

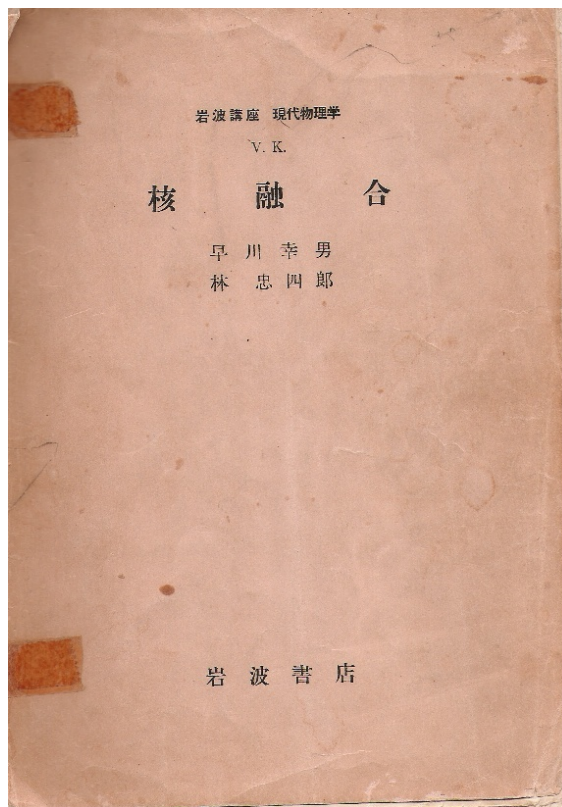
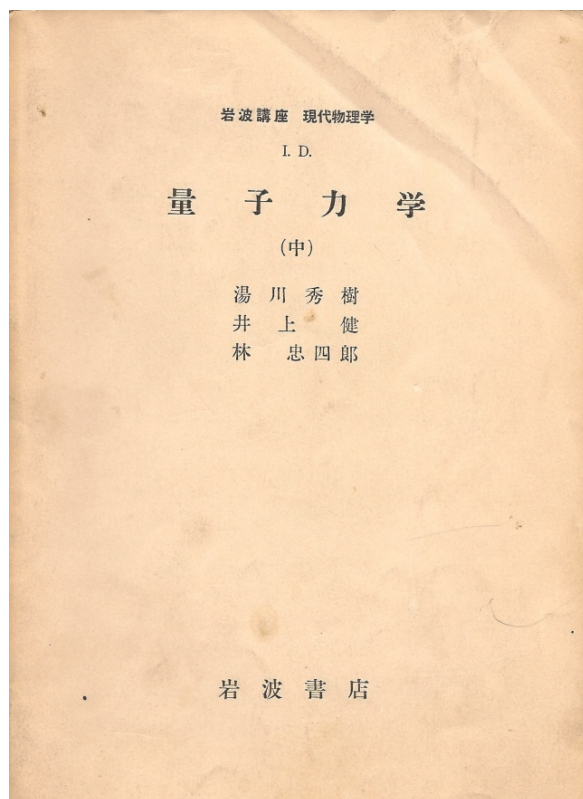
林先生の業績と思い出
元素合成理論

佐藤文隆

林 忠四郎年譜

- | | | |
|------|-----------------------|--|
| 1920 | 京都市に生まれる | |
| 1940 | 第三高等学校卒 | |
| 1942 | 東京大学物理学科卒 海軍学徒動員 | 41 Gamow URCA |
| 1946 | 終戦で復員して京都大学の湯川研究室に入る | 47 Giant stars |
| 1949 | 浪速大学（現 大阪府立大学）助教授 | 49 shell source |
| 1954 | 理学博士 京都大学助教授 湯川研究室 | 50 p/n 50-57 non-local, bi-local,場の理論 |
| 1957 | 京都大学教授 核エネルギー学講座 | 56— 宇宙物理 |
| | | 60核理 林研 |
| | | 64 ニュートリノ天文学 |
| | | 65 3K |
| | | 68 Li-Be-B ゆらぎ粘性消滅、H ₂ , |
| | | 71 PTP Supplement |
| 1980 | 還暦国際会議 | |
| 1984 | 京都大学名誉教授 | |

岩波講座 現代物理学
湯川・井上・林「量子力学(下)」
林執筆: 多体問題、輻射の理論
ディラックの電子論



目次

| | |
|----------------|----|
| まえがき | 1 |
| 第1章 天の輝 | 2 |
| 1 星のスペクトル | 2 |
| 2 星の内部構造 | 7 |
| 3 熱核反応 | 14 |
| 4 星の進化と元素の合成 | 23 |
| 5 太陽大気の様相 | 33 |
| 6 太陽面の異常現象 | 47 |
| 7 相関法則 | 53 |
| 第2章 地の子 | 65 |
| 8 核融合エネルギーの利用 | 65 |
| 9 核融合の制御に必要な条件 | 67 |
| 10 高温プラズマの閉じこめ | 72 |
| 11 不安定性と粒子の損失 | 78 |
| 12 プラズマの加熱 | 86 |
| 13 論議のこころみ | 91 |
| 参考文献 | 99 |

林: 2-22と第二章



「天文月報」1970年4月号

Eddington メダル受賞記念

早川「林さんの横顔」

蓬茨「星の進化」

佐藤「宇宙におけるヘリウム形成」

1964年11月に基礎物理研究所で「ニュートリノ天文学」という研究会があり、この時、私が宇宙のBig Bangモデルから予想されるニュートリノの海についてレビューをしたり杉本さんがHe-shellに関連して ν -lossとHe量とをからませた議論があったりした。それからしばらくして林先生が1950年にやられた宇宙初期の陽子と中性子の比率(p/n)の計算をもとにそれに続くHe形成を計算してみるべきだといわれた。

この話は、1946年頃からGamowが中心にすすめた宇宙初期の数分間で元素を作ろうという元素起源論であるが、この理論はC以上の元素が作れないということで挫折していた。Heの形成はHayashi理論以前に初期物質を中性子のみとした場合についてFermi-Turkevichが行なっていたが p/n 比をもとにしたものはなかった。

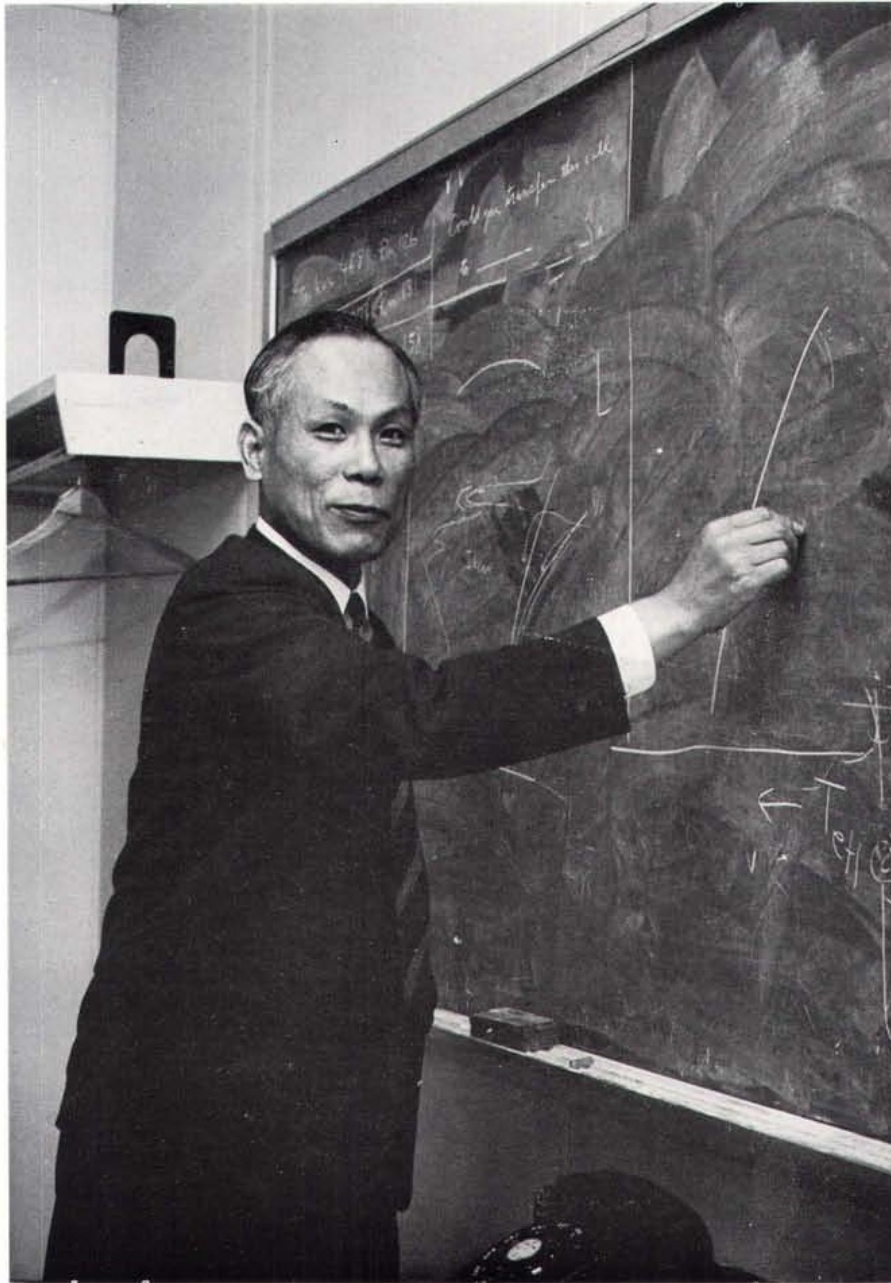
1958年にHayashi-Nishidaが一応これを行なってはいるが、 3α 反応をつなぎ目として重い元素も作ろうとする目的を持っていたため現在から見れば異常に低い温度を仮定していたことになっていた。Heだけを作るのであれば、最初Gamowが仮定した温度が最近の観測とも大体同程度であり、むしろFermi-Turkevichの状況に近いものでよかつたのである。

「素粒子論研究」1964年十一月号
佐藤「neutrino fluxと宇宙論」

1950年のHayashi論文のp/nをもとにしたこうしたSmirnowのHe量の計算がその頃(黒体輻射発見より前)発表された。しかし、1950年の論文では中性子のhalf-lifeを20.8分としており、その後に訂正されたn. 7分と大部違っている。このあたりをもう少し正確に計算し直そうというのである。林先生は1950年の計算とその後になされたAlpher達の計算をもとにhalf-lifeの補正を行ない、またHe合成の過程を単純化して(第3節参照)Heの生成量を簡単に推定する話を私達に話された。私はBig-Bang宇宙論の勉強をはじめていたこともあってこの計算を正確にやってみることになった。

R C Cameron

こちらはむしろアカデミックな問題としてこれを考えていたせいもあって、のんびり構え今から思えば細かいところに凝ったりしていたように思える。ところが、ちょうどその頃すでにPenzias-Wilsonの発見があり、これに解釈を下したDickeのグループではこの問題が中心問題の一つであったからすぐに計算がされていたのである。私達は3°K輻射のことは雑誌で初めて知ったのであるが、それに引き続いて公表されたPeeblesの計算やさらに徹底的にやったWagoner, Fowler, Hoyleのそれにはいつも先をこされた。それで仕方なくLi, Be, Bの核反応でまとめざるを得ないような破目になった。こうなった理由にはもちろん、能力の差が第一であるが、実験との関連の有無からくる緊迫感の差も1つの原因でなかろうかという言訳めいたことを付け加えたい。それは日本での自立した研究の発展ということにも関連していると思える。



「天文月報」1970年4月号
グラビア

1970年度のエディントンメダルを受けられた京大の林忠四郎教授。この賞は1955年以來、主に理論天文学における分野で顕著な仕事をした人に授賞される。本文記事参照のこと。
(1968年 NASA にて撮影)

$$\frac{n_d}{n_p n_n} = \frac{3}{4} \left(\frac{4\pi\hbar^2}{m_H k T} \right)^{3/2} e^{Q/kT} \quad (10)$$

ここで Q は d の結合エネルギー、 n_d は温度の減少とともに急激に大きくなり、 $T \approx 10^8 \text{ K}$ よりも低温になると (6) の反応以下がおこるようになる (第3図参照)。 (6) から (9) までの反応はすばやいものであるから $d+d$ 反応がおこって直接に He^4 ができると考えてもよいほどである。こう考えれば中性子数の変化は次のようになる。

$$\frac{dn_n}{dt} = -\lambda n_n - n_d^2 \langle \sigma v \rangle_{DD} \quad (11)$$

ここで λ は n の half-life, $\langle \sigma v \rangle_{DD}$ は (6) の反応率。2つの行先の確率の比 $\Phi = n_d^2 \langle \sigma v \rangle_{DD} / \lambda n_n$ が 1 より大きければそれまで残っていた n は全て He 核を作るのに使われるとしてよい。だから結局 $\Phi(t_c) \approx 1$ となる時刻での $(p/n)_{t_c}$ を知れば最終的な He の量は

$$Y = 2 / \{(p/n)_{t_c} + 1\} \quad (12)$$

と推定できる。したがって n が自然崩壊に移る時刻がわかれば (10) を用いて $\Phi \approx 1$ となる t_c が求まり Y がだせるという簡単な関係にある。 t_c の実際の値は (10) から明らかなように宇宙の物質密度によっているが比較的高密度の方のモデルで $t_c = 100$ 秒、 $(p/n)_{t_c} = 5.7$ したがって $Y = 0.3$ となる。

