

素粒子、原子核、宇宙線研究の基礎を築いた
湯川秀樹、朝永振一郎らノーベル賞受賞者たちを育てた

仁科芳雄

Nishina Yoshio
1890-1951

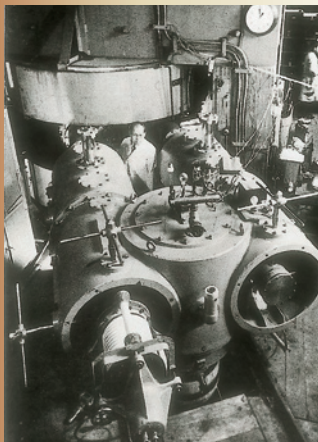
- 1890 岡山県浅口郡新庄浜中（現在の笠岡市里庄町）に生まれる
- 1910 岡山中学を卒業（首席）、第六高等学校工科に入学
- 1914 六高を卒業（首席）、東京帝国大学工科大学電気工学科入学
- 1918 東京帝国大学工科大学電気工学科卒業（首席）、同大学院へ進学。同年、理化学研究所に入所
- 1921 理化学研究所より海外派遣を命じられ、キャベンディッシュ研究所（英国）のE.ラザフォード教授のもとに留学、ついでゲッチンゲン大学に留学
- 1923 コペンハーゲン大学（デンマーク）のN.ボーア教授（量子力学の創始者）のもとに留学。X線分光学の実験を行ないボーア教授の原子構造理論の裏付けを行う。
- 1927 パリに滞在、続いてハンブルグ大学でW.ハバリ教授のもとでLiラビととともにX線吸収の計算を行う。
- 1928 コペンハーゲン大学に戻り、O.クラインとともにコンプトン散乱の計算を行ない、有名なクライン・仁科の公式を導く。年末に帰国、理化学研究所に戻り、日本の各大学で集中講義を行ない量子力学の普及に尽力。
- 1931 理化学研究所主任研究員となり、宇宙線、原子核、素粒子の最先端の研究を行い、理論、実験各分野での研究グループの育成に努める。京都大学で集中講義、湯川秀樹、朝永振一郎、坂田昌一、小林稔らが聴講、彼らに大きな影響を与える。
- 1932 W.ハイゼンベルグ、P.ディラックを招聘。
- 1937 小サイクロトロン（重量23トン）を完成、原子核物理学とその応用研究を行う。N.ボーア教授を日本に招聘。宇宙線中に電子の葉200倍の質量を持つ粒子（ミュー粒子）の検出に成功。
- 1943 大サイクロトロン（重量200トン）を完成、実験を始める。
- 1945 「新型爆弾」が投下された直後の広島、長崎における現地調査を行い「原子爆弾」と断定。進駐軍の誤解により大、小サイクロトロンが東京湾に投棄され大きな痛手を受ける。
- 1946 文化勲章を受章
- 1948 理化学研究所の解体にともない株式会社科学研究所（現在の科研製薬）を設立。社長に就任しベニシリンの国産に指導的役割を果たすとともに研究の継続と経営に尽力する。
- 1949 日本学術会議副会長に就任
- 1951 逝去



1950年7月頃、湯川秀樹博士のノーベル受賞を祝って、湯川秀樹博士は「狭人—ある物理学者の回想」の中で、「人見知りの激しい私も、仁科先生にだけは、何でも言いやすかった。自分の生みの父親の中にさえ見出すことのできなかった「慈父」の姿を、仁科先生の中に認めたのかも知れない」と書き、また「私の孤独な心、閉ざされた心は、仁科先生によってはぐれ始めたのであった」と書いています。

