

うち だ じの いち
内 田 寿 一

授 与 学 位	理 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 35 年 3 月 25 日
学 位 記 番 号	理 博 第 24 号
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項
研 究 科 , 専 攻 の 名 称	東 北 大 学 大 学 院 理 学 研 究 科 (博 士 課 程) 天 文 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	大 質 量 星 の 内 部 構 造 と 進 化
指 導 教 官	東 北 大 学 教 授 一 柳 寿 一
論 文 審 査 委 員	東 北 大 学 教 授 萩 原 雄 祐 東 北 大 学 教 授 一 柳 寿 一

論 文 目 次

緒 言

- 第 1 章 モデルの構造及び近似方法
- 第 2 章 モデルの特性及び他のモデルとの比較
- 第 3 章 総 括

論文内容要旨

この論文では、質量10（太陽単位）の星について主系列上にある初期のモデル及びそれから出発した進化の径路を内部構造論の基本方程式の数値積分によつて研究した。その際、吸収係数に新しい表式を採用し輻射圧を考慮して充分な正確度を期した。又更に、すでに得られている結果との比較を行い従来の研究者の得た結果との相違の原因を論究した。

§ 1 モデルの構造及び近似方法

主系列にある初期のモデルとして均一組成をもつ Cowling モデルを採用し、それに引き続くモデルとして均一組成の輻射平衡外層、進化に伴ない内部に向かつて成長し、連続的に変化する化学組成をもつ輻射平衡中間層及び均一組成の対流核の三つの部分からなる不均一モデルを採用した。中間層での平均分子量の分布は質量の乗べきの形で表現できると仮定した。

計算を簡単にするため次の近似を行い、モデル完成後これらの近似がすべて充分正確なものであることを確めた。

(i) 吸収係数

質量10程度の星では吸収係数として光電効果、連続一連続吸収及び電子散乱のいずれの効果をも無視できず、このような吸収係数を正確に表現し得る簡単な表式がない。かかる場合に星の外層を Kramers 係数で近似し、その値が電子散乱による吸収係数の値に等しくなった点から内部を電子散乱のみで近似する方法が従来用いられていた。しかしこの方法を用いれば切換点附近で50%の誤差を避け得ない。これに対し Kushwaha は、これら二つの吸収係数の和の形による近似方法を用いた。この方法ではモデル完成後に決定されるべきパラメーターを前もつて仮定しなければならず、又変数も新たに導入されるため数値計算が繁雑になる。以上の難点を避けるため著者は次の方法をとつた。すなわち、質量10の星の内部で実現している吸収係数の分布を適当な近似モデルによつて調べておきその分布を $\kappa_0 \rho^\alpha T^\beta$ の形の挿入公式によつて表現した。近似モデルとして Henrich が Kramers 係数を仮定し輻射圧を考慮に入れて計算した Cowling モデルをとり、その ρ , T の分布から Keller-Meyerott の吸収係数表によつて吸収係数の値及びその ρ , T の変化に対する変化率を求めそれから κ_0 , α , β の値を決定した。その結果、次の表式 (1) をモデル計算にもちいた。

$$\kappa = 3.78 \times 10^7 \left(Z + \frac{X+Y}{15.1} \right) (1+X) \rho^{0.25} \cdot T^{-1} \dots\dots\dots (1)$$

モデル完成後、この表式によつて表わされる吸収係数の分布を Keller-Meyerott の表より直接求められる分布と比較した結果、ここで取り扱つた進化の全段階において両者はきわめて良い一致を示し、表面附近のごく薄い部分を除きその相違は10%以下であつた。

(ii) エネルギー源泉

輻射圧の影響のため対流核が増大することを予想し、且つ Kushwaha のモデル系列に現われた H-R 図上での進化径路の逆行の原因を確めるため、星のエネルギー源泉はすべて対流核内に限られていると近似した。

モデル完成後、対流核外で発生するエネルギー量を積分によつて求め、最後のモデルを除きこの近似が充分正確なことが確められた。最後のモデルでは全エネルギーの約10%が核外で発生していると考えられる。これだけのエネルギーが核表面のごく薄い層で発生するものとして各物理量を再計算したがこの修正によつてそれらの値はほとんど影響をうけず、H-R 図上での位置も変化しないことが確められた。進化に伴ない対流核あるいは星全体の収縮が起り重力エネルギーが放出される。しかしそれらの量が核反応により発生するエネルギー量に比し充分無視できる程

度のものであることも確められた。

(iii) 縮退

縮退は考えに入れない。モデル完成後この近似の正確なことも確められた。

§ 2 モデルの特性及び他のモデルとの比較

§ 1 において述べた近似に基づき、質量10の星の進化に伴う内部構造の変化に関し次の結果が得られた。

対流核に含まれる質量及びその半径は、均一モデル ($X_c=0.83$) から最終モデル ($X_c=0.003$) に至るまでに、それぞれ星全体の28%から10%まで及び24%から7%まで単調に減少する。従つて対流核の減少に伴つて中間層が形成されると云う考えに基づいて作られたこれらのモデルは矛盾を含んでいない。又、かかる対流核の収縮に伴ない中心温度及び中心密度は、夫々 $34.4 \cdot 10^6 K$ から $51.8 \cdot 10^6 K$ まで及び $14.5 g/cm^3$ から $42.4 g/cm^3$ まで増加する。