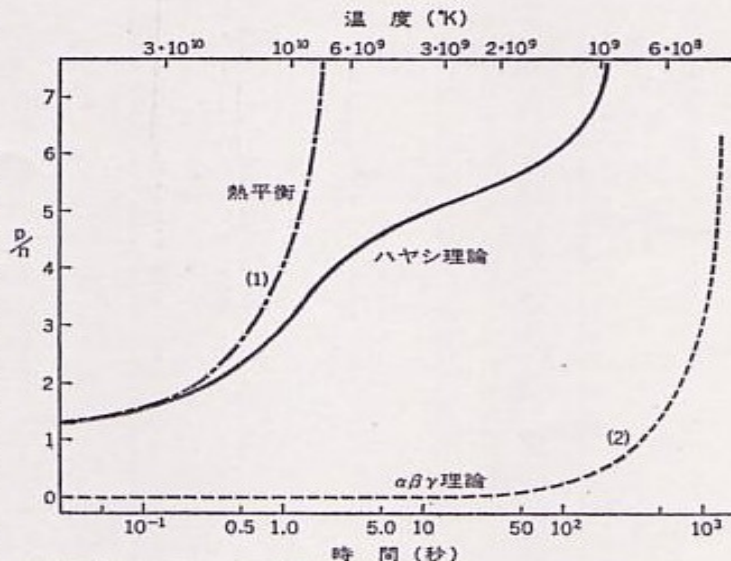
1980年 思い出 林先生還暦時の

いうのは、その後もたいへん威力を発揮したので、林のインベンションだと言われてます。

☆ $\alpha\beta\gamma$ -ハヤシ理論☆

佐藤 ちょっと話を進めて、1950年の宇宙論に関係した仕事にいきましょう。1946年ころからガモフは元素の起源に関して現在ビッグ・バン宇宙論と呼ばれる理論を展開しはじめます。そして1948年に $\alpha\beta\gamma$ 理論と呼ばれる論文で、宇宙の初期物質を中性子であると仮定して元素の合成を考えるわけです。この仮定の誤りを正すというかたちで1950年の先生の仕事があるわけですが、この仕事の発端というか、いきさつみたいな話を伺いたいです。

林 元素の起源問題は、もともと非常に高温・高密度の状態に物質をおくと、いろんな種類の原子核の分布がどうなるだろうか、軽い水素が多いか重元素が多いか、という問題ですね。この元素の起源の問題は38, 39年にワイゼッカーなんかを先駆者としてはじめられていました。ぼくはこの平衡理論の計算も、いろいろとやってみました。ところが、結果は宇宙の元素組成にどうしても合いません。そんなとき48年に、アルファ・ベータ・ガモフの論文が出ましたね。この論文を読んで、宇宙の初期はすべて中性子であるとしている点はまったく納得できないので、宇宙初期の素粒子反応の仕事をはじめました。その結果の発表は50年になってますけど、実際に仕事をしたのは49年のことで、結論を出すのに大体半年かかりました。どうして時間がかかったかという、膨脹宇宙のなかで起こる多数の素粒子反応のうちでどの反応が速いか遅いか、どの反応が重要かということを確認するために、反応の素過程を全部しらべました。いまからみると大した素過程ではないんですけど、そのころは中性子のベータ崩壊の寿命もはっきりしていなかったのです。その関係の実験の論文をいろいろしらべたりしてたのと、もう一つは、陽子-中性子の存在比 ($p-n$ 比) が宇宙の初期条件に左右されるかどうかをしらべていたので



第2図 ビッグ・バン宇宙論と $p-n$ 比 ビッグ・バン宇宙論によると、宇宙は過去のある時点、きわめて大きな温度と密度のもとに膨脹しはじめたと考える。膨脹後十数秒では、放射のエネルギーは物質のエネルギーにまさっているため、温度は膨脹開始時刻からの経過時間によって決まってしまう。この温度で決まる光子 (γ)、ニュートリノ (ν)、電子 (e^-)、陽電子 (e^+)、陽子 (p)、中性子 (n) は、次式のように反応して組成比 ($(\text{陽子数密度}) / (\text{中性子数密度})$) を変える。

$$n + e^+ \rightleftharpoons p + \bar{\nu}_e, \quad n + \nu_e \rightleftharpoons p + e^-, \quad n \rightleftharpoons p + e^- + \bar{\nu}_e$$

本文中の $p-n$ 比とは、この組成比のことである。 $p-n$ 比の時間発展は、図の実線のようになる。破線(1)は熱平衡とした場合、(2)は宇宙の初期物質がすべて中性子であるとした場合で、ガモフたちが仮定したもの。 (1)、(2)ともに、上の反応を考慮すると正しくない。

宇宙の現在の温度が 3K として測られたのは1965年になってからのことだが、上の $p-n$ 比はこの温度と無関係である。ただし、膨脹開始から100秒ほど経過し、温度が10億度以下になってからはじまる核反応で合成されるヘリウムや重水素の量は、現在の温度と物質密度に依存する。現在の温度と密度から逆算した状態で核合成を計算すると、水素とヘリウムの組成比の観測値と一致する。これはビッグ・バン宇宙論を実証する重要な根拠の一つである。

す。宇宙のごく初期では中間子が非常に多く、しかも中間子は非常に速く反応しますから、宇宙のごく初期の歴史とは無関係に $p-n$ 比が決まるということを見つけたので、論文にして発表しました。

佐藤 そうすると、あとで見ると $p-n$ 比を計算した仕事として大体引用されているわけですが、むしろ、さらにひとつ前のところをずいぶん考えられたわけですね。 $p-n$ 比にきくのは、実際はむしろベータ崩壊ですね。中間子の反応というのは、結局は数値的には出てこないのですけども、そのことを確かめられたということですか。

林 そうなんです。 $p-n$ 比の初期値がどんな値

15. 膨脹宇宙内の陽子-中性子の濃度比について

林 忠四郎 (浪速大工)

§1. 序

Gamow and Alpher¹⁾は高温度の圧縮状態にあった膨脹初期の宇宙内には物質粒子としては中性子のみが最初存在したものと仮定し、膨脹の進行と共に伴う温度の降下に際してその一部は陽子に崩壊して中性子を捕獲して重陽子を形成し、以下逐次的な中性子捕獲と β 崩壊によって次第に重い核が構成されて行く過程を考えることによって現在の元素の頻度分布が良く説明されることを示した。Gamow²⁾³⁾は更に相対論的膨脹宇宙に於ては元素形成の約 10^7 年後には物質気体は凝縮を始めこれは丁度星雲の質量と半径を有することを示し、膨脹宇宙論に更に新しい根拠を提供した。しかしこの考えを基とするときには宇宙の初期に中性子のみが存在したという仮定は以下に論ずるように當然改められなければならない。

元素形成前の高温な ($T > 10^9$ °K) 時期には中性子-陽子間の転換の反応として、中性子の自然崩壊を含めて、嘗て創られた中性微子及び高エネルギーの輻射によって創られた電子對による次の如き β 過程が進行していたに違いない。

$$n + e^+ \rightleftharpoons p + \nu \quad (1a)$$

$$n + \nu \rightleftharpoons p + e^- \quad (1b)$$

$$n \rightleftharpoons p + e^- + \nu \quad (1c)$$

更に高温 (た $T \gtrsim \mu c^2$, μ は中間子の質量) に於ては甚だ多数の中間子が存在して $n-p$ の転換過程は更に急速であったと考えられる。

相対論的膨脹宇宙論によれば高度に圧縮されていた時期における膨脹あるいは収縮の速度は

$$\frac{1}{l} \frac{dl}{dt} = \pm \left(\frac{8\pi}{3} G\rho \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Proton-Neutron Concentration Ratio in the Expanding Universe at the Stages preceding the Formation of the Elements.

Chushiko HAYASHI.

Department of Physics, Naniwa University.

(Received January 13, 1960)

§ 1. Introduction.

In the theory of the origin of the elements by Gamow, Alpher, and collaborators¹⁾, primordial matter (system) of the universe, which afterwards has been cooled down owing to the expansion of the universe and has formed the elements through nuclear reactions such as radiative capture and beta-decays, is assumed to consist solely of neutrons. At early stages, however, of high temperatures ($kT \gtrsim mc^2$, m being the electron mass) in the expanding universe before the formation of the elements, induced beta-processes caused by energetic electrons, positrons, neutrinos and antineutrinos, in addition to the natural decay of neutrons, such as



must have proceeded, their rates being faster at higher temperatures, and had a effect on the proton-neutron concentration ratio. At still higher temperatures $kT \gtrsim \mu c^2$ (μ is the mesons' mass), where large number of mesons are expected to be in existence, n - p conversion process induced by mesons would have been much more rapid owing to their stronger interactions with nucleons than the processes induced by light particles. Consequently, the n - p ratio must have been determined by the rates of such processes and those of changes in temperature and density in the universe resulting from its expansion.

We shall be based on the relativistic theory of the expanding universe, which are shown by Gamow as having a possibility to explain the origins both of the elements and the galactic nebulae.^{1),2)} Then, the expansion and contraction rates of the universe at the stages of high compression are given by²⁾

$$\frac{1}{l} \frac{dl}{dt} = \pm \left(\frac{8\pi}{3} G \rho \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

where l is an arbitrary proper length of a volume containing a given amount of

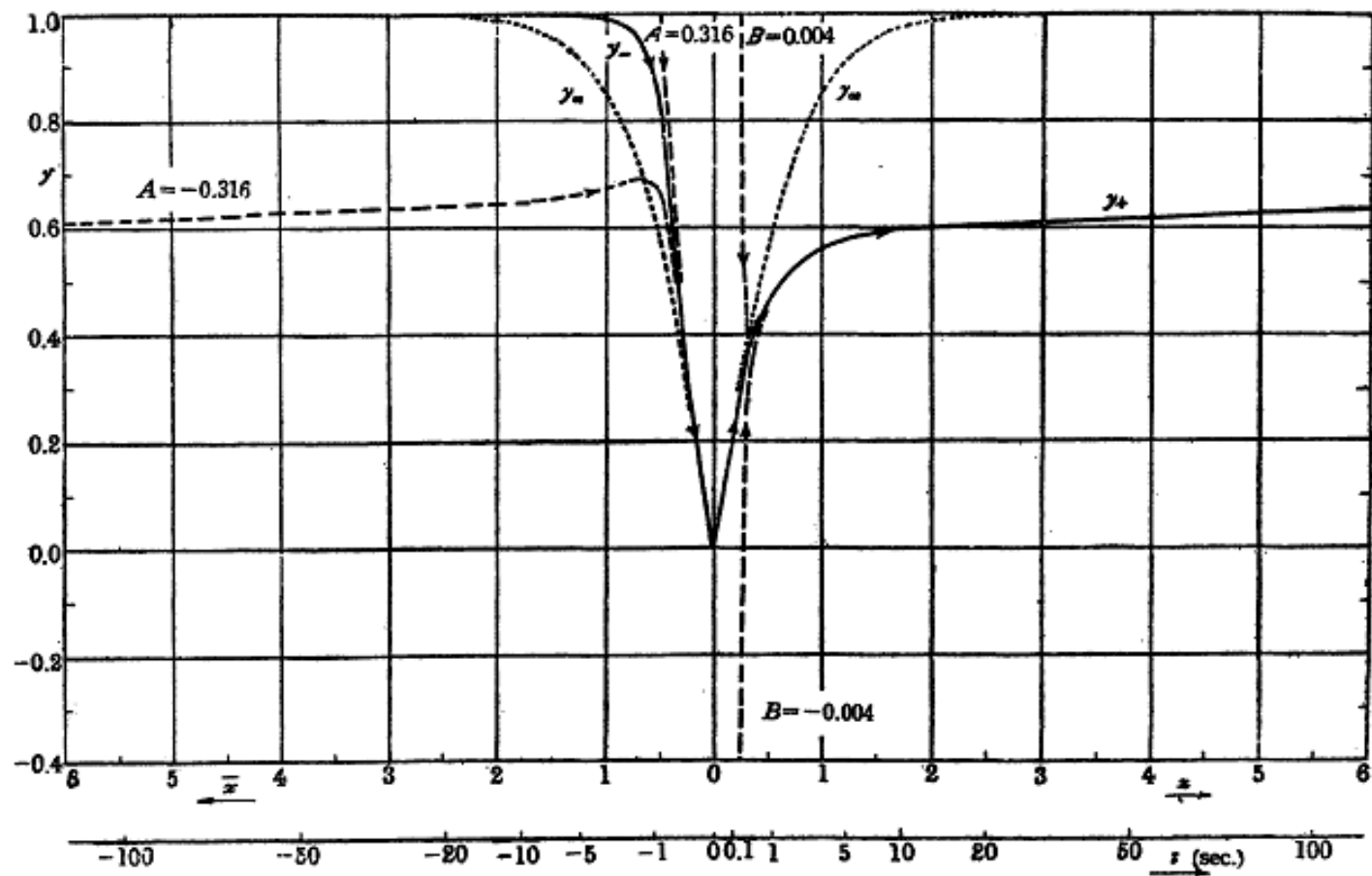
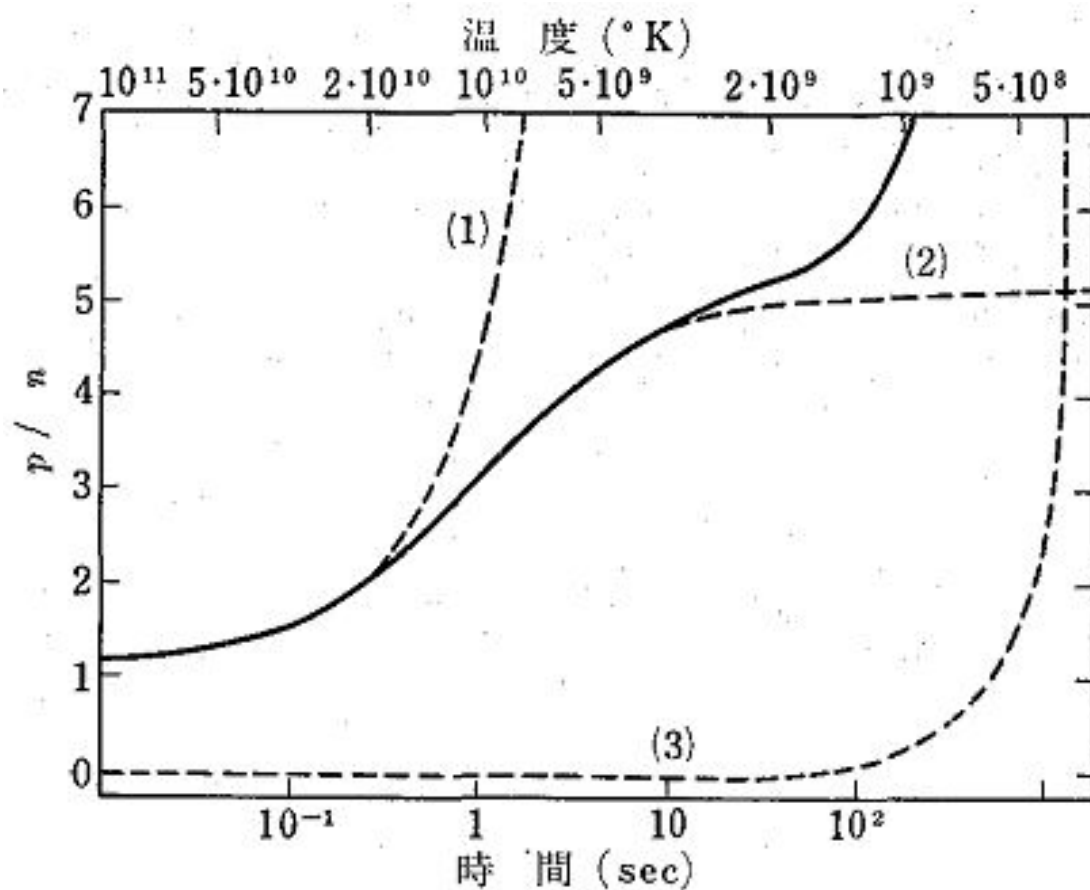


Fig. 2. $n-p$ ratios as functions of $x \equiv mc^2/kT$ and time t of the universe. Dotted line is equilibrium value: $y_{eq} = \tanh(qx/2)$, and broken curves show $y_- + Ae^{f(x)}$ and $y_+ + Be^{-f(x)}$ where x_0 is taken as unity in Eq. (38).