写真提供(上)(下)：仁科記念財団

我国における量子力学の普及、宇宙線の研究 初のサイクロトロン建設による原子核研究など多くの功績



大サイクロトロン
写真・図版提供(すべて): 仁科記念財団



第2次世界大戦以後、仁科が放射性同位元素の輸入を申請したのに対して、後の日本物理学会名誉会員Harry C.Kelly博士の尽力により米国哲学会(American Philosophical Society)より寄贈されたアイソトープの核種¹²⁵Sbが理化学研究所に送られてきたもの、仁科は、アイソトープの第1号(1950年4月10日)とその送り状を蔵んでいる。日本でのRI利用の始まりとなった。(日本アイソトープ協会30年史より)



仁科がヨーロッパから理研に帰任してまもなく、1935年前後の田理研3号館の実験室の様子と思われる。

1943年、湯川秀樹博士の文化勲章受賞時のもの、仁科芳雄の実験室で、なんと背景の装置はミュオンを測定した露箱装置である。

仁科芳雄は、理化学研究所からニールス・ボーアのもとで研究、O.クラインとともに光の電子による散乱(コンプトン散乱)を記述するクライン-仁科の公式を導く。帰国後京都大学、北海道大学などで集中講義を行い、日本における量子力学の普及に尽力。理論物理学、原子核研究、宇宙線研究において有力な学派を育てる。理論物理学では湯川秀樹、朝永振一郎らのノーベル賞受賞者たちを育て上げるとともに、原子核研究ではサイクロトロン建設による実験的研究で業績をあげた。また門人らと行った宇宙線の研究でミュー粒子を発見した。これはC.アンダーソンの発見(1936年ノーベル賞)とほぼ同時期に、独立になされた。1946年文化勲章を受章。「日本の近代物理学の父」とも呼ばれている。1955年、門弟朝永振一郎らにより仁科記念財団が設立された。



磁場を使った宇宙線検出用露箱装置メソトロン



中間子理論は素粒子研究の一大エポックだった
日本人初のノーベル賞受賞

湯川秀樹

Yukawa Hideki

1907-1981

写真: <http://th.physik.uni-frankfurt.de/>

- 1907 東京市麻布区(現在の港区)に地理学者、小川琢司の三男として生まれる。翌年、父親の転勤(京都帝国大学教授)で京都に移住
- 1926 第三高等学校卒業
- 1929 京都帝国大学理学部物理学科卒業。同大学無給助手(玉城嘉十郎研究室)
- 1932 湯川家の婿養子となり、小川姓から湯川姓へ。京都帝国大学講師
- 1933 大阪帝国大学理学部講師
- 1935 論文「素粒子の相互作用について」を発表。中間子の存在を预言
- 1936 大阪帝国大学理学部助教授
- 1939 京都帝国大学教授。ソルヴェイ会議に出席すべく渡欧したが、第二次世界大戦勃発のため帰国
- 1940 帝国学士院恩賜賞
- 1943 文化勲章受章(最年少受章)
- 1948 プリンストン高等学術研究所客員教授
- 1949 ノーベル物理学賞(日本人初。中間子理論)
- 1950 コロンビア大学客員教授
- 1953 京都大学基礎物理学研究所初代所長
- 1955 日本物理学会会長。ラッセル-アインシュタイン宣言に署名
- 1957 第1回バグウォッシュ会議出席
- 1970 同大学定年退官。京都大学名誉教授
- 1977 勲一等旭日大綬章受章
- 1981 逝去

原子核の構成要素である陽子と中性子の間に働く力(核力)の源として、未知のパイ中間子を预言(中間子論)。後年実験により実証され1949年日本人初のノーベル物理学賞に輝く。朝永振一郎とともに日本の理論物理学の発展に指導的役割を果たす。第2次世界大戦での原爆投下とその後の水爆の開発に対して科学者の社会的責任を感じA.アインシュタイン、B.ラッセルらと核兵器の廃絶、戦争の絶滅を終生訴え続けた。

