

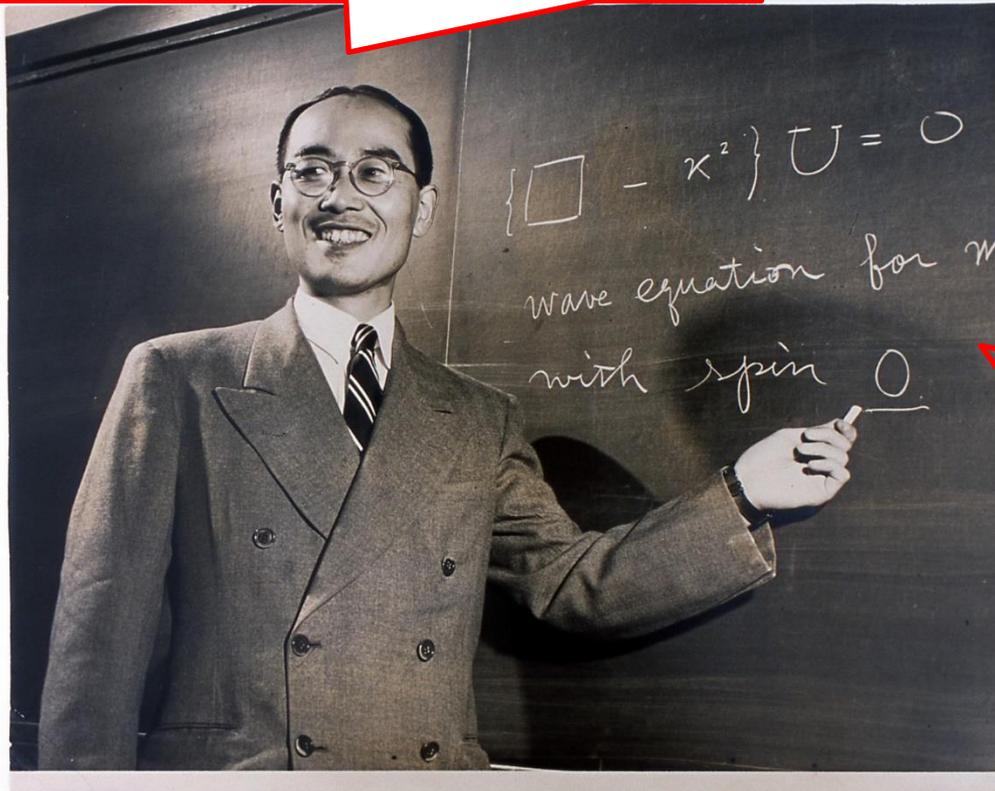
窮理学から湯川へ、 湯川から現代物理へ： 日本の物理学の発展史

早川尚男

(京都大学基礎物理学研究所)

湯川博士の贈り物4 2023-6-18

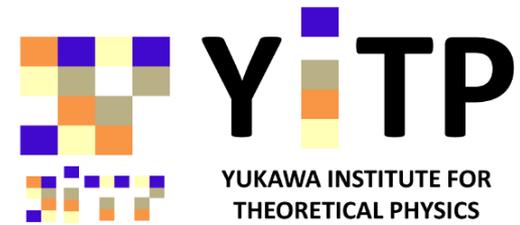
科学史の専門家でもなく、
素粒子論の素人(専門は非平衡物理)ですが、
湯川を中心とした過去の話をしてします。



このシリーズで湯川
の事を良く知っている
先達がこういった話
をしているので憚れ
ますが、よろしく。

©基礎物理学研究所

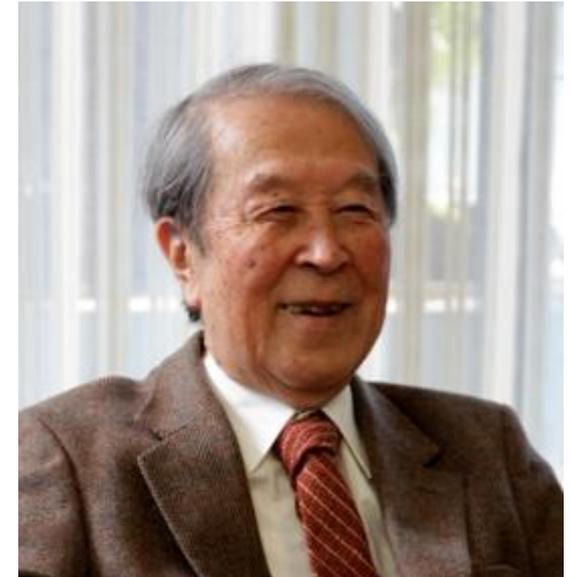
自己紹介



- 1962年2月1日生まれ
- 現在、京大基礎物理学研究所勤務
- 専門は非平衡物理
- 基研の史料室委員会委員長
- 京大全学の【湯川秀樹旧宅整備】動産史資料WG委員長(予定)
 - 表立っては湯川秀樹の事を詳しく知っていないといけない立場だが、そんなことはない。