第2図 陽子と中性子の比 p/n の時間変化(実線).
 点線は (1) 熱平衡とした場合, (2) (2)式と(3)式の
 反応だけ仮定した場合, (3) 初期に中性子だけとして
 自由崩壊を仮定した場合.

§ 6. Concluding Remarks.

In the universe in which $\rho_r > \rho_m$ and at high temperatures where elements are not allowed to be in existence, the n - p ratio follows the curves shown in Fig. 2. It can be seen in particular that, if the existing laws of physics, microscopic and macroscopic, are valid at least up to temperatures $\sim 2 \times 10^{10}$ K, the n - p

ratio at the beginning of the elements formation, i. e., at $x \gtrsim 1$, is nearly 1:4, whatever the physical conditions at higher temperatures, especially at the epoch $t=0$ when the universe is singular according to the current theory, may be.

It is known that at present hydrogen and helium together form about 97 percent of all matter. If we assume that formation of nuclei heavier than He^4 can be neglected, and that reactions involving beta-processes such as $n \rightarrow p + e^-$, $p + p \rightarrow \text{H}^2 + e^+$, and $\text{H}^3 \rightarrow \text{He}^3 + e^-$, which are much slower than other nuclear transmutations such as gamma-ray or μ particle emission unless material density is extremely low, are not effective during the formation process, He^4 is built up from original neutrons and protons, after all, as $2n + 2p \rightarrow \text{He}^4$, whatever the routes of formation may be, for instance $n + p \rightarrow \text{H}^2$, $\text{H}^2 + \text{H}^2 \rightarrow \text{H}^3 + p$, $\text{H}^3 + \text{H}^2 \rightarrow \text{He}^4 + n$, or $n + p \rightarrow \text{H}^2$, $\text{H}^2 + n \rightarrow \text{H}^3$, $\text{H}^3 + p \rightarrow \text{He}^4$. Consequently, the hydrogen-helium abundance ratio (in number) resulting from the initial n - p ratio 1:4 becomes 6:1, whereas recent observed values in stellar atmospheres and meteorites range from 5:1 to 10:1.

$$Y = 4x(n/2)/(p+n) = 2/([p/n]+1)$$

Under the original assumption of Gamow that "ylem" consists solely of neutrons, it is difficult to explain the fact that the building-up processes of the elements jump over the "crevasses" of unstable mass numbers 5 and 8, as shown by Fermi and Turkevitch.⁶⁾ However, the existence of an appreciable amount of original protons may relieve this situation owing to increasing probabilities of capture by light nuclei of proton, deuteron, triton, and helium nuclei, since the formation process is expected to begin at higher temperatures. Such a situation, together with the above conclusion on the hydrogen and helium abundances, seems to encourage further calculations on the formation of light elements, at least up to C^{12} . In this connection, to treat the building-up processes at initial stages, especially formation of deuterons, more accurately, it will be necessary to take into account the effects of their reverse processes, for instance $A_* + n \leftarrow (A+1)_* + \bar{\nu}$, caused by radiations having high concentrations at high temperatures.

In conclusion, the author wishes to express his cordial thanks to Prof. H. Yukawa for his continual interests and advices, to Prof. G. Gamow for his kind suggestions and advices, and to Prof. Z. Shirogane for his continual encouragements.

of *Theoretical Physics*, which was founded by Yukawa in 1946, and a Japanese version of this paper was printed in the memorial volume of the *Soryushiron Kenkyu* (Vol. 1, 1949, no.3) dedicated to Yukawa's receipt of the Nobel Prize in 1949. As is well known now, this paper revised the so-called $\alpha\beta\gamma$ theory of Gamow and his collaborators by introducing *neutrino black-body radiation*, by which protons and neutrinos transmute each other through β and inverse β processes. In this paper, he first introduced thermal neutrinos with Boltzmann distributions and wrote their density n_ν as $z_\nu = n_\nu/16\pi(kT/hc)^3$. Later in the paper, he argued as follows:

“Further, at temperatures higher than 10^{12} K, z_ν will attain its equilibrium value much faster through processes involving mesons, which are in existence in much larger numbers (almost the same numbers as of photons) than nucleons.”

Mesons were crucial entities which led him to assume the black-body value $z_\nu = 1$.

So black-body neutrino radiation was introduced as cosmic neutrinos by Hayashi. This was the second invisible component introduced into the universe by the Big Bang theory. The first was black-body photon radiation, which was introduced by Gamow and was detected later. Cosmic neutrinos have remained undetected as the first candidate for dark matter. Indeed now we have a long list of dark matter candidates. These have come from an interplay of Big Bang and particle physics. Hayashi's paper in 1950 was a breakthrough in the dark matter problem through just this kind of interplay and allows us to come full circle and recognize the connection between Yukawa and dark matter.

H.Sato, in "Dark matter in the universe" Springer, 1990, Proc. 西宮—湯川シンポ

初期の組成の仮定に無関係に p/n は決まる

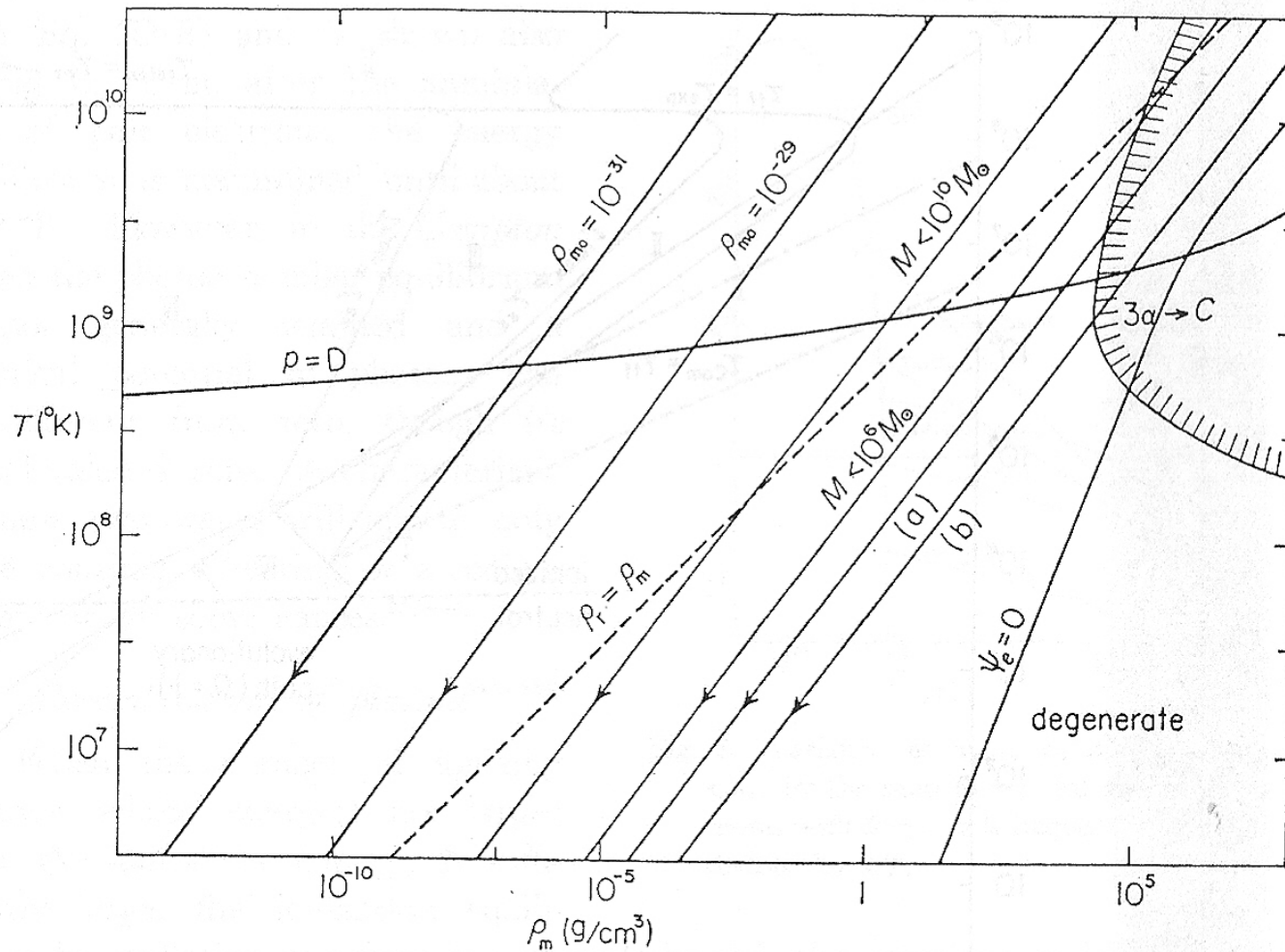
原始元素組成は決まる

ニュートリノ黒体放射が残存

ガモフは光子黒体放射 CMB

CMB光子とほぼ同数のニュートリノ(原子の数億倍多い)

小さくても質量あれば 原子密度以上の ダークマター



Sato et al,PTP
Supple. 1971

Fig. 4. The density-temperature region where helium formation occurs. The curve denoted by $p=D$ represents the temperature where the equilibrium value of deuteron given by Eq. (3.10) equals the proton number. Production of helium occurs around this critical temperature. In the hatched region, a time scale of three-alpha reaction is smaller than τ_{ex} , if most of nucleons has been transformed into He already. The arrowed lines are the evolutionary paths; ρ_{m0} is the density at $T=2.7^\circ\text{K}$ and M is the mass of supermassive object. The lines denoted by (a) and (b) are the evolutionary paths taken by Hayashi and Nishida.¹¹⁾ ψ is chemical potential of electron divided by kT .

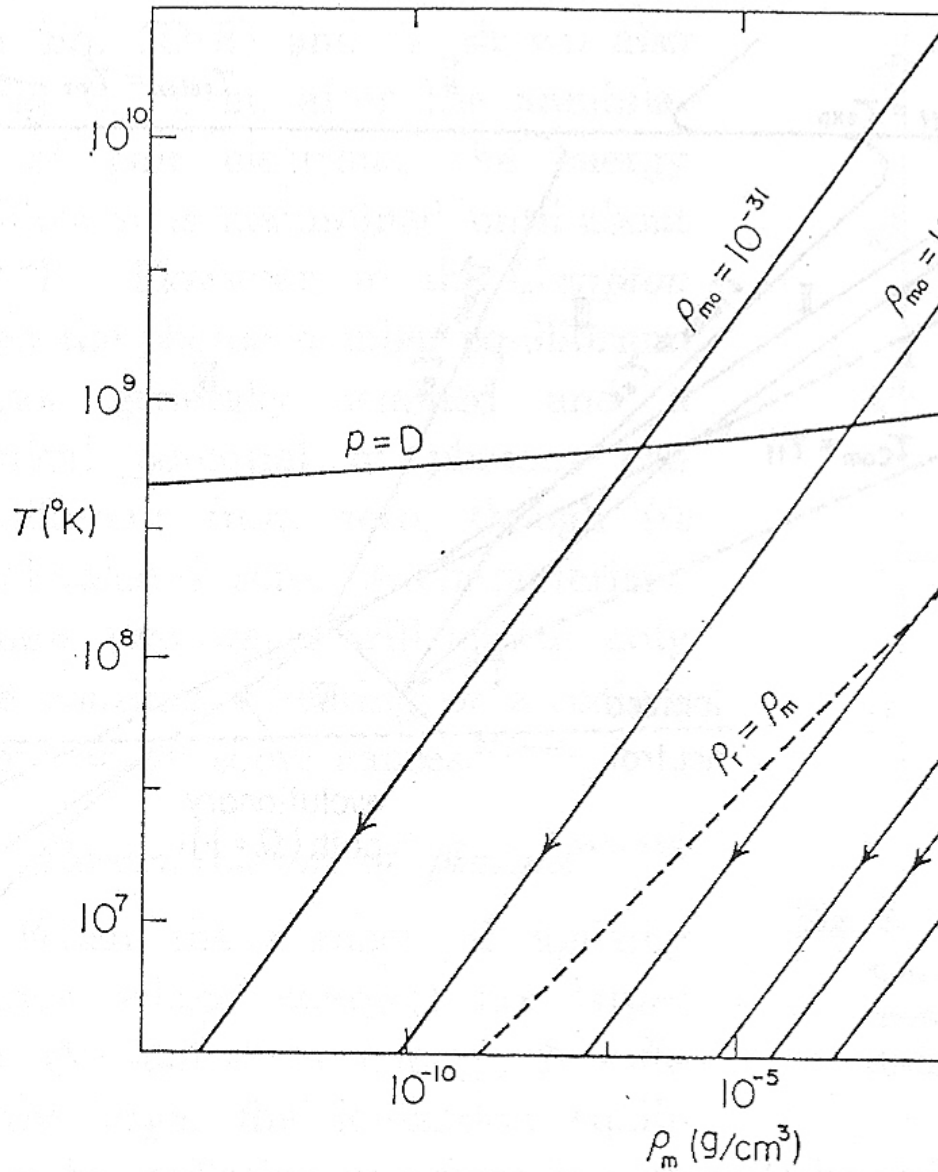


Fig. 4. The density-temperature region where helium for $\rho = D$ represents the temperature where the equilibrium equals the proton number. Production of helium from nucleons has been transformed into He already. In the hatched region, a time scale of three-alpha particles: ρ_{-2} is the density at $T = 2.7^\circ\text{K}$ and M is