「くりこみ理論」で量子電磁力学に大きな功績
日本で二番目のノーベル賞

朝永振一郎

Tomonaga Shinichirou

1906-1979

写真: <http://th.physik.uni-frankfurt.de/>

- 1906 東京市小石川区（現在の文京区）に朝永三十郎（西洋哲学者）の長男として生まれる
- 1913 父親が京都帝国大学教授に就任、一家で京都に転居
- 1926 第三高等学校卒業。湯川秀樹と同期卒業
- 1929 京都帝国大学理学部物理学科卒業。湯川とともに同大学無給副手に
- 1931 仁科芳雄の誘いで理化学研究所の仁科研究室研究員に着任
- 1937 ライプツヒ大学（ドイツ）に留学、W.ハイゼンベルグのもとで原子核理論を研究
- 1939 第二次世界大戦勃発により帰国。留学中の研究を論文としてまとめ理学博士（東京大学）
- 1941 東京文理科大学（東京教育大学の前身、後の筑波大学）教授
- 1943 超多時間理論を発表
- 1948 小谷正雄とともに日本学士院賞受賞（マグネトロンが発振機構の解明、極超短波の立体回路の理論研究）
- 1949 東京教育大学教授。プリンストン高等科学研究所に滞在、原子核の集団運動の理論の研究を行う
- 1952 文化勲章受章
- 1955 東京大学原子核研究所を設立
- 1956 東京教育大学長（～1961年）
- 1957 第1回バグウォッシュ会議出席
- 1963 日本学術会議会長（～1969年）
- 1965 ノーベル物理学賞受賞（くりこみ理論）
- 1976 勲一等旭日大綬章受章
- 1979 逝去

第三高等学校、京都帝国大学を通じて湯川秀樹と同期。湯川とともに京都帝国大学の無給副手のとき集中講義に來た理化学研究所の仁科芳雄に感銘、仁科の招きにより理化学研究所の仁科研究室に移る。

量子電磁力学において無限大に発散する物理量の困難を避けるくりこみ理論を完成させた。この功績によりJ.S.シュウィンガー、R.P.ファインマンとともにノーベル物理学賞を受賞（1965年）。核兵器廃絶を目指す科学者の運動に加わり、湯川秀樹、小川岩雄とともに第1回バグウォッシュ会議に出席、日本のバグウォッシュ・グループの設立に力を注いだ。

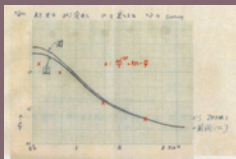
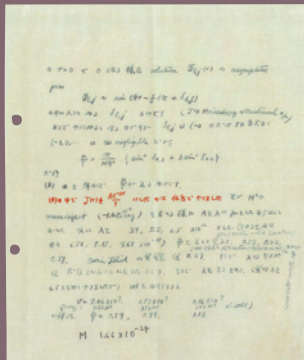
湯川と朝永、パイ中間子誕生秘話

1932年、中性子が発見され、原子核は陽子と中性子から作られていることがわかったが、これらを固く結びつけている力、「核力」の正体は何かが大問題であった。ハイゼンベルグは陽子と中性子が電子を中立ちとして力を及ぼし合うと考えた。湯川もこの仮説をもとに検討していたが、実験結果をうまく説明できず悩みに悩んでいた。

1933年4月、日本数学物理学会が東北大学で開かれた。湯川は東北大学のグラウンドで地面を黒板代わりに朝永に語った。「ハイゼンベルグの考えでは実験を説明できないが、これに代わるうまい説明が見つからない。実は核力を担う粒子の質量を調べると電子の100倍も重い「けったいな粒子」が出てくる」。翌日、湯川はこの問題を抱えたまま「核内電子の問題に対する一考察」と題して発表を行った。これに対し仁科芳雄は、「ボーズ粒子のような電子を考えたらどうですか」と提案し湯川を励ました。

翌月、朝永は湯川に手紙を書く。その中で今日核力を表わす湯川の式 $\frac{1}{4}e^{2f}$ が出てくる。この λ の物理的意味について朝永は触れていない。湯川は λ がまさに核力を担う新粒子の到達距離の逆数を表わしており、その粒子は電子の約200倍の重さを持たねばならないとの結論に至る。