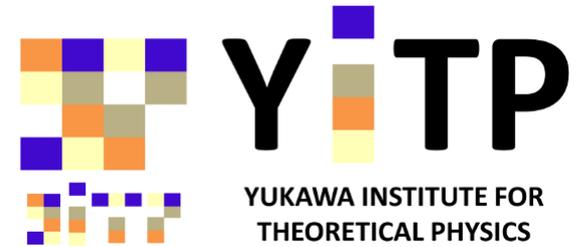
湯川モード

- 南部陽一郎(1921-2015,2008年ノーベル物理学賞):
 - **湯川モード**: 新しい現象(実験)の背後に新粒子あり
 - 帰納的、現象論
 - **ディラックモード**: 美的原理主義=>自然は美しさを選択
 - 演繹的、場の理論
 - **アインシュタインモード**: 対称性、幾何学等の原理主義
 - 演繹的(当初はディラックモードの一部)



1985年8月15-17日、
「中間子論50周年国際会議」
[Y. Nambu, PTP Suppl. 85, 104 \(1985\).](#)

目次



- 窮理学から物理学へ：日本の物理学の始まり
- バトンパス：長岡半太郎と仁科芳雄
- 湯川秀樹
 - 生い立ちから少年時代
 - 三高から京大時代（朝永と共に）
 - 核力理論への道
 - その後の湯川理論
- 積み残したものの

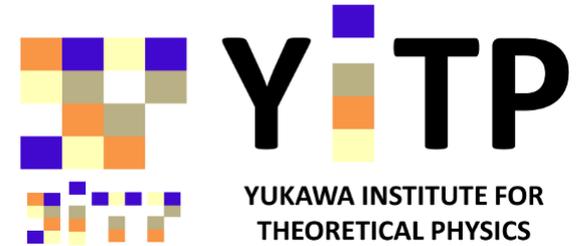
江戸時代～明治中期1885

長岡、仁科 (1885～1945)

湯川・朝永(1930～1981)

積み残したものの (1950～)

目次



- 窮理学から物理学へ：日本の物理学の始まり
 - バトンパス：長岡半太郎と仁科芳雄
 - 湯川秀樹
 - 生い立ちから少年時代
 - 三高から京大時代
 - 核力理論への道
 - その後の湯川理論
 - 積み残したものの

日本の物理のはじまり

- はじまりは、おそらくは内発的なものではなく
キリスト教宣教師がもたらしたもの。
- 江戸時代は**蘭学**を通して少しずつ発展
 - 平賀源内: エレキテル(1776)や温度計(1776)
 - 高野長英: 蘭見漫録(1835)



<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%B9%B3%E8%B3%80%E6%BA%90%E5%86%85>

2人とも非業の死



<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%B9%B3%E8%B3%80%E6%BA%90%E5%86%85>

窮理(きゅうり)学

- そもそも「物理」という言葉は1872年(明治5年)に確定
- それまで儒教に基づく「窮理」あるいは「格物」の方が広く使われていた(出展は「大学」)。
 - 窮理: 事物の存在の理を窮めて認識に達する
 - 格物: 物事の道理を窮めた。 =>物にこだわらず情報や社会物理にも適切で現代的?



窮理学の本の例

- 福澤諭吉「訓蒙窮理図解」(1868)
 - 小学生向けの物理の教科書
 - 翻訳だけでなく日本風に翻案



<https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3514947/47>



東大の設立と外国人教師

- 1877 東大及び理学部物理学科設立。
 - 教授は5人(外国人3+日本人2:山川健次郎等)
- 初期はお雇い外国人教師が支えた
 - 1878年着任のユーイング(James Alfred Ewing)は磁気ヒステリシスに関する研究が有名。日本地震学会設立にも貢献
 - 英国からの若手教授はケルヴィン卿が推薦



https://en.wikipedia.org/wiki/Yamakawa_Kenjir%C5%8D

山川は白虎隊の生き残り
Yale大で学位
東大、九大、京大の総長等歴任
貴族院議員、枢密院顧問等



目次



- 窮理学から物理学へ：日本の物理学の始まり
- **バトンパス：長岡半太郎と仁科芳雄**
- 湯川秀樹
 - 生い立ちから少年時代
 - 三高から京大時代
 - 核力理論への道
 - その後の湯川理論
- 積み残したものの

長岡半太郎(1865-1950)

- 明治～昭和前期に活躍
 - 東大物理学科6期生(1887年卒)
- ユーイングの指導で磁性の実験
- 数理物理、分光学等幅広い分野
- **原子の土星型モデル**(1903)
 - 電子が正電荷の周りを動く
 - トムソンモデルよりラザフォードの実験に近い(しかwiki/Hantaro_Nagaokaし核が思ったより小さい)
 - 電磁放射で不安定
 - 連続スペクトルになって実験と矛盾
- 土星型モデルは長岡が初めての提唱者ではない(ラーモア, 1897, ペラン 1901)
 - ラーモアはルーカス教授職、エーテル理論等で有名
 - ペランは原子の存在を検証(1908)=>ノーベル物理学賞(1926)