X_c が 0.003 まで減少する間に星は初期の全水素量の約18%を消費し、この間に光度は-4.53等級から-5.32等級まで一様に増加する。他方、星の半径は進化の初期の段階で増加し、 X_c が極端に減少した後期の段階では逆に減少する。すなわち、均一モデルにおける半径、2.97 (太陽単位) から増加を始め X_c が約0.03になつた時最大半径 (約5.9) に達し、以後は収縮に変わり X_c が 0.003 になつた時 5.41 となる。かかる変化に伴ない星は H-R 図上を先ず主系列から離れつつ右上方に向かつて移動し X_c が約 0.03 に達した時現われる有効温度の極小値をへて、以後は主系列に向かつて逆行する。

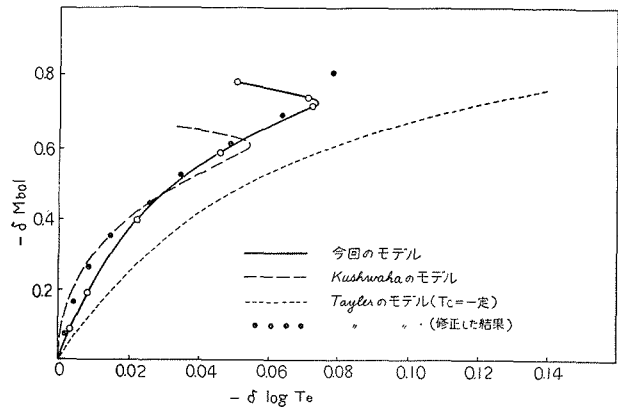
これらの結果は対流核外でのエネルギー発生を考慮しても変らない。(第一図)

ここに得られた H-R 図上の進化径路をすでに得られている径路と比較するため、まず Taylor のモデル系列についてエネルギー発生量の積分によつて中心温度を決定し他の物理量を計算し直した。その結果進化に伴う有効温度の変化の大きさが Taylor の値の約 $\frac{1}{2}$ に減少することがわかつた。

この修正を行つた Taylor のモデル系列及び Kushwaha のモデル

系列と比較して、ここに得られた系列がそれらとの間に本質的な相違点を有していないことが確められた。特に X_c が極端に減少した段階で H-R 図上を左方へ逆行することも Kushwaha の系列の場合とほとんど等しい。しかも、かかる結果が対流核外で発生するエネルギーを考慮すると否にかかわらず得られることから、この進化の段階で起る星の収縮の主な原因が中心附近の水素量の極端な減少にあることが明確にされた。

著者の得た星の内部における水素分布曲線は Taylor のモデルにおけるものほとんど一致するが Kushwaha が得た結果に比べて全質量の約 0.05 だけ外側へ移動している。この相違は Kushwaha のモデルでは輻射圧を考慮せずに対流平衡の条件を取り扱つたためだと考えられる。このことは、輻射圧を考慮すれば Kushwaha の均一モデルの対流核を全質量の約 0.04 だけ外側へ拡大しなければならないことから確めらる。



第一図 H-R 図上における質量10の星の進化径路

§ 3 総 括

以上の結果をまとめ質量10の星の進化について次の結論を得た。 X_c の減少に伴ない星の光度及び半径が増加しH-R図上を右上方に向かつて進化するが、半径の増加は次第に減じ $X_c \sim 0.03$ で有効温度が極小になり、更に X_c が減少すると星の収縮が始まる。

これは X_c の極端な減少を中心温度の増加によつて補い、必要なエネルギーを発生させるためと考えられる。

計算された最後の進化の段階では $X_c = 0.003$ 、対流核に含まれる質量は全質量の10%である。又、対流核外で発生するエネルギー量ははまだ星の物理量に影響をおよぼすほどの値には達しておらず、星の収縮によつて発生するエネルギーも無視できる。

以上の結論のほか、質量10程度の星では(1)式で表わされる吸収係数が充分正確な近似であることも確かめられた。

論文審査要旨

星の内部に起きる核反応の進行に伴う星の内部構造の変化と Hertzsprung-Russell 図上に光度および有効温度によつて表わした星の進化の研究は現在星の内部構造論の中心課題になつていて、特に質量の大きい星については多くの未知の問題を含んでいる。

著者は太陽の10倍の質量の星について進化の初期の段階に対してこの問題の研究を行つた。星のモデルを構成するには星の物質の吸収係数を正確に知る必要があるが、従来の大質量星についての Taylor, Kushwaha などの研究は比較的簡単化した数式を仮定していた。一方吸収係数値について近年 Meyerott-Keller の表が発表されたので著者は10太陽の質量の星の内部で実現する温度・密度の範囲に亘つて同表を利用して温度・密度の乗べきで吸収係数を表わす正確な内挿式を工夫した。それによつて基本微分方程式の取扱いを数等容易にすることを可能にした。出発点の主系列星に続いて進化の諸段階に応ずる7ケのモデルを計算した。進化と共に星の内部中心にむかい水素の次第に減少する事実を表わすモデルとして、平均分子量が中心にむかい連続的に増加する輻射平衡の中間層、およびそれに続く中心対流核のあるものをつとている。このモデルを採るため著者は種々の試論を行つたが、結局本論文に示したものが現在考えうる最も妥当なものであるという結論に達した。水素の減少と共に、中心対流核は縮少し、また光度・中心温度は増大し続けるが、半径はある点で極大に達し再び減少することが明かになつた。研究は中心部水素が0.3パーセントに達するまで追及しているが、それ以後の進化はモデルの変更を必要とし、新しい別個の研究となるものである。

著者の充分詳細に吟味した仮定に立つて行つた研究結果は、一方において従来のモデル研究の示した不一致の理由を明かにし、他方質量10の内部モデルと進化径路に正確な知見を与えたものである。この研究を完了した著者の能力は理学博士の学位をうける充分の資格あるものと認める。