湯川の新粒子仮説は当初国内外でほとんど無視されたが、その後宇宙線の中に予言に近い質量の粒子が発見され一躍脚光を浴びることになった。最終的には1947年、パウエルにより発見されパイ中間子と名付けられた。長岡半太郎は、満を持して湯川をノーベル賞に推薦し、1949年湯川は日本人初のノーベル賞に輝いたのである。



手紙にある中性子の吸収数についての朝永の計算結果。グラフ中に $\Delta \mu^{\text{ex}}$ = 対スル μ / ρ (質量吸収係数のこと) の文字が見える。

「(*) の中で $M(0)$ にしたのは仙台でやりました。」とある。朝永は仙台での湯川との議論の後、ハイゼンベルグの仮説に基づいて質量吸収係数を計算したのである。相互作用エネルギーを表わす $M(0)$ に、まさに後に湯川ポテンシャルと呼ばれるこの式が登場していることが注目される。グラフに計算結果 (×印) が示されている。朝永はこの結果を実験値と比較して、電子を核力の担い手とするハイゼンベルグの仮説に問題があることを指摘した。

日本の素粒子研究をリード

「坂田模型」は世界のクォーク模型の原初となった

坂田昌一

Sakata Shouchi

1911-1970

写真提供：理化学研究所

- 1911 東京に生まれる
- 1933 京都帝国大学理学部物理学科卒業。理化学研究所の仁科研究室に入り、朝永振一郎の指導を受ける
- 1934 大阪帝国大学理学部助手（湯川研究室）。以後、湯川の共同研究者として原子核のK軌道電子捕獲の理論を発表（1935年）、中間子第2論文（1937年）、第3、第4論文（1938年）の発表に貢献
- 1939 京都帝国大学講師
- 1942 谷川安孝らと二中間子論を提唱（後年、C.パウエルらによる宇宙線の実験で確証され、湯川の中間子論を決定づけた）。名古屋帝国大学教授。中間子討論会の指導的研究者として活躍
- 1946 朝永のくりこみ理論のさきがけとなったC中間子仮説を提唱
- 1950 日本学士院恩賜賞受賞（二中間子論）
- 1955 素粒子の複合模型「坂田模型」を発表。後年、M.ゲルマンとG.ツヴァイクの提唱するクォーク模型（1964年）の原初となる
- 1962 湯川、朝永とともに日本版バグウォッシュ会議を提唱し、科学者の平和に対する責任を訴える
- 1964 北京科学シンポジウム日本代表団長
- 1970 骨髄腫により逝去

「2中間子論」、「坂田模型」など素粒子模型の提唱により、湯川秀樹、朝永振一郎とともに日本の素粒子論をリードした。日本学術会議会員として原子力の平和利用、科学研究の将来計画の策定などに貢献。さらに朝永とともに湯川に協力して核兵器廃絶と世界平和の確立を目指す科学者の運動を推進し、原水爆禁止の運動を積極的に支持した。

アメリカ在住で素粒子研究に

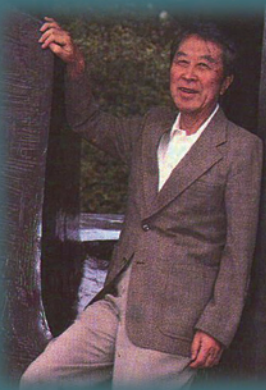
理論物理学の発展をリードする世界的存在

南部陽一郎

Nambu Youichirou

1919-

一郎



写真： <http://th.physik.uni-frankfurt.de/>

1919年、福井県に生まれる。福井中学（現、福井県立藤島高等学校）、第一高等学校を経て、1942年東京帝国大学理学部物理学科を卒業。兵役に服した後、1946年、東京大学副手。1949年、新設された大阪市立大学へ移り助教授、翌年教授。1952年、プリンストン高等研究所、1956年シカゴ大学助教授、1958年同大学教授。