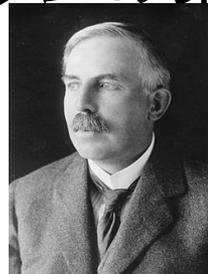
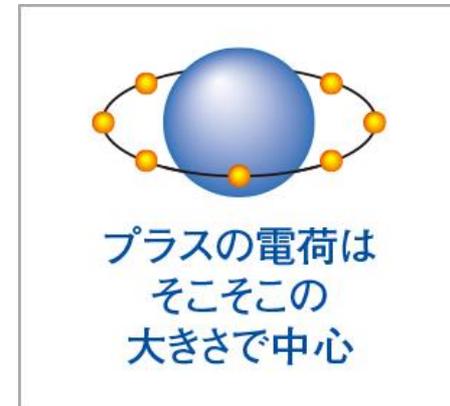
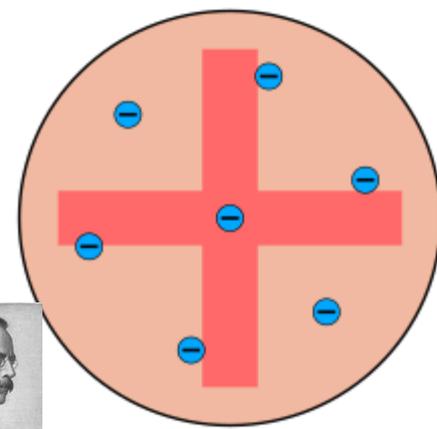
<https://en.wikipedia.org/>

[wiki/Hantaro_Nagaoka](https://en.wikipedia.org/wiki/Hantaro_Nagaoka)

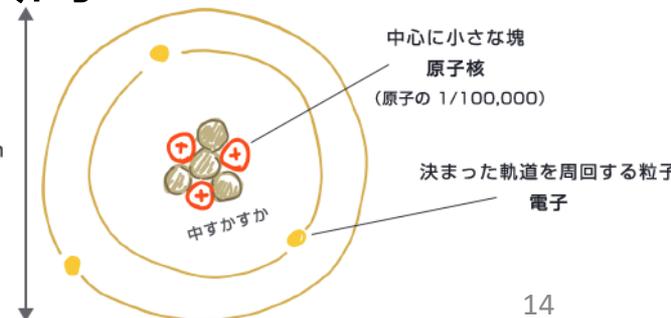


様々なモデル

- プラム・プリンモデル(1904)
 - J.J.トムソン(電子の発見者, 1897)が提唱。
 - 陽電荷の海(プリン)の中に電子(プラム)
 - スイカのイメージ
- 土星モデル
 - 正電荷の核の周りを電子が回る
 - 電波放射=>エネルギーロス=>不安定
- 原子モデル
 - ラザフォード(トムソンの弟子)が実験的に検証(1911)
 - 核が小さい



原子
0.0000000001m
(100億分の1m)



長岡の迷い

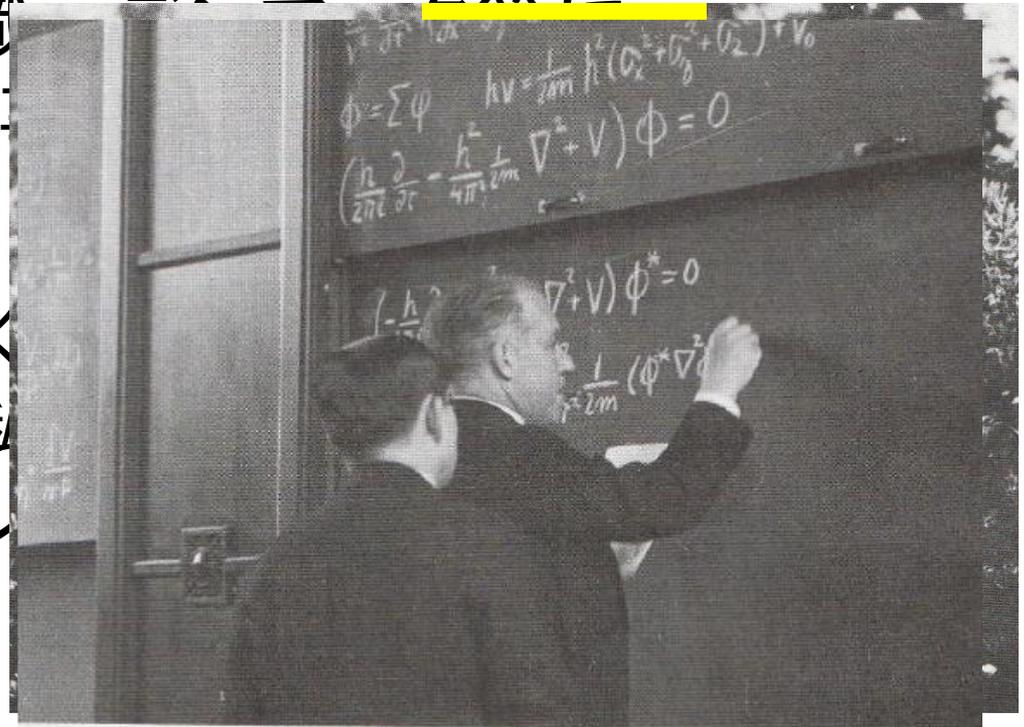
- 長岡は東大理学部在学中に1年休学
 - 日本人が物理を研究することは可能か、という問いに悩む
 - 漢学の道に進むことを検討
 - 中国の科学史を勉強=>(少なくとも昔は)欧米より優れた研究
 - 日本人でも科学を研究する事は可能、という結論
- 戦中は科学行政のトップ
 - 原爆は開発できないと信じていた。

仁科芳雄(1890—1951)

