある(Huang and Struve, 1960)が、ここではBe星がequator-onの状態であろうが、 i の分布が全くランダムであろうが観測は説明できるという結論になる。

京都大学宇宙物理学教室の上杉明氏より未発表の論文と資料の提供を受けました。心より感謝致します。なおこの仕事は1979年に行われたものです。

<参考文献>

- 福田一郎・上杉明 1980, 「恒星の世界」小平編・現代天文学講座4, 恒星社, P. 9
 Huang, S.-S., and Struve, O. 1960, in *Stellar Atmospheres*, ed. J. L. Greenstein, Stars and Stellar Systems VI, The University of Chicago Press, Chicago, p. 321
 Uesugi, A. 1976 a, *Revised Catalog of Stellar Rotational Velocities*, Preliminary Version, Kyoto University
 ———— 1976 b, unpublished
 Uesugi, A., and Fukuda, I. 1979, unpublished
 ———— 1981, *Revised Catalog of Stellar Rotational Velocities*, C. D. S., Strasbourg