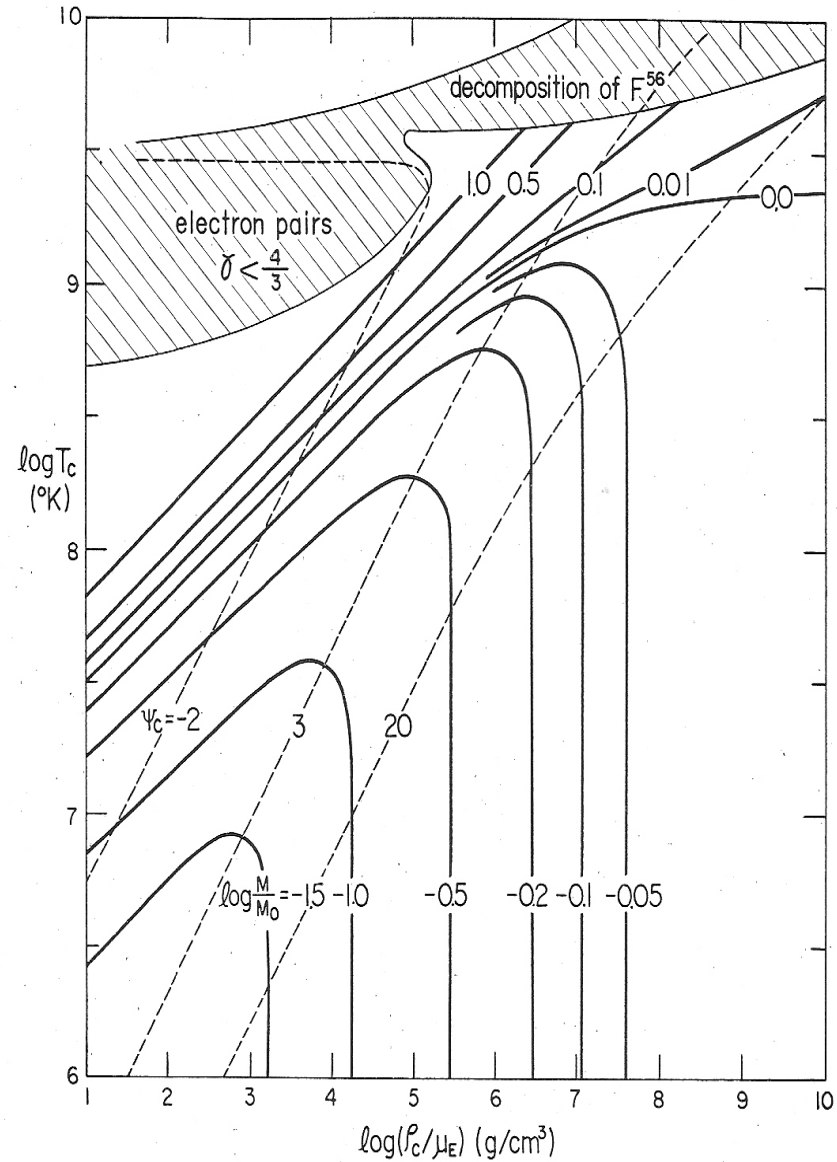
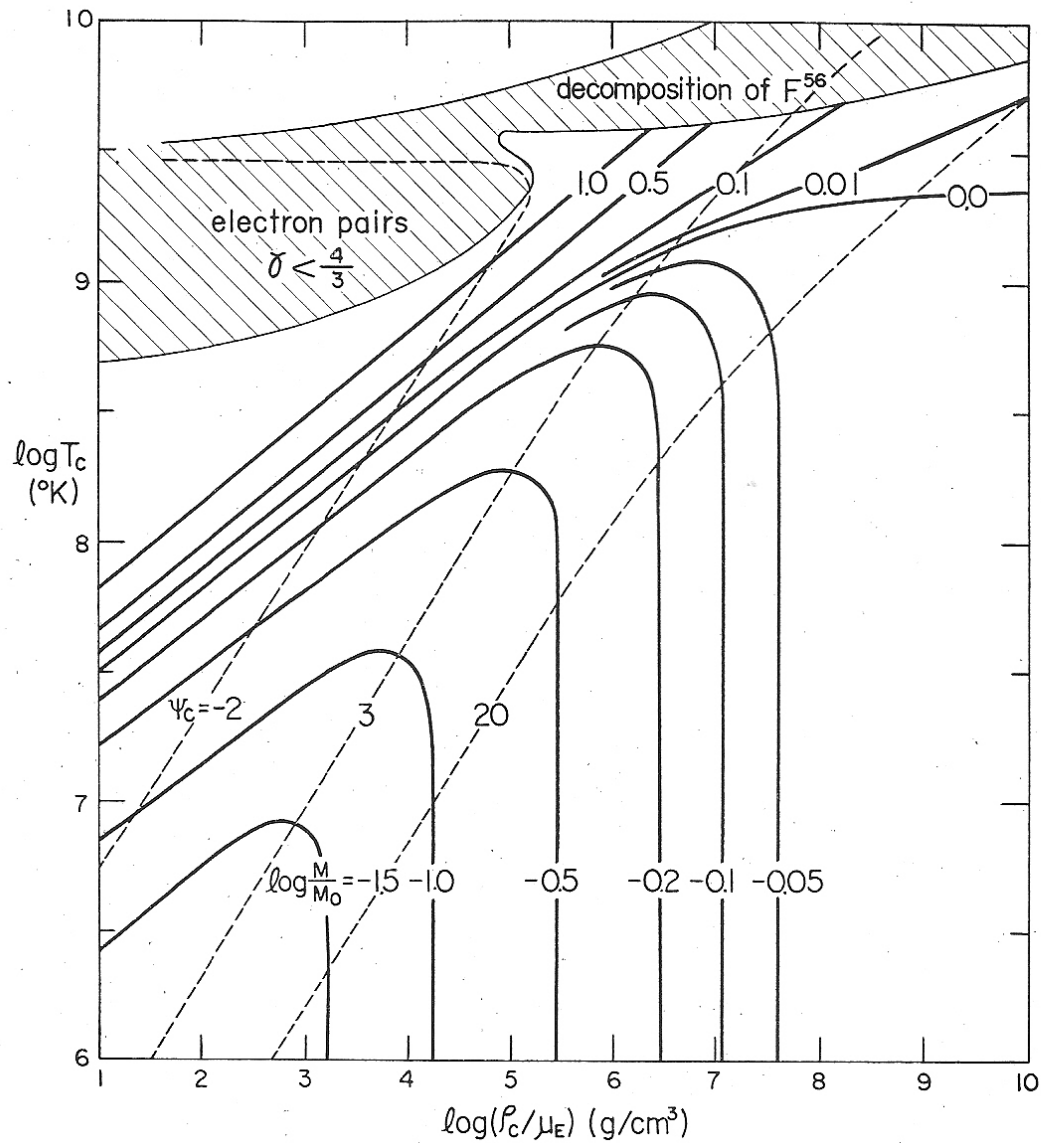
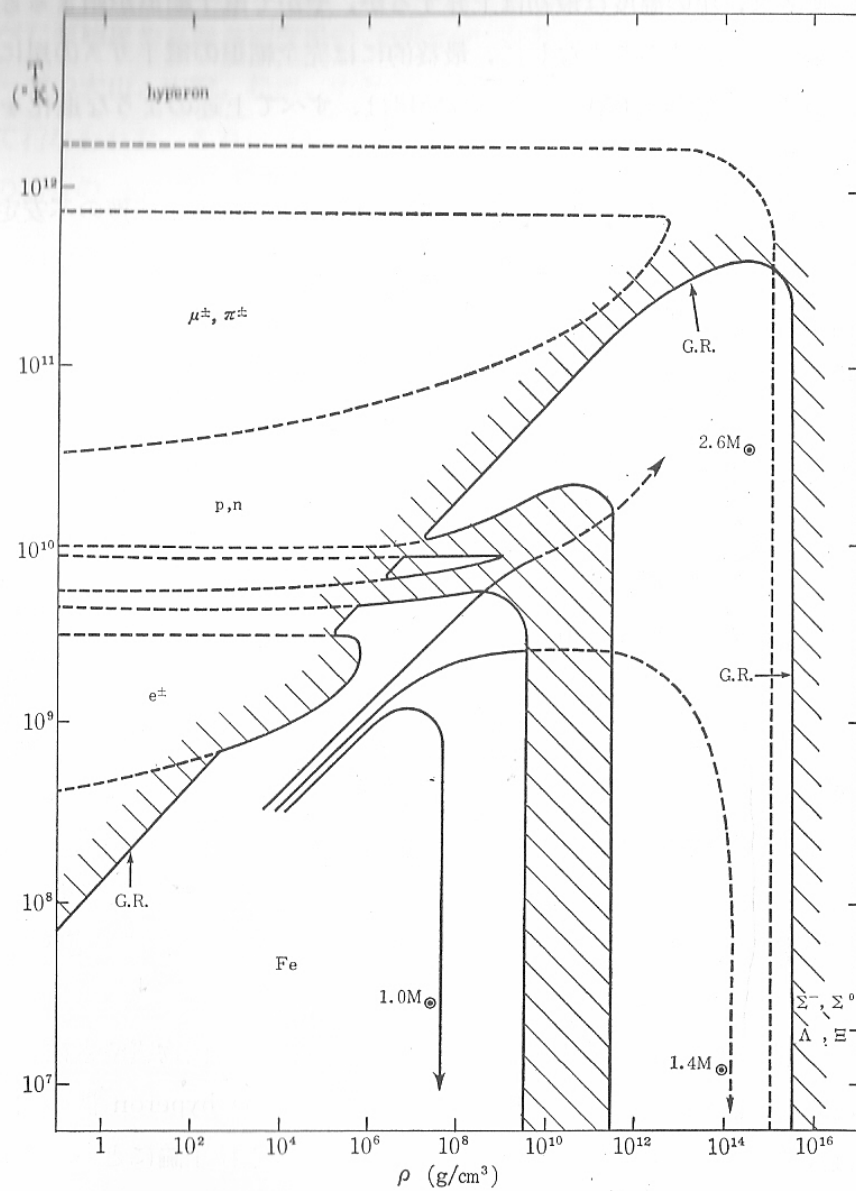


Fig. 2. The curves of constant M/M_0 in the central temperature-density diagram. The dashed curves represent the states of given ψ_c . The stars become unstable when they enter the shaded region where γ is smaller than $4/3$ because of the creation of electron-positron pairs and the



Takarada, Sato, Hayashi, 1966

Fig. 2. The curves of constant M/M_0 in the central temperature-density diagram. The dashed curves represent the states of given ψ_c . The stars become unstable when they enter the shaded region where γ is smaller than $4/3$ because of the creation of electron-positron pairs and the decomposition of iron nuclei.



林 in
「基研15周年シンポ」
1968年

第5図 高温高密度のガスの組成と星の不安定領域。

低温・低密度の熱平衡状態のガスは Fe^{56} 電子から成るが、高温・高密度になると、まず Fe^{56} は核子（高温では $p + n$ 、高密度では n ）に分解する。この分解の遷移領域（図の斜線領域）では γ の値は $\frac{1}{3}$ より小さい。このほかに、電子対、中間子対の発生の遷移領域（図の e^\pm , μ^\pm , π^\pm の点線で囲まれた領域）でも γ は $\frac{1}{3}$ より小さい。さらに、図の G. R. で示した実線より高温、高密度の領域（やはり斜線で示してある）では、一般相対論の効果によって、星は不安定である。

何故ガモフ？

ネイロにあるカジノ・ド・ウルカという名前の賭博場で、それを記念して論文の表題を「ウルカ・プロセス」としたということです。

佐藤 原子核が高いエネルギーの電子を一度吸収し、それが次にベータ崩壊で再び電子を放出し、原子核はもとにもどる。そういうサイクルをくり返すのですが、吸収・放出の両方の反応でニュートリノがエネルギーをもって逃げる。そのため星の内部の温度は上がらない。それはちょうど賭博場でお金がどんどん減っていくみたい。

杉本 チップが行ったり来たりしている間に、お金がフーツと蒸発していくという意味ですね。

林 その論文がなぜぼくに当てられたのか、これは想像でしかないのですが、ぼくら数名は南部陽一郎君と一緒に原子核物理の理論のゼミをやっていたのです。ですから、いまでも有名であると思いますが、ベータたちが一九三五年ごろ著した *Reviews of Modern Physics* という雑誌の長大な論文（原子核研究者のバイブルといわれた）を勉強した一人であるわけです。ニュートリノのことは勉強していたので、それで指導教官の落合麒一郎先生がぼくにあの論文を当てられたのであろうと思っています。とにかく三〇分で報告しなきゃいけないわけで、一生懸命に数式や計算のチェックをしたわけです。そうすると、そのなかにいろんな引用文献があるわけです。たとえばエディントンの『星の内部構造』があって、ポリトロップというような言葉も出てくるので、それでエディントンの本を必要な個所だけ読んだの

です。まあ、現在からみるとどの程度理解していたか知りませんが、とにかく一応理解して報告することはできたのでしょう。ベータの論文を一生懸命やったのですから。

佐藤 ガモフ・シエーンベルクの論文は一九四一年に出ているから、当時は真新しい論文だったわけですね。

林 現在では、まったく新しい論文を学部学生が紹介するということは、とても考えられないでしょう。その当時の学生は、ある意味でそれをやるだけの力を備えていた。

「宇宙学事始」

林 そのあと卒業して、海軍の技術将校として三年間暮らし、一九四五年に東大へ帰ったが、そのときの東京の食糧事情、住宅事情はひどいものだった。それで、自宅が京都でもあるので、ひとつ京都の湯川（秀樹）先生のところへ勉強したいと思って、落合先生にご相談したことがあったのです。そうすると落合先生は、湯川先生に別の用事でお会いするために京都へ行くことがあるから、そのときに聞いてあげましょうというご返事だったので。その結果、話がうまくいって、終戦の翌年、四六年の三月ごろに湯川先生のところへ勉強することになったのです。もちろんそのときは、ぼくは素粒子論を主として研究していくつもりだった。そしたら、たまたま湯川先生が宇宙物理学教室の教授を兼任されていたわけです。だからぼくに、原子核物理に関係した天体の問題をひとつ勉強してみたらどうかという話を