長岡と相談
して理研へ

長岡の紹介

- 工学部電気出身
- 卒業後、理研に就職
留学し、ボースに師事
- 留学中にKlein-Nishina
– Dirac方程式に基づく
• 現在も学部で習う(私)
- 帰国後は理研でサークル
宇宙線の観測



写真は∞(無限大)No.85 1990秋より

目次

- 窮理学から物理学へ：日本の物理学の始まり
- バトンパス：長岡半太郎と仁科芳雄
- **湯川秀樹**
 - 生い立ちから少年時代
 - 三高から京大時代（朝永と共に）
 - 核力理論への道
 - その後の湯川理論
- 積み残したものの

湯川秀樹(1907-81)

- 湯川は小川琢治と小雪の3男と
 - 琢治は紀州藩士の浅井篤の次男
 - 一高在学中に小川駒橋の養子に
 - 東大在学中に駒橋の長女小雪と
 - 京都帝大教授(地質鉱物学): 理論物理学
- 秀才兄弟が有名
 - 長兄: 小川芳樹は東大工学部教授、会長等
 - 次兄: 貝塚茂樹は京大教授、東大教授
 - 次弟: 小川環樹は京大教授、中京大教授
 - 末弟: 小川滋樹(ますき)は戦病で夭折
 - 姉二人(香代子、妙子)



©基礎物理学研究所

秀樹の少年時代

- 東京生まれ京都市育ち
- 5, 6歳の折から祖父駒橋より漢籍の素読を仕込まれる
- はにかみ屋でだんまり
 - 面倒なことは「言わん」で済ます=>小学校でも
 - 不器用: 図画工作や体育は苦手
- 京都府立一中(現洛北高校)に入学
 - 数学に邁進、物理にはそれほど興味がなかった。
- 父琢治は秀樹を専門学校に行かせようかと考えたが=>妻の強い反対と一中校長の森外三郎(そとさぶろう)の高い評価を受けて翻意。



朝永振一郎(1906-1979)
1965年に日本人2人目の
ノーベル賞

©基礎物理学研究所

秀樹(と朝永)の三高入学

- 中学四修で三高に入学
 - 入試成績は162人中8位
 - 同期入学に一中の先輩である**朝永振一郎**
 - 朝永は病気がちで冬季は特に悪く、四修で合格せず、5年次も36位。
 - 朝永は哲学の朝永三十郎(京大教授)の第二子:東京生まれ京都市育ち



朝永

湯川

©基礎物理学研究所

秀樹の三高時代

- 高校時代に数学の興味を失う
 - 一年の立体幾何の前期末試験で注意点
 - 証明は間違っていなかったが、講師の証明法と異なったために三問中一問が零点になっていたため
- 物理は出来た
 - 丸善でF. Reiche “The Quantum Theory” やM. Planck “理論物理学汎論(5巻本:ドイツ語)”等を購入し、熟読
- 堀健夫(朝永の義兄:3年次の力学担当)による成績
 - 朝永は常にほぼ満点、湯川は成績にばらつき(独特な解法)

秀樹と朝永の京大1, 2年(26-28)

- ボルン (湯川)
- クーラン・ヒルベルト「数理物理学の方法」
 - 湯川は初期から、朝永は大3から
- 特殊関数論 (ホイットタッカー・ワトソン)
 - 2人で読む
- 代数 (ファンデルベルデン)
 - 2人+小堀憲の3人で読む
- シュレディンガー論文集(論文出版は26年)
 - 貪り読む

大学3年(28-29)

- 卒業研究は玉城嘉十郎研究室
 - 玉城の専門は相対論、流体力学で量子力学は素人
- 秀樹の卒業論文はディラックの相対論的電子論(28)を純波動力学風に書き換える試み
 - ヘリウムに適用して独自にハートリー近似を思いつく。



卒業小旅行(奈良)

大学卒業後

- 2人とも無給助手として大学に残る
 - 秀樹は結婚して姓が小川から湯川へ(32)
- ハイゼンベルク-パウリ, Z. Phys. 56, 1 (1929)を貪り読む
 - 相対論的場の量子論の定式化 => 反作用によって自己エネルギーが発散
 - 場の理論の深刻な問題=>後年、朝永等によって解決



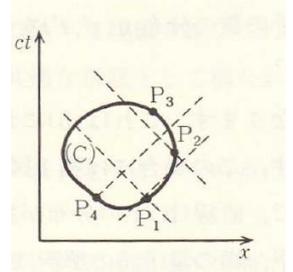
ハイゼンベルク・ディラックの来日

- 仁科の尽力で2人が来日(1929).
- 湯川・朝永は講演会に出席し、刺激を受ける。



写真は∞(無限大)No.85 1990秋より
湯川博士の贈り物

湯川(と朝永)のテーマ



©基礎物理学研究所

• 場の量子論

- 湯川はマルとか素領域とかを考えたが全て失敗
- 朝永のくりこみ理論=>ノーベル賞(1965)
 - シュウインガー、ファインマン.
 - 朝永-シュウインガーとファインマンの同等性を示したダイソンはノーベル賞を取れず
 - 因みにダイソンは、ベータ経由で湯川の発行したProgress of Theoretical Physics を読み朝永の仕事を知った。

• 原子核の安定性

- 正電荷を持つ陽子が集まっている(中性子発見は1932)原子核がなぜ安定か？
- 中間子論ひいては素粒子論につながる

湯川と朝永の京都からの離脱

- 湯川は1932年京大講師
 - 1933年阪大講師（兼任）
 - 1934年阪大専任講師
- 朝永は1932年に理研へ(仁科の招聘)



湯川の阪大時代の同僚

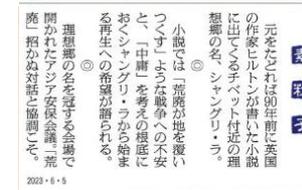
前列：左から山口太三郎、菊池、岡。

後列：左から湯川、渡瀬、熊谷（青木）、伏見、坂田

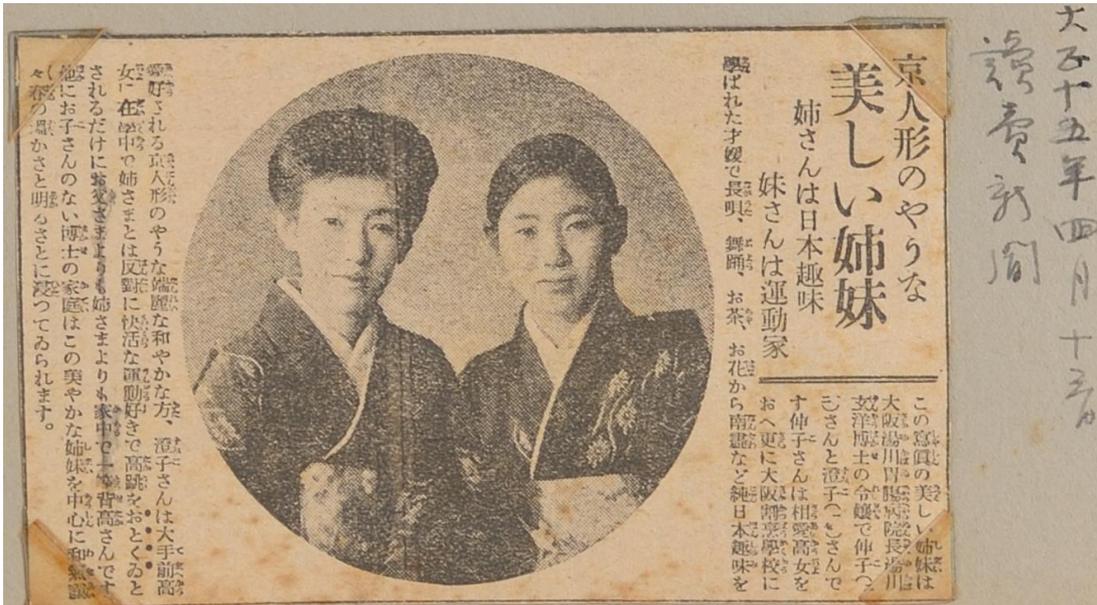
©基礎物理学研究所

湯川の結婚

- 1932年に小川秀樹は湯川スミと川姓を名乗る。



こ湯



©基礎物理学研究所

湯川の核力理論



- 核力には**粒子の交換**が必要
 - 1933年には核内電子の交換で陽子と中性子の交換が起こるのでは？というアイデアを学会で発表
 - 電子、陽子、中性子はフェルミオン(粒子交換で反対称)なので統計が矛盾
 - コンプトン波長で力が減衰する筈と指摘
 - 粒子交換の際に質量があると届く距離は有限

朝永から湯川への手紙

- 朝永が仙台の学会(1933年4月)後に送った手紙
 - シュレディンガー方程式=>湯川ポテンシャルと相互作用距離の推定

$$\frac{d^2 \Phi_{l,j}}{dr^2} + \left[k^2 - \frac{l(l+1)}{r^2} - (-1)^j \frac{M}{\hbar} J(r) \right] \Phi_{l,j}(r) = 0 \quad (*)$$

(*) 式を解ハズ" $\frac{M}{\hbar}$ が... 出て かけた
 Mass absorption coefficient
 (*)の中で $J(r)$ を $\frac{Ac^{-\lambda r}}{r}$ にした かつ 仙台で やり直した

λ は 7×10^{12} (cm⁻¹) 位だろうと 湯川のメモ: 電子の λ として 3×10^{10} (cm⁻¹)

©基礎物理学研究所

八木秀次からの叱責

- 湯川を招聘したのは八木秀次(大阪帝国大理学部長)。
 - 八木は八木・宇田川アンテナの発明が有名
 - 因みに学長は長岡半太郎
- 八木は1934年4月に湯川を呼び出し、論文を書かない湯川を叱責
 - 「朝永を採れば良かった」
 - 湯川はプレッシャーを受ける。



β 崩壊(と逆過程)

- フェルミの β 崩壊 $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$ の理論(1934)
 - 弱すぎる=>弱い相互作用
- 湯川はショックを受ける。
 - 核力へのヒント
 - 坂田昌一との共同研究で β 逆崩壊過程である K 電子捕獲($p + e \rightarrow n + \nu_e$)理論を発表
 - 湯川の2つ目の論文かつ坂田の処女論文
 - 中間子論文と同じ冊子