林 忠四郎年譜

- | | | |
|------|-----------------------|--|
| 1920 | 京都市に生まれる | |
| 1940 | 第三高等学校卒 | |
| 1942 | 東京大学物理学科卒 海軍学徒動員 | 41 Gamow URCA |
| 1946 | 終戦で復員して京都大学の湯川研究室に入る | 47 Giant stars |
| 1949 | 浪速大学（現 大阪府立大学）助教授 | 49 shell source |
| 1954 | 理学博士 京都大学助教授 湯川研究室 | 50 p/n 50-57 non-local, bi-local,場の理論 |
| 1957 | 京都大学教授 核エネルギー学講座 | 56— 宇宙物理 |
| | | 60核理 林研 |
| | | 64 ニュートリノ天文学 |
| | | 65 3K |
| | | 68 Li-Be-B ゆらぎ粘性消滅、H ₂ , |
| | | 71 PTP Supplement |
| 1980 | 還暦国際会議 | |
| 1984 | 京都大学名誉教授 | |



南部陽一郎 一
 菅原 仰 一
 山内 禎吉 五
 塔合 駿一郎 一
 林 忠四郎 三
 井上 健男 一



それから、ここに2人並べてあるのですが、これは私の同級生なのですが、林忠四郎さんは、もともと京都大学なのですが、どういうわけで東大に行かれたか知りません。

私がなぜ東大に行ったかというのも、私はわからないのです。ただなんとなく東大がいいという、親父が何か言ったのでしょうか。東大に行ってしまったのです。

実は、そのころもうすでに、湯川さんの名は日本中で非常に有名になっていました。だから、それに刺激を受けたということはたしかですけれども、私は東大の前には、第一高等学校という、いまの駒場ですけれども、東大とは別のところにいました。そこにいたころは、べつに特に物理をやりたいという気はなかったのです。いろいろなものに興味があったのですけれども、問題は興味があるかどうかではなくて、自分に能力があるか、そのほうが先決なので、その自信ができないかぎり、なかなかどこかに入っていけないわけです。

でもたしかに、湯川さんの影響というものは甚大なものでした。

もう一人、林忠四郎さんがいたという証拠です。これが林忠四郎さんです。これが私で、これが落合駿一郎という私の先生です。あとは、これは一緒に原子核理論などを勉強した仲間です。このスガワラタカシという、名古屋におられたと思います。

これですか。

男性2：いえいえ、奥の男性です。

南部：これが林忠四郎です。

男性2：いやいや（聴き取り不能）で、この男性。

南部：これですか。これはイノウエタケオという人で、これはアカデミー。

男性2：イノウエタケオ君は、こちらですか。

南部：これです。

男性2：それがイノウエタケオくん。

南部：これが。

もう1つ。

南部：ここにもおられますね。

これは東大の物理教室の屋上で撮ったので、たぶん軍隊に入る1カ月ほど前の夏のことだったと思います。

それから、私は軍隊に取られまして、紆余曲折がありますけれども、最後は陸軍の技術研究所に幸いにして回されました。

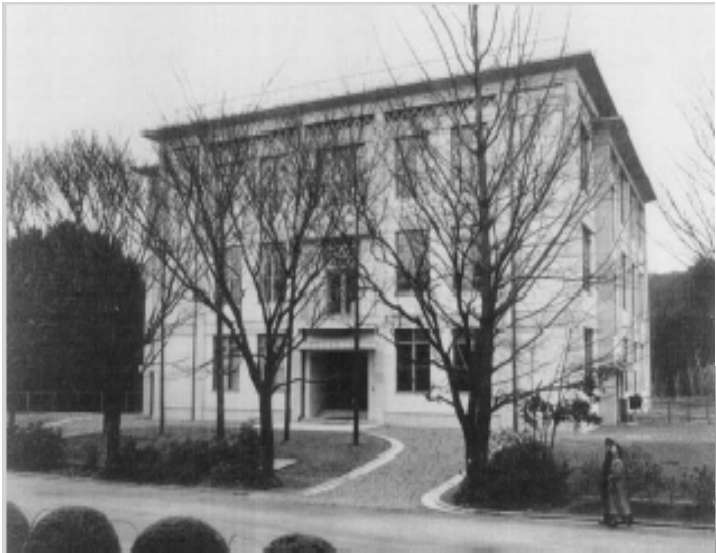
軍の技術研究所が、総勢1千300人、(音声飛び)、初めは東京にあったのですが、それが宝塚に引っ越しました。宝塚の真ん中の、いまの東芸の前身ですから、そこにゴルフクラブがあったので、

理論はありまして、私の担当の先生は落合騏一郎という先生で、彼はハイゼンベルグのところに留学された方なのです。一緒にわれわれの同志4、5人でセミナーとして、ゼミ講として、いろいろな本を読んだのです。例えばベーテの核力に関する有名な総合報告というのが、1936年に出ましたけれども、それを台本にして勉強しました。

余談ですけれども、そのとき、戦争が緊迫して、1940年のときだと思います。私の同級生に非常にenterpriseな学生がいて、彼が写真版をつくる商売を始めたのです。いろいろな論文を大きな本に製版して、われわれにただでくれましたが、ほかの大学には金を取って売りつけていました。彼は実は、もう言いますが、秘密の共産党員だったりして、非常に親しくなりました。

嵯峨根遼吉先生は、原子核・核力理論の実験などの講義をされている先生です。実は彼は長岡半太郎の第5番目の息子さんです。私も彼と非常に親しくなりました。彼は戦前からローレンスのところに派遣されて、サイクロトンの技術を学んできました。そして仁科研に行ったのです。そして仁科研でサイクロトンの研究の担当主任をしておりました。

アメリカに帰ってからも、戦後にもまた、嵯峨根さんは大型サイクロン(?)を建てたので、それで私もアメリカにいたときに、かなりお世話になりました。



53 基研

理論物理国際会議 東京・京都

54, 55 「天体の核現象」

56 理論物理国際会議 Seattle



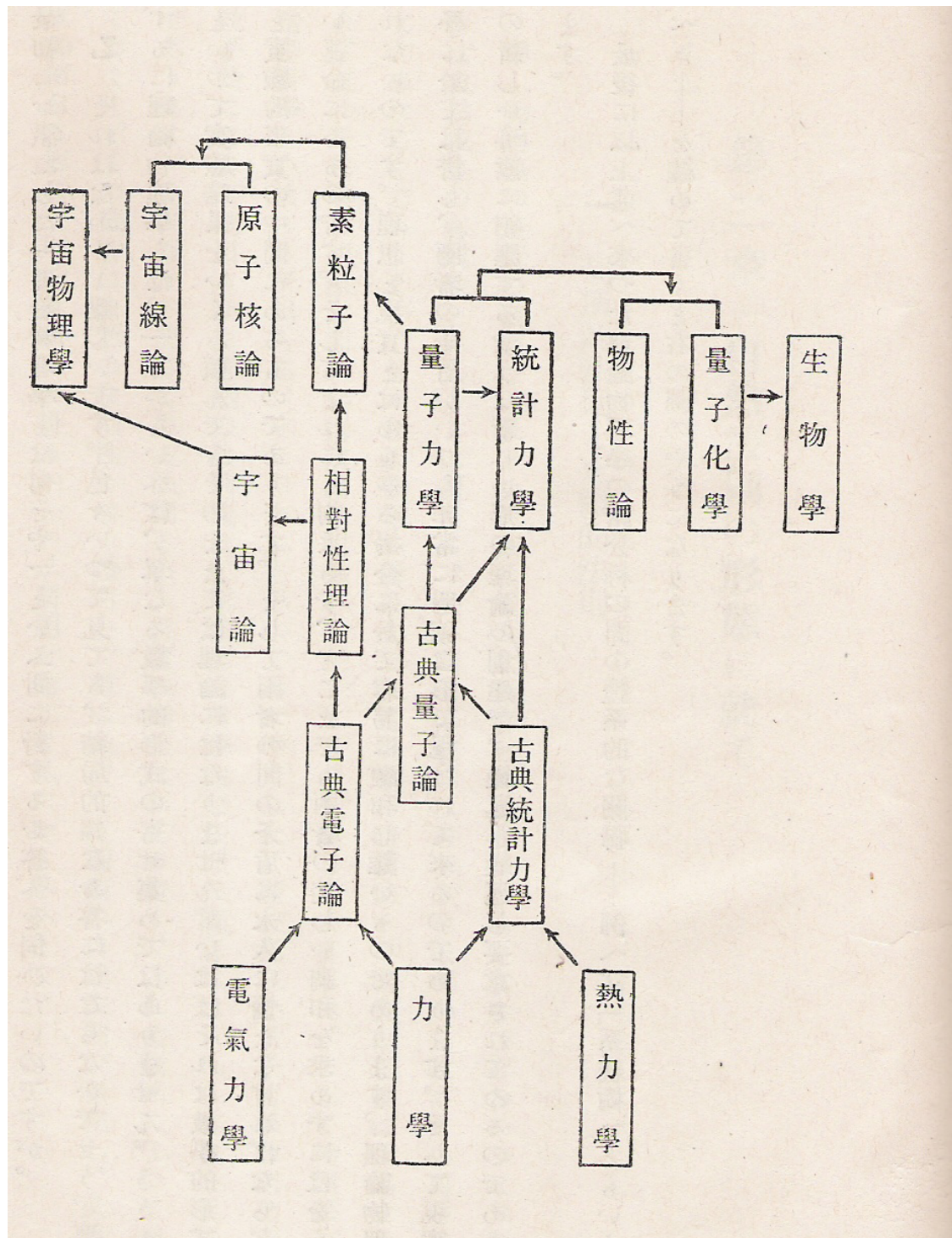
早川幸男 1981年「自然」湯川追悼集

「1954年の初秋、武谷先生を交えて3人でサロンでだべっていた。何かの拍子に湯川先生が、お星さまの話はどうかねといい出された。地上の研究で発展した物理で、天体現象がどこまで理解できるのか知りたいということであった。武谷先生は直ちにこれに応じ、物理と天文の専門家で研究会をやろうと提案され、私にお膳立てをせよということになった」「これは研究所として、異分野の専門家が共通の問題について討論する最初の試みであった。また、わが国の天体物理学が今日の隆盛をみるようになった芽を育てたのであった。このグループは武谷先生を中心にして半年に一回の割りで集まり、少しずつ主題を変え、さらに広い分野の専門家を引き入れた。核融合や太陽系の研究は、これから派生した分野である。また観測天文学者も次第に参加するようになり、大気圏外での観測を主とするX線天文学や赤外線天文学は、この研究会を通じてうまれたと
いってよい」

湯川と宇宙物理

さらに天体核に関しては「エネルギーの源泉」というまとまった文章が「目に見えないもの」に収められている。これにはCNサイクルの反応式が具体的に書いてある。この反応式は1939年のベーテ論文によって初めて提出されたものである。奇妙なことにベーテの星のエネルギーを論じた反応式ではニュートリノが記されていないのが特徴であるが、湯川の記述もそれを引きずっているから、それを写したものであらうと考えられる。

この文章の執筆時期は**1942年9月**となっている。この太陽エネルギーの核反応の説明は相当詳しいもので、これがベーテのPhysical Reviewの論文からのものか、ソルベー会議論文からのものかは明らかでないが、ベーテ論文の情報はソルベー会議論文で知ったのではないかと思う。執筆は太平洋戦争開戦（1941年12月）後であるが1939年のPhysical Reviewは入手していた。またこの文章では太陽エネルギーの解明史や研究の展開の記述はなく、したがってCNサイクルがベーテの提唱であるとの記述もない。この文章の終わりではエネルギー源としてこうした反応の地上での可能性に触れ、またウラニウムの連鎖反応にも触れている。さらに原子核転換にともなうエネルギーの巨大さを説明するために次のような比較も行っている。「坪井忠二博士によると、これは厚さが50キロメートルで150キロメートル四方の地層中にたくわえ得る最大の弾性エネルギーに相当する。ところがこれはせいぜい10キログラムの物質の固有エネルギーにしか匹敵し得ない。換言すれば10キログラムの物質を全部エネルギーに変えると大地震ほどのエネルギーが得られることになる」



1940年

早川「林さんの横顔」

1970年「天文月報」

星のことを知らなかった私が、最初に林さんの学問的業績に接したのは素粒子論の分野であった。湯川先生のノーベル賞を記念してシンポジウムが開かれた時、林さんは相対論的2体問題の話をした。陽子と中性子が中間子を媒介として相互作用しているとき、2個の核子が時に大きな反跳を受けて大きな運動量をもつことがある。この影響がどんなに効くか、このような2体系を記述する運動方程式の正しい形は何か、という問題は当時よくわかっていなかった。また1個の核子と中間子とが相互作用している際、微分のあるのとないのと二つの相互作用があるが、それは反跳を正しく考慮すると同じ答になる。しかし2体問題のときはどうかという問題があった。

これを取り上げたのが相対論的2体問題である。その時の共演者であった南部さんの南部の方程式、その後この問題の一般論を展開したベーテ・サルピーターの方程式が世に残っているが、林さんはこの領域で先駆的な役割を果たした。

その後、林さんは非局所理論に打ちこんだ。これは湯川先生の非局所場の理論に端を発する場の理論は元来、場の量を一点の関数として定義するものだが、これは2点の関数とするものである。これはなかなかむずかしいので、場は局所的だが相互作用が2点の関数とすればやや現存の場の理論に近くなる。これを非局所相互作用の理論という。林さんが主に研究したのはこれである。なお、今は天体物理学で有名な北大の大野陽朗さんも、非局所グループで活躍していたことを付け加えておく。もしこの2人がそのまま非局所理論の研究を続けたなら、天体物理学の進み方はよほど異なったものになっていたであろう。

林さんの非局所相互作用の理論は、1953年京都で開かれた理論物理学国際会議における花形論文の一つであった。基礎物理学研究所が発足すると共に、湯川先生の陣頭指揮で非局所グループは全国の研究者を吸収して肥っていった。林さんは大阪府立大学とかけもちで、大野さんは白川学舎で熊のようないびきをかき、 $\phi(z,y)$ や $\Gamma(z,y)$ を論じた。