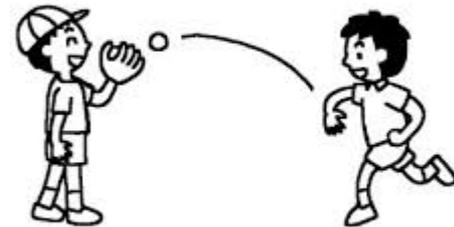
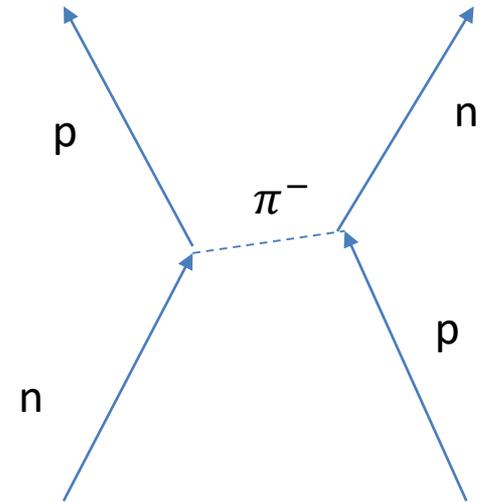


坂田昌一

<https://www.sci.nagoya-u.ac.jp/nobel2008/about/about.html>

中間子論

- 湯川は媒介粒子(π 中間子)が電子の200倍の質量をもつと考えた。
- π 中間子はボソン(交換に对称)
- 冒頭の写真の中の式:
 $(\square - \kappa^2)U = 0$ の解



湯川理論の反響

- 1934年11月の数物学会で発表
 - 反応は乏しかった。(声が小さくて聞こえなかった)
 - 仁科が中間子は宇宙線の中で探すと良いとコメント
- 論文(1935)発表後1年は無反響
- 1936,37年にアンダーソン & ネッダーマイヤーが μ 粒子を発見(36年が発見で37年に確定)
 - 質量が π 粒子と近く、湯川の予言が**世界的に評価**された。
 - しかし μ 粒子は**弱い相互作用**と関係しており誤解だった。

エルンスト・シュトツケルベルク

- 彼は、湯川と独立に核力に中間子(ベクトルボソン)が必要というアイデアを提出(1935)
- しかしパウリに潰されて未出版
 - 湯川がヨーロッパに居たら潰されたただろう。
 - 実際、ボーアが1937年に来日した際「君は新粒子が好きなのか」と否定的コメント

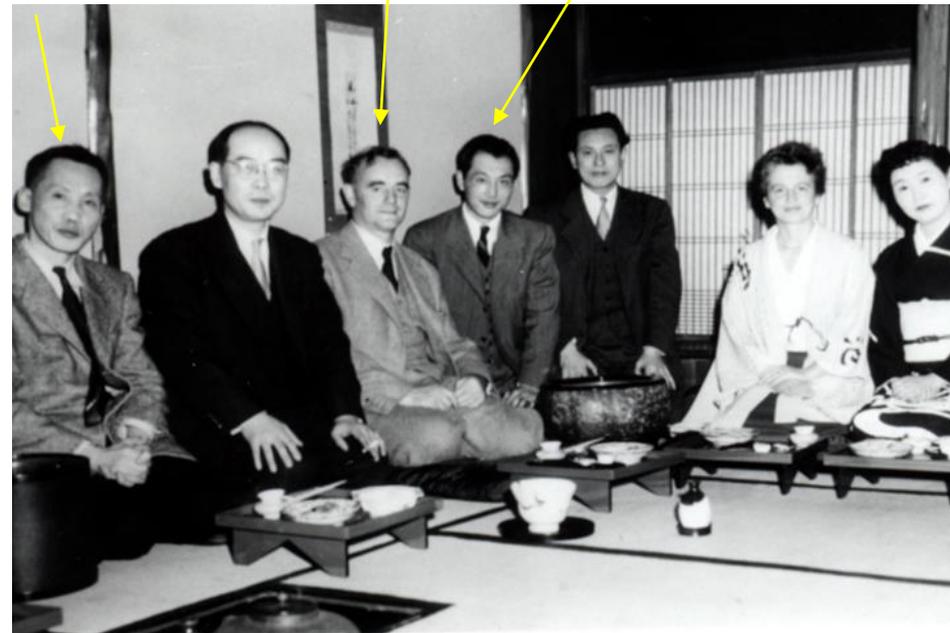


https://en.wikipedia.org/wiki/Ernst_Stueckelberg

湯川理論の受容と評価

- 1939京大教授
- ソルベー会議に招聘(1939)=>渡欧したが中止
- 学士院恩賜賞(1940)
- 文化勲章(1943) 未だに最年少受賞者
- パウエル等が π 粒子を発見(1947)
- プリンストン高等研究所客員教授(48)
- コロンビア大教授(49)
- ノーベル賞(1949)

小林稔 C. F. Powell 早川幸男



©基礎物理学研究所

湯川理論は正しいか？

- 要は正しくなかった
- 湯川論文(I,III,IV)ではベクトル(IIでスカラー)と考
えていたので斥力
 - 擬スカラーと決着したのは1941年(H. Yukawa, Z. Phys.
119, 201 (1942)).
 - 擬スカラーとは回転対称だが空間反転で符号が変わる
 - 例えば、極性ベクトルと角運動量のような軸性ベクトルの内積
- 寿命の問題も大きかった。
 - 1942年に2中間子論(坂田・井上+谷川)でやっと μ 粒子は別物という認識に至る。

湯川の東大移籍話



- 湯川は1942年以來東大教授を兼担
 - 弟子の中村誠太郎を助手として派遣
 - 戦争のため、ほぼ東京には行かなかった
- 1945年6月28日
 - 小谷正雄、西川正治に説得されて、10月に東大(専任)転任を承諾=>行きたくない
- 7月2日
 - 中央線を使って長野経由で京都に戻り、辞退の手紙を送る

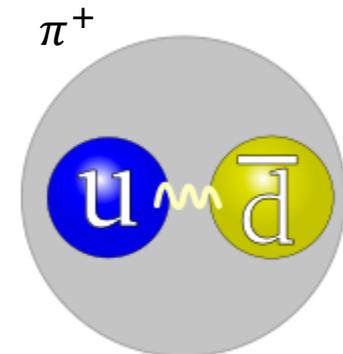
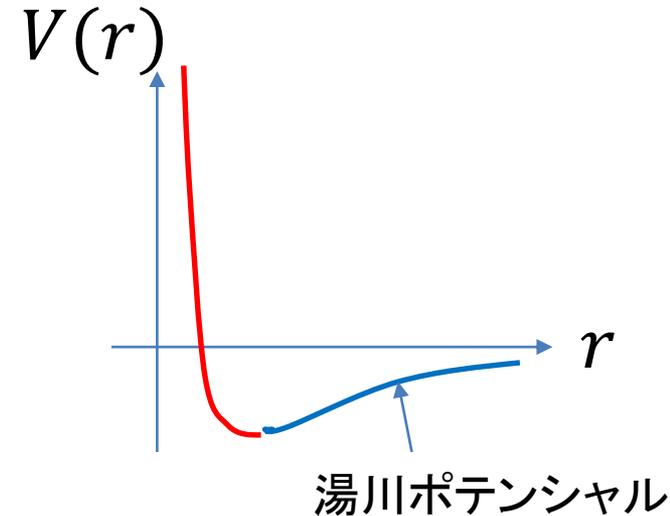
朝永のくりこみ理論

- 湯川が東大に来ないので代わりに朝永(当時:東京文理大)が東大で素粒子論を教えていた。
- 朝永ゼミ(東大では20年卒,21年卒のみ)
 - 木庭二郎、早川幸男、福田博等(20年卒)
 - =>くりこみ理論の完成に活躍、早川は宇宙線
 - 木下東一郎、武田暁(21年卒)
 - それ以外にも南部、山口、藤本、西村等に強い影響(新文献会に参加)
- その成果で、1965年にノーベル賞



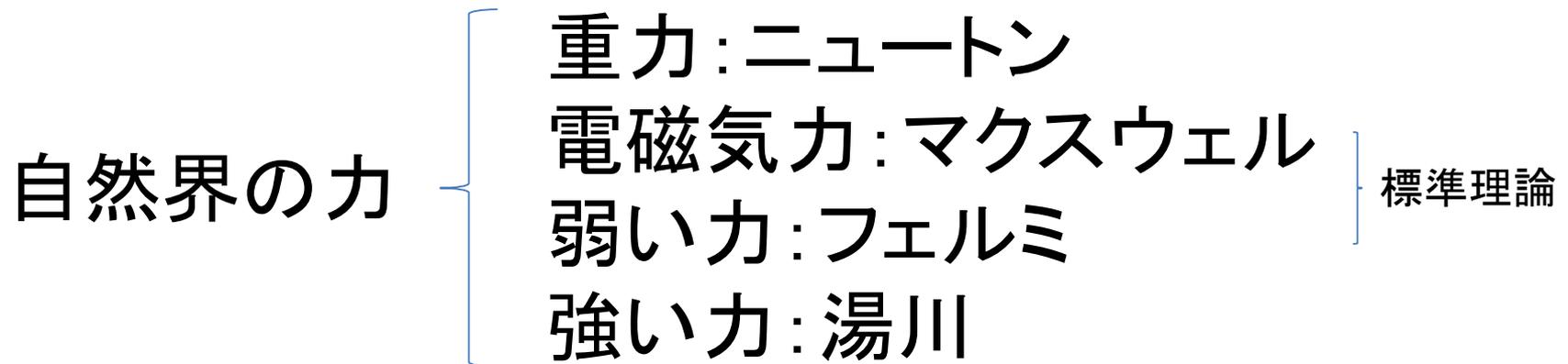
湯川理論のその後

- 湯川は核子間の引力を示したが、
引力だけではやはり不安定
 - コアに斥力が必要
 - コアの起源は難しい
 - 排他率と(クオーク間の相互作用を媒介する)グルーオンの相互作用が原因らしい
 - QCDで計算できた(Ishii-Aoki-Hatsuda, PRL (2007))
- π 粒子($\pi^- = d\bar{u}$)の質量
 - カイラル対称性の破れが質量(南部)
 - 定量的な議論は未だ続いている