天体核現象の研究会を開こうということになって、林さんに講師をお願いに行ったときは、ちょうど非局所研究会の最中であつた。林さんは極微の世界に没入しており大きな宇宙のことは忘れたと、なかなか首を縦に振らなかった。ひと月ばかり慎重考慮の末、やっと昔話をしてやろという返事が帰ってきた、それから徐々に林さんは宇宙の古巣にもどってきた。

| 年度 | 研究会名 |
|------|--|
| 1954 | 天体の核現象 |
| 1955 | 天体の核現象 |
| 1957 | 超高温研究会、天体シンポジウム、[重力理論] |
| 1958 | プラズマについて、宇宙線の起源 |
| 1959 | 宇宙線の起源と元素の生成 |
| 1960 | 惑星プラズマと宇宙線の起源、銀河の構造と進化、宇宙構造 |
| 1961 | 銀河の構造と進化、宇宙線強度の長期変動 |
| 1962 | Wheeler教授を囲む研究会 |
| 1963 | 宇宙線の起源、地球と物性物理 |
| 1964 | [相対論に関する諸問題] ニュートリノ天文学 |
| 1965 | 素粒子と宇宙論、星の進化とneutrino astronomy, 上層大気中の原子・分子諸過程、地球及び惑星の内部構造、銀河の構造と進化 |
| 1966 | ニュートリノ天文学、地球及び惑星の内部構造 |
| 1967 | 天体物理の諸問題、星の進化、宇宙論、地球及び惑星の内部構造 |
| 1968 | 宇宙空間物質の研究、星の進化、宇宙論と銀河の進化 |
| 1969 | 銀河中心核の構造と進化 |
| 1970 | 惑星間空間物理と太陽系の起源の諸問題、宇宙空間物質の研究、多体系量子論と天体、宇宙論と銀河の起源 |
| 1971 | 太陽系の起源の理論的研究 |
| 1972 | 重力とその諸問題 |
| 1973 | 宇宙物理の今後の問題 |
| 1974 | 一般相対性と重力 |
| 1975 | 一般相対性と重力 |
| 1976 | 一般相対性と重力、太陽系の起源、[高密度核物質]、超新星爆発の理論とニュートリノ観測の問題 |
| 1977 | [高密度核物質]、曲がった時空での量子論および重力論 |

「素粒子論研究」1964年十一月号
 佐藤「neutrino fluxと宇宙論」

It is good that the great work of Hayashi is being remembered. His work on stellar evolution is widely known, but his pioneering cosmological work on the p/n ratio has not been sufficiently appreciated.

(Indeed, a lot of the Japanese work in cosmology in the 1960s paralleled what was done in the UK, the US and Moscow -- and I recall reading in the late 1960s a really excellent series of papers on the 'big bang' in your review journal, as well as very stimulating early work on quars (the 'pile' theory of dense star clusters certainly influenced me).

With respects and regards
Martin Rees

$\alpha\beta\gamma$ 理論

- 1946

G Expanding Universe and Origin of Elements

- 1948

$\alpha\beta\gamma$ The Origin of Chemical Elements

G The Origin of Elements and the Separation of Galaxies

G The Evolution of the Universe [Nature](#)

a-h Thermonuclear Reactions in the Expanding Universe

- 1950-51

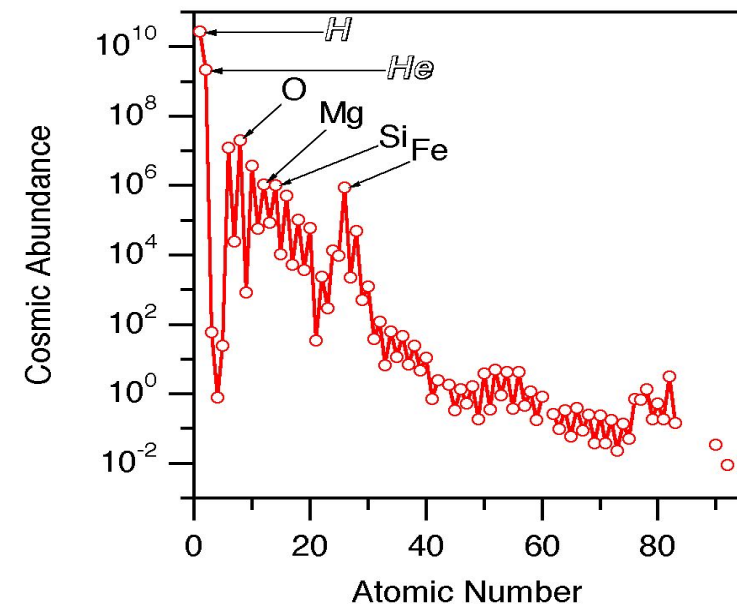
On relativistic Cosmogony [RMP](#)

The Role of Turbulence in the Evolution of the Universe

- 1953

[Alpher-Follins-Herman](#) *ReV. Mod. Phys.*

1946-53年で約15編



Cold 中性子 始原物質

- M. G. Mayer and E. Teller,
Phys. Rev., 76, 1226(1949)
- R. E. Peierls, K. S. Singni and D. Wore,
Phys. Rev., 87, 46(1952).

放射優勢

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho$$

$$\rho \propto T^4$$

$$T \propto a^{-1}$$

$$a \propto t^{1/2}$$

$$\frac{1}{t^2} = \frac{32\pi}{3} G g \sigma_{SB} T^4$$

$$T(t) = A/t^{1/2}$$

核反応

$$\sigma(T(10分))v(T(10分))n(10分) \times 10分 \approx O(1)$$

現在との関係

$$n \propto a^{-3}$$

密度n(現在)は銀河分布から

$$\frac{T(10分)^3}{n(10分)} = \frac{T(現在)^3}{n(現在)}$$

$T(10分), n(10分), n(現在)$ の数値から

$T(10分)$ を5-7Kと推定

イーレム 妙なる物質

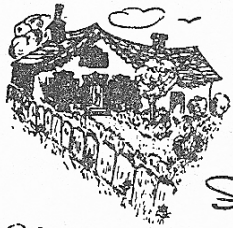


Herman, Gamow, Alpher





1973 Solvay Conf



The Sept 29th 1963

Gamow Dacha
785 - 6th Street
Boulder, Colorado

Dear Dr. Penzias,

Send Thank you for sending me your paper on 3°K radiation. It is very nicely written except that "early history" is not "quite complete". The theory of, what is now known as "primeval fireball" was first developed by me in 1946 (Phys. Rev. 70, 572, 1946; 74, 505, 1948; Nature 162, 680, 1948). The prediction of the numerical value of the present (residual) temperature could ~~can~~ be found in Alpher & Hermann's paper (Phys. Rev. 75, 1093, 1949) who estimate it as 5~~7~~°K, and ~~in~~ in my paper (Kong Dansk. Ved. Sels. 27 no 10, 1953) with the estimate of 7°K. Even in my popular book "Creation of Universe" (Viking 1952) you can find (on p. 42) the formula $T = 1.5 \cdot 10^{10} / t^{1/2}$ °K, and the upper limit of 50 °K. Thus, you see the word did not start with almighty Dicke. Sincerely G. Gamow?

Reines編山口ら訳
「ジョージ・ガモフその業績と
思い出」共立出版、1976

CMB以後

原始元素合成以後

ゆらぎ、構造形成

原始元素合成以前 佐藤「宇宙進化と素粒子の起源」素粒子論研究 1968年12月

標準理論前の宇宙と素粒子

場の理論不信、S-matrix, ハドロン・ストリングの

・ハドロンが引っ付きあう密度

Hagedron理論 ストリング、有限温度

非理想気体状態方程式 → 理想気体

「物理の分からない考えない人が正解」

分離して対称宇宙 アルフォーベン

・ニュートリノ反応断面積

$$\sigma \propto E^2$$

ビッグバンでの物質組成の進化

B数破れ

CP破れ

サハロフ3条件

熱平衡からのずれ

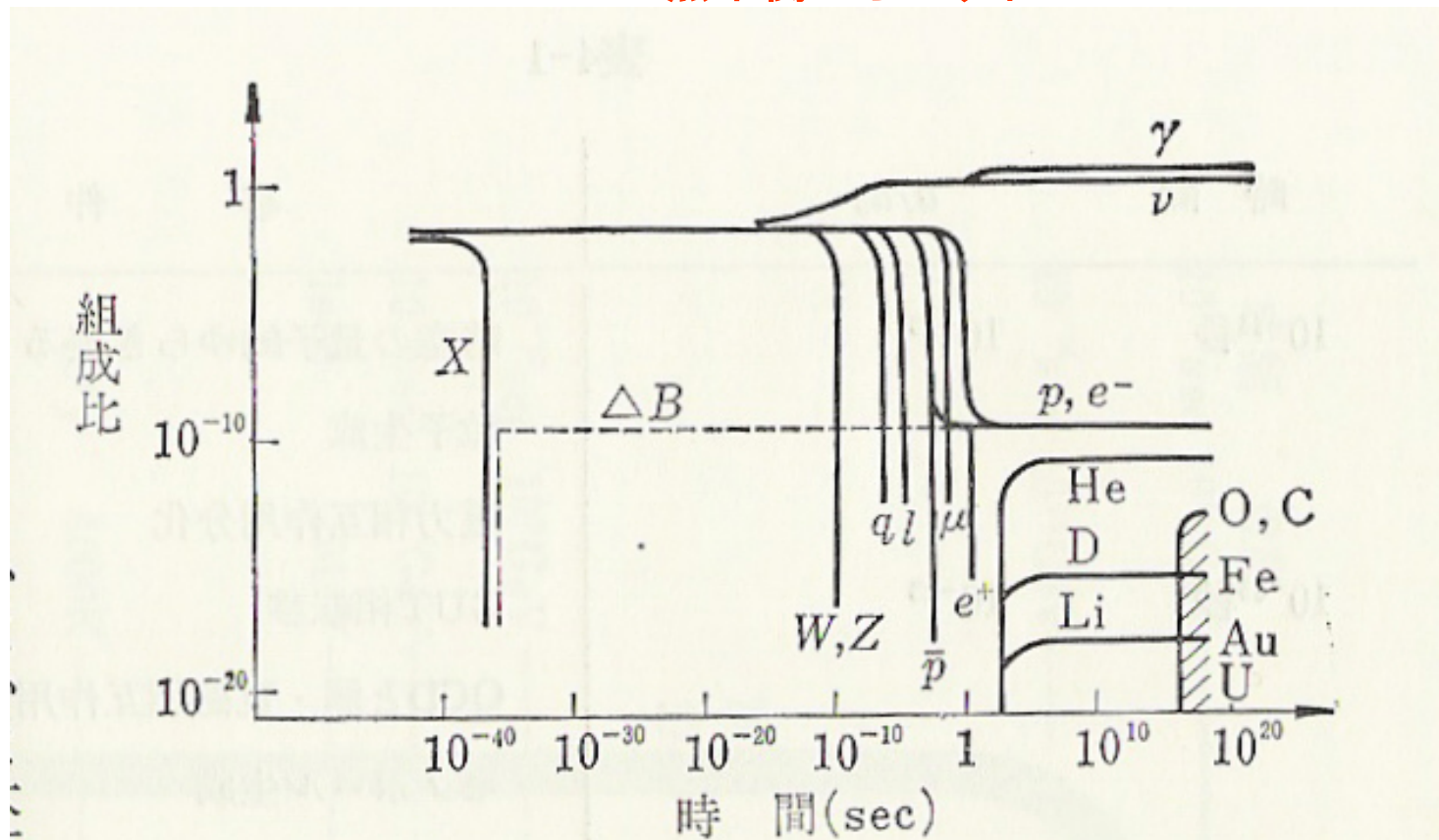
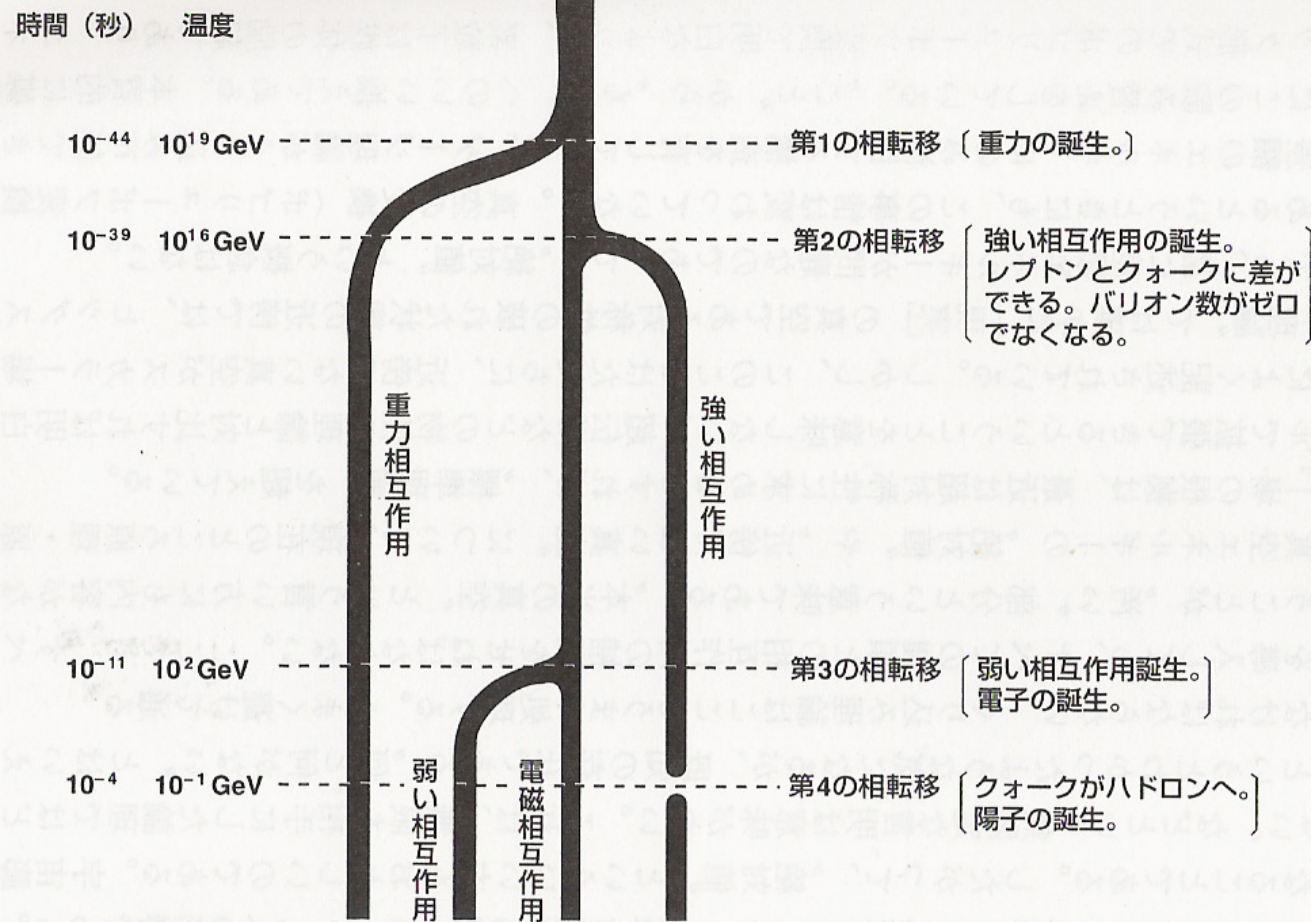


図4-4 宇宙での物質組成の変化。 ΔB はバリオン数。W, Zは弱ボゾン, q と l は多くのクォークとレプトンをまとめて示した。斜線の部分は星で作られる元素の量を表わす。



▲図3 標準理論のパラダイム。真空相転移をくり返して、“統一された力”が4つの力に分岐していくという、標準理論のパラダイムを表現した図である。この図は外国の解説本などにも登場した。

宇宙膨張に伴う力の分岐

佐藤文隆・佐藤勝彦1978年

佐藤「宇宙を顕微鏡でみる」
(岩波現代文庫)

1983年



図1 いまやミクロの世界の解明
が超マクロの世界の解明の道具
になっている(筆者描く).