<https://en.wikipedia.org/wiki/Pion>

湯川理論の意義



- 素粒子物理学の創始
 - 相互作用は(ボース)粒子が媒介する
 - ゲージボソン

その後の湯川と朝永

- 湯川は1953年に帰国。
 - IUPAP主催の理論物理国際会議をホスト
 - この会議の海外からの参加者は55名。後のノーベル賞受賞者が17名
 - 基礎物理学研究所が発足し、所長
 - PTPの出版(1946～)
 - 物理を研究し続けたが、成功せず。
 - 生物物理を含めて色々な分野をプロモート。
- 朝永
 - 49年に渡米(プリンストン)
 - 在米中に朝永(-ラッティンジャー) 液体理論を定式化
 - 56年に東京教育大学長、63-69は学術会議会長
 - 行政職に就くとすっぱり物理を止めた

帰国後の湯川研

- 南部評「湯川秀樹は湯川モードで研究を進めて成功したが、その後はそのモードを追求しなかった。」
 - 彼はディラックモードに憧れていた？
- 中間子論の後、マルの理論、素領域の理論に戻ったが失敗。
 - 戦後湯川研の素粒子論の成果は疑問
 - 戦後の弟子で仁科賞を取ったのは中西襄のみ
- しかし、湯川研から素粒子論以外の分野で先駆的な研究者を輩出。
 - 数学(荒木)、天体核(林)、生物物理(寺本)、物性物理(恒藤)等

目次

- 窮理学から物理学へ：日本の物理学の始まり
- バトンパス：長岡半太郎と仁科芳雄
- 湯川秀樹
 - 生い立ちから少年時代
 - 三高から京大時代
 - 核力理論への道
 - その後の湯川理論
- **積み残したものの**

積み残したものの

- 朝永-シュウィンガー-ファインマン-ダイソンのくりこみ理論

- Schweber, QED and Men (Princeton Univ. Press, 1992)

- 物性や統計力学の話

- 久保亮五: 私に分野に近い
 - 「平成」の年号の由来を説



- 宇宙物理

- 仁科や朝永(十湯川いた)なのでその先は我

久保亮五の墓(文京区小日向にある曹洞宗日輪寺): 久保公式が彫ってある

<https://xtech.nikkei.com/dm/atcl/column/15/371342/051100005/?P=4>



私の職場（基研）について

- 全国初の共同利用研究所
- 初代教授は4人

- 湯川（所長：素粒子）

- 木庭二郎（素粒子）：

益川敏英（7代目所長、2008年ノーベル賞）

<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/archive/prev/research/forefront/out>

- くりこみの完成 + Koba-Nielsen 等

- 早川幸男（宇宙線=>原子核=>宇宙）

- 林忠四郎を宇宙物理に引き戻す=>天体核

- 松原茂生（物性）

- 温度グリーン関数



<https://dbnst.nii.ac.jp/pro/detail/2845>

林忠四郎と天体核

- 京都出身、東大では南部と同級生
- 戦後、実家のある京都へ帰り湯川研に入門
 - 部屋が一杯だったので宇宙物理教室(荒木俊馬氏の使っていた部屋)に間借り
 - 湯川が外遊中に独学=>元素合成の有名な論文
- 湯川の帰国後、素粒子論に戻ったが不振
- 1955年の基研研究会を契機に天体核物理を創始
 - 林トラック、林フェーズ
 - 星の構造進化
 - 惑星の進化理論(京都モデル)
- 多くの弟子を育てる



NASA 0-68-10,414

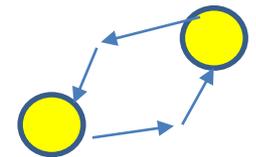
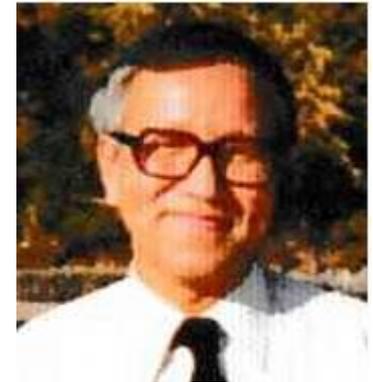
早川幸男(1923-1992)

- 朝永の弟子(S20年組)
- 宇宙線の研究
 - 超新星起源説
- 原子核反応論
- 名大異動後は観測グループを率いる
- 科学行政家
 - 素研準備調査委員会委員長
=>KEK
 - 名大総長、在職中に死亡



川崎恭治と非平衡物理

- 川崎恭治(1930-2011)は久保に続いてボルツマンメダル受賞
 - 基研の元教授
- ビリアル展開(状態方程式の理想気体からのずれ)が密度に対して非正則
 - リング衝突
- 川崎ダイナミクス
 - 合金のモデル。拡散係数に臨界異常はない
- 臨界動力学におけるモード結合理論
 - 久保公式を臨界現象に適用
 - いくつかの遅い変数がカップルして臨界異常が決まる。
- 基研の私のポスト
 - 久保=>蔵本=>池田=>関本=>太田=>早川



参考文献

- 日本物理学会編「日本の物理学史」(1978)
- 湯川秀樹「旅人」(1958)
- 朝永振一郎著作集10「量子電気力学の発展」(1983)
- 自然'81-11 増刊:湯川秀樹博士「人と学問」
- 九後太一「中間子の予言—湯川秀樹生誕百年」(2007)
- 青木、坂東、登谷編「学問の系譜—アインシュタインから湯川・朝永へ—