宇宙進化のまとめ

空間・時間
の発生

量子宇宙

(インフレーション)

物質の
起源

火の玉宇宙

(はれ上がり)

天体構造
の発生

星の宇宙

おわり

1964年11月に基礎物理研究所で「ニュートリノ天文学」という研究会があり、この時、私が宇宙の Big-Bang モデルから予想されるニュートリノの海についてレビューをしたり 杉本さんが He flash に関連して n -loss と He 量とをからませた議論があったりした。それからしばらくして林先生が 1950 年にやられた宇宙初期の陽子と中性子の比率 (p/n) の計算をもとにそれに続く He 形成を計算してみるべきだといわれた。

この話は、1946 年頃から Gamow が中心にすすめた宇宙初期の数分間で元素を作ろうという元素起源論であるが、この理論は C 以上の元素が作れないということで挫折していた。He の形成は Hayashi 理論以前に初期物質を中性子のみとした場合について Fermi-Turkevich が行っていたが p/n 比をもとにしたものはなかった。1958 年に Hayashi-Nishida が一応これを行ってはいるが、 3α 反応をつなぎ目として重い元素も作ろうとする目的を持っていたため現在から見れば異常に低い温度を仮定していたことになっていた。He だけを作るのであれば、最初 Gamow が仮定した温度が最近の観測とも大体同程度であり、むしろ Fermi-Turkevich の状況に近いものでよかつたのである。1950 年の Hayashi 論文の p/n をもとにしたこうした Smirnow の He 量の計算がその頃(黒体輻射発見より前) 発表された。しかし、1950 年の論文では中性子の half-life を 20.8 分としており、そ

「天文月報」1970年4月号

Eddington メダル受賞記念

早川「林さんの横顔」

蓬茨「星の進化」

佐藤「宇宙におけるヘリウム形成」

標準理論前の宇宙と素粒子

場の理論不信、S-matrix, ハドロン・ストリングの

- ・ハドロンが引っ付きあう密度

Hagedron理論 ストリング、有限温度

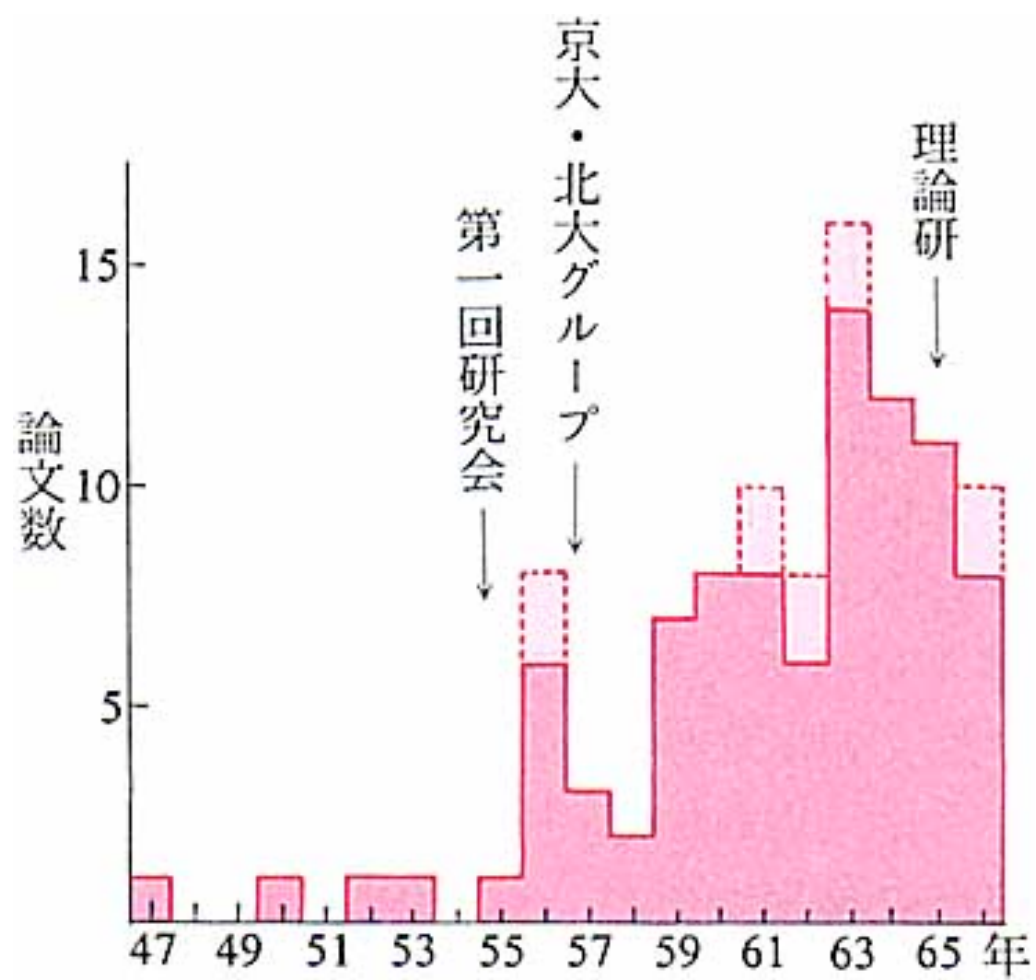
非理想気体状態方程式 \rightarrow 理想気体

「物理の分からない考えない人が正解」

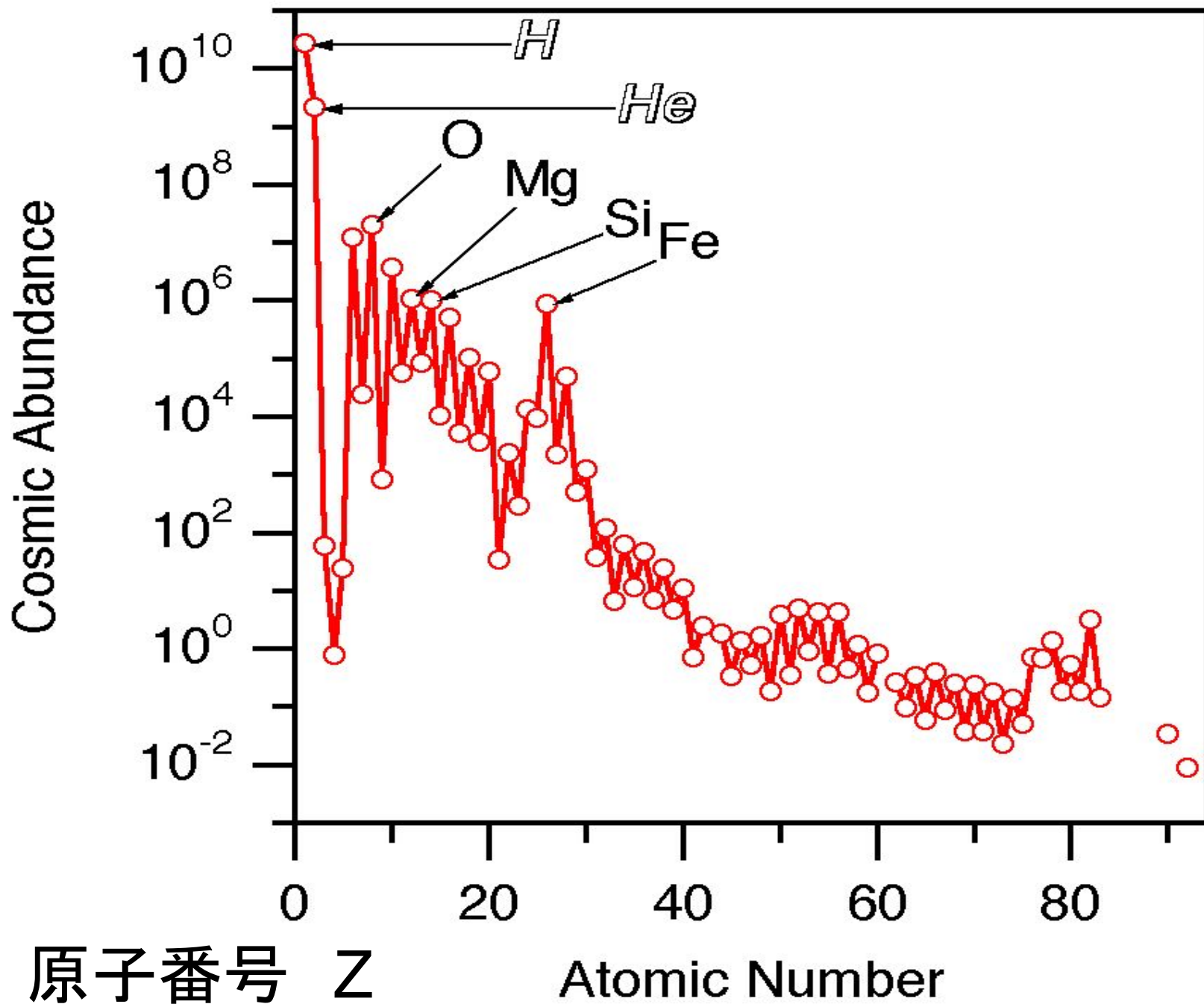
分離して対称宇宙 アルフーベン

- ・ニュートリノ反応断面積

$$\sigma \propto E^2$$

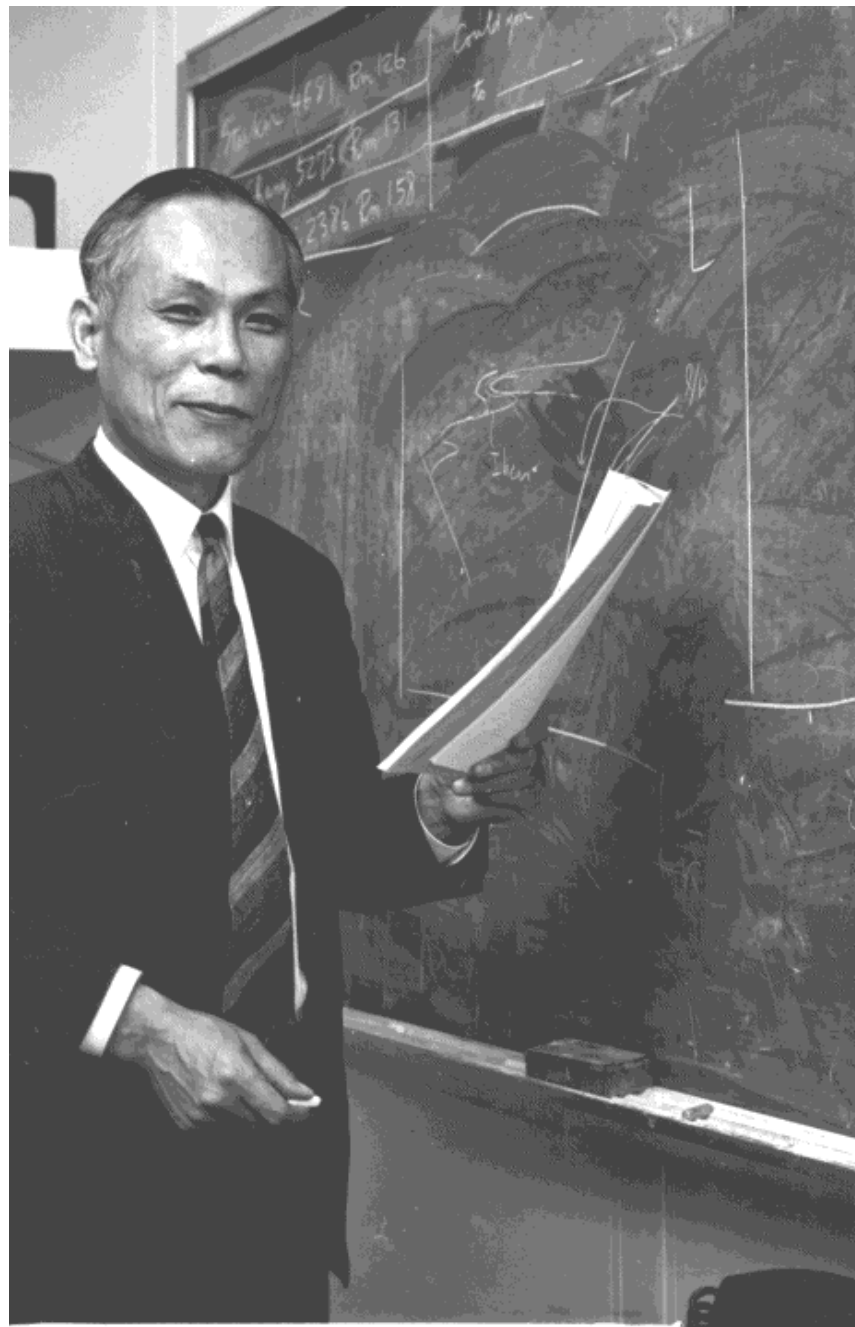


元素宇宙組成





Scanned at the American
Institute of Physics



NASA G-68-10,414



1973年

ビッグバン初期での陽子/中性子比

主系列後・主系列前星の進化 元素起源、コア・ハロー構造

ハヤシ・フェーズ、HHS、 原始星進化、星の形成

太陽系形成の京都モデル

受賞

- | | | |
|------|------------|----------|
| 1963 | 仁科賞 | |
| 1966 | 朝日賞 | |
| 1970 | エディントン・メダル | 英王立天文協会 |
| 1971 | 日本学士院賞・恩賜賞 | |
| 1982 | 文化功労者 | |
| 1986 | 文化勲章 | |
| 1995 | 京都賞 | 稲盛財団 |
| 1998 | 勲一等瑞宝章 | |
| 2004 | ブルース賞 | 米太平洋天文学会 |

「X線からクォークまで」 1895－1935－1980

X線

放射能

原子・原子核

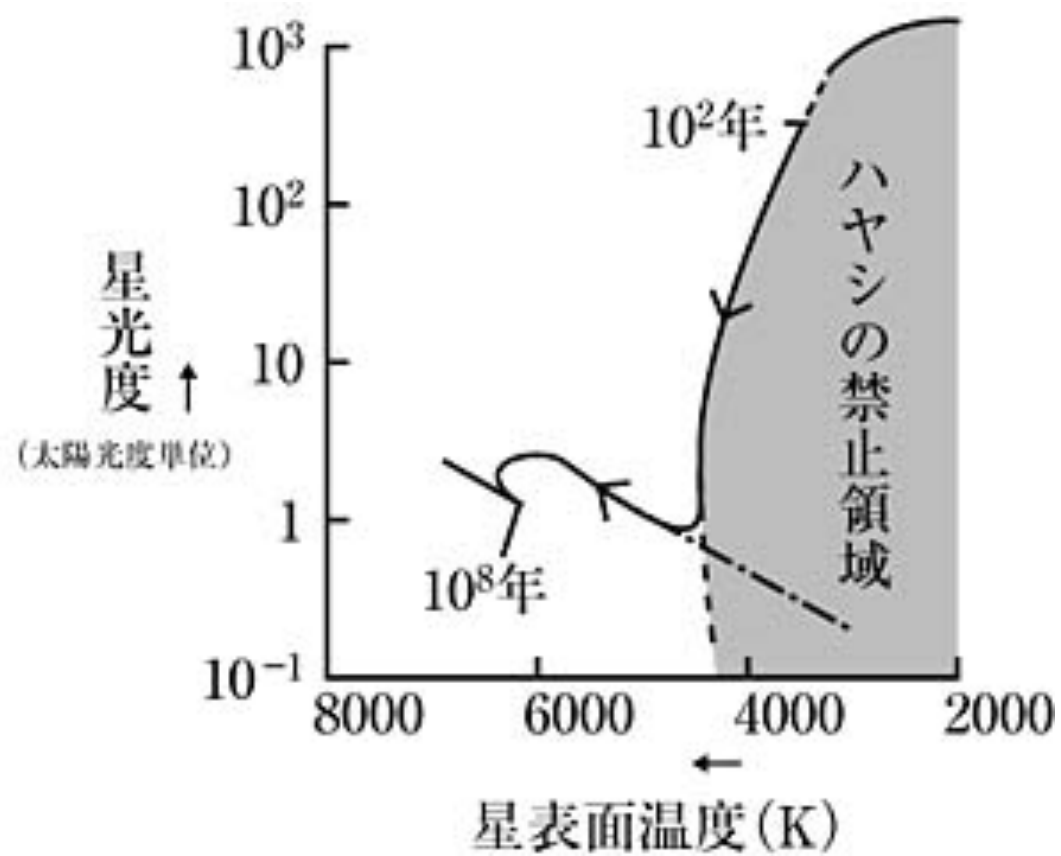
素粒子

クォーク、レプトン、力の場

星のエネルギー源と元素の起源

ビッグバン宇宙での物質と時空

高エネルギー、ニュートリノ天体



既知の方程式に観測量を入れると合わない → >

1) 観測に見落とししてるものがある

2) 方程式が間違ってる

観測と単純な基本法則が合わない

→ > モノを持ってくる悪習 (想像力のなさ)

ニュートリノ、ダークエネルギー、ダークマター、...

場の量子論の真空 物質 = 「差額主義」

「法則」が間違っている？



益川

林

佐藤

1998 ?



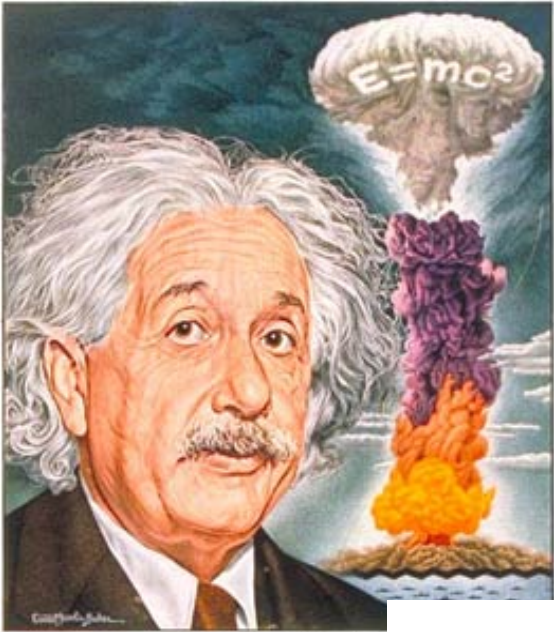


京都大学基礎物理学研究所 S56.4.6

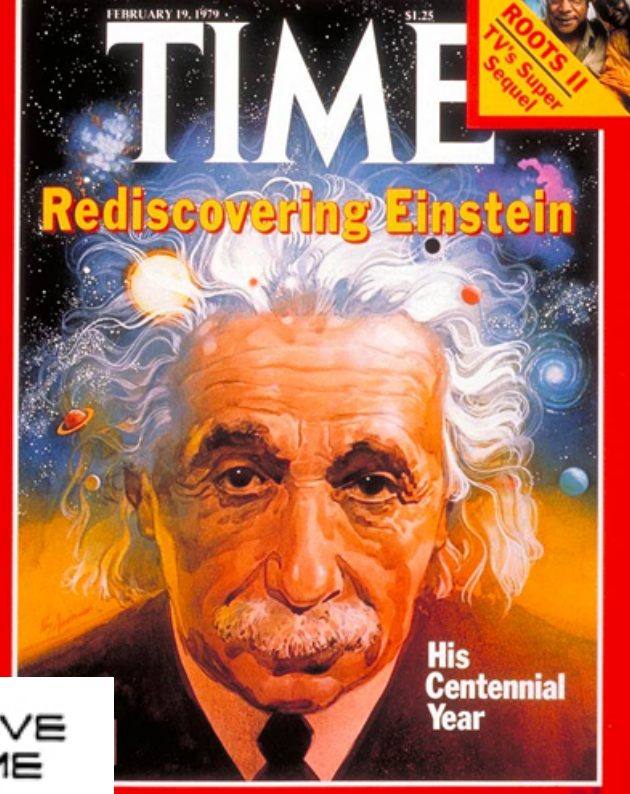
1905 日露戦争終結
 1906. 3. 31 朝永 誕生
 1907. 1. 23 湯川(小川) 誕生
 1914-18 第一次世界大戦
 1922. 11 アインシュタイン来日
 1923 第三高等学校入学
 1926 京都大学理学部入学
 1935 湯川 中間子論
 1937 ミュー中間子発見
 1939 欧州で大戦勃発
 1941 太平洋戦争
 1943 湯川 文化勲章
 1943 朝永 超多時間理論
 1945 原爆、第二次大戦終結
 1946 湯川 プロGRESS創刊
 1948 朝永 くりこみ理論
 1949 湯川 ノーベル賞
 1952 朝永 文化勲章
 1954 ビキニ水爆、福竜丸
 1955 ラッセル・アインシュタイン声明 湯川
 1957 パグワッシュ会議 湯川、朝永、小川
 1956-62 朝永 教育大学長
 1960 安保闘争
 1963-69 朝永 日本学術会議会長
 1965 朝永 ノーベル賞
 1966 湯川 素領域理論
 1968-69 大学紛争
 1975 京都でパグワッシュ・国際シンポ
 1979. 7. 8 朝永 逝去
 1981. 9. 8 湯川 逝去
 2005 世界物理年 ユネスコがユカワ・メダル製作



THE WEEKLY NEWSMAGAZINE



COSMOCLAST EINSTEIN
All matter is speed and flame.



$hf = \phi + E_k$

I SHOULD HAVE BOUGHT SOME STOCK IN A SOLAR PANEL COMPANY.





1974年 Hewish パルサー、電波変動

1983年 Chandrasekar 白色矮星

1983年 Fowler 元素起源

1978年 Penzias-Wilson 宇宙背景放射

1974年 Ryle 電波干渉計、準星

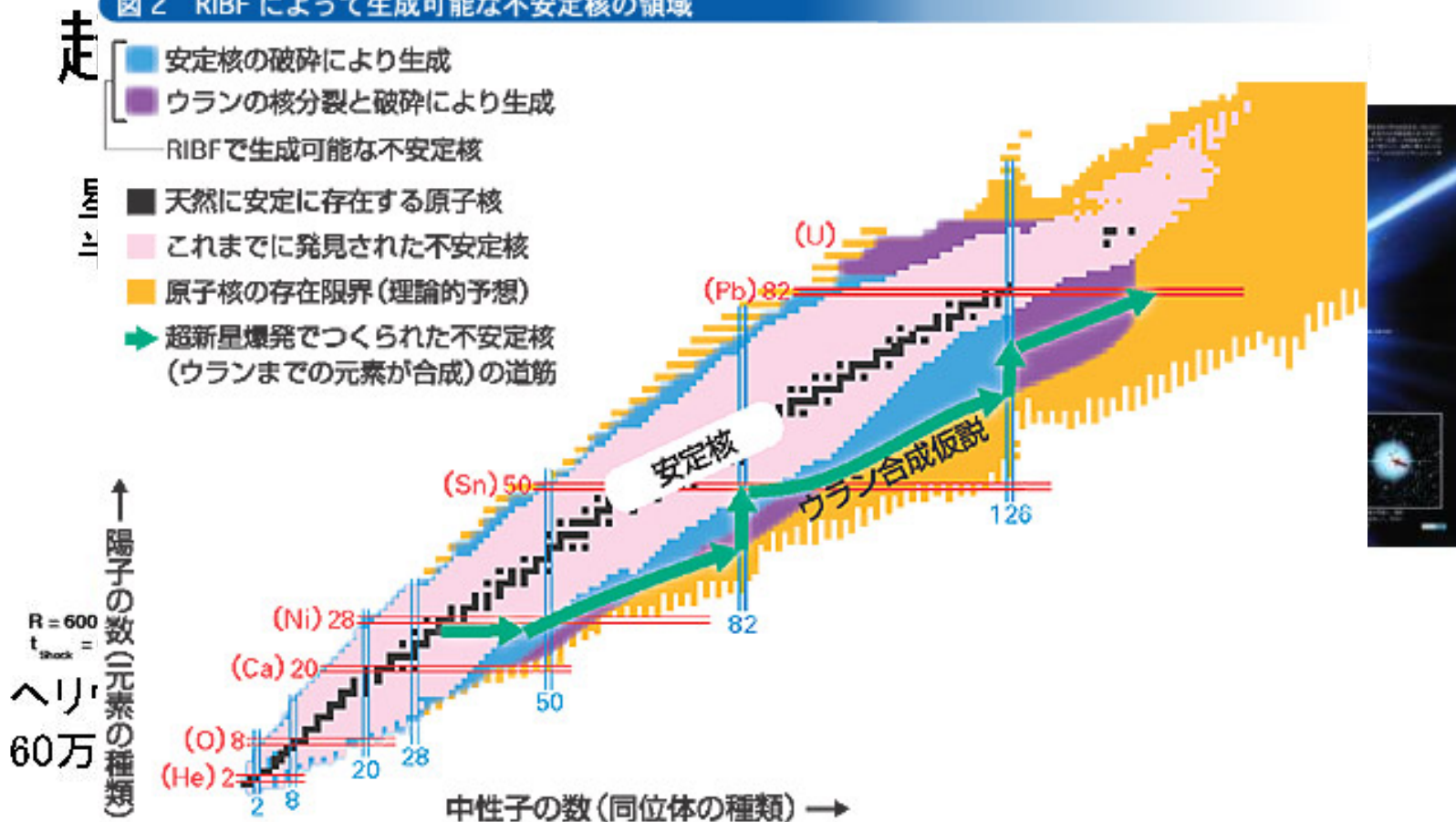
宇宙、地球関係ノーベル賞 その1

- 1904年 Rayleigh,Ramsay(化) 空気成分 アルゴン、希ガス
- 1927年 Wilson ウィルソンの霧箱
- 1937年 Urey(化)、重水素
- 1936年 Hess 宇宙線
- 1947年 Appleton 電離層
- 1967年 Bethe 太陽核エネルギー、原子核
- 1970年 Alfven 電磁流体、磁気圏

宇宙関係ノーベル賞 その2

| | | |
|-------|----------------|------------|
| 1974年 | Ryle | 電波干渉計、準星 |
| | Hewish | パルサー |
| 1978年 | Penzias-Wilson | 宇宙背景放射 |
| 1983年 | Chandrasekar | 縮退星、理論 |
| | Fowler | 元素起源、核実験 |
| 1993年 | Hulse-Taylor | 連星パルサー、重力波 |
| 2002年 | Davis | 太陽ニュートリノ |
| | Koshiba | ニュートリノ天文学 |
| | Giacconi | X線天文学 |
| 2006年 | Smoot | COBE |
| | Mather | |

図2 RIBFによって生成可能な不安定核の領域



理論的には、約1万種類の原子核が存在すると予想されている(黄)。RIBFは、約3000種類を超す不安定核を生成できる(ピンク、青、紫)。ウランまでの元素は、超新星爆発によって生成された不安定核の崩壊の過程でできたと考えられている(緑の矢印)が、まだ確かめられていない。RIBFは、その過程を世界で初めて検証する。

宇宙での人間の位置

科学的認識 → 人間の疎外

「特別な存在でない」

「どうでもいい存在」

「人間いなくても宇宙は変わらない」

科学的な宇宙の見方に人間のかけがえない存在であるという
見方を正しく取り戻すにはどうしたらいいのでしょうか？