1960年代、超電導体のアナロジーによる素粒子の力学模型を発表、対称性の自発的破れの概念を導入し、その後の素粒子論の発展に極めて重要な貢献をした。また量子色力学の先駆けとなるクォーク模型を提案した。さらに素粒子のひもの理論（弦理論）を提唱、クォークの閉じこめや磁気単極子、量子色力学などとの関連で注目を浴びている。

1978年文化勲章受章（理論物理学）。1980年シカゴ大学特別教授。1982年アメリカ国家科学賞受賞。

小林・益川理論

全ての素粒子は、それぞれが反粒子と呼ばれるパートナーを持っている。粒子と反粒子は電荷の符号が逆であるということ以外は、極めて似通った性質を持っている。例えば粒子と反粒子の質量や寿命は、完全に一致することが知られている。

しかし、粒子と反粒子の性質の間には、極めて小さいけれども確かに微妙な差異があることが分かって来た。これを素粒子物理学の言葉ではCPの破れと呼ぶ。CPの破れの兆候は、まず1964年に中性K中間子という粒子の崩壊過程で観測された。それ以来、CPの破れがどのような理論で説明されるかを理解することは、素粒子物理学の大きなテーマのひとつであり続けて来た。

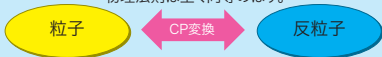
1973年、京都大学助手の小林誠（現、高エネルギー加速器研究機構名誉教授）と益川敏英（現、京都産業大学教授）は、6種類のクォークが存在すれば、素粒子の標準理論の枠内でCPの破れが説明できる事を指摘した。二人がこの理論（小林・益川理論）を発表した当時、クォークはまだ3種類（u,d,s）しか発見されていなかった。

しかしその後、残り3つのクォーク（c,b,t）が発見されると共に、小林・益川理論の予言がKEK（高エネルギー加速器研究機構）やSLAC（スタンフォード線形加速器センター）のBファクトリー実験によって極めて高い精度で検証されるに至った（Belle（ベレ）実験のコーナーに詳しい説明があります）。そのため、現在では小林・益川理論は自然界のCPの破れを説明するもっとも確からしい理論として、多くの素粒子物理学研究者に受け入れられている。

益川
小林
敏誠
英

Kobayashi Makoto
Matsukawa Toshihide
1944-
1940-

粒子を反粒子に置き換え、鏡の世界に移ると（CP変換という）、物理法則は全く同等のはず。



K中間子と反K中間子の崩壊で
わずかな違いが見つかる（1964）！

小林・益川理論

この違いを説明するには6個のクォークが必要。
（当時クォークは3個しか知られてなかった。）

20年後、残りの3個がすべて見つかる！

我々の宇宙では、通常の粒子（陽子・電子など）に比べてそれらの反粒子（反陽子・陽電子など）の数は圧倒的に少ないことが分かっています。これを、宇宙論における粒子・反粒子の非対称性問題と言います。

宇宙が生まれてから現在に至るまでのどの時期に、この粒子・反粒子間の非対称性が作られたかということは、宇宙の進化を考える上で未だ解明されていない大きな問題です。

A pie chart illustrating the composition of the universe. The chart is divided into three segments: a large blue segment representing Dark Energy (73%), a green segment representing Dark Matter (23%), and a small orange segment representing Baryons (4%). The labels are in Japanese: 暗黒エネルギー (73%), 暗黒物質 (23%), and バリオン (4%).

成分	割合
暗黒エネルギー	73%
暗黒物質	23%
バリオン	4%

1978年、東北大学の吉村太彦は、素粒子の「大統一模型」に基づいた宇宙の進化を考えると、この粒子・反粒子間の非対称性を作ることが出来ることを指摘しました。

大統一模型には、粒子にも反粒子にも崩壊できる素粒子(「X粒子」と呼ばれる)が存在します。吉村のアイデアは、このX粒子は宇宙の初期(極めて宇宙が熱かった時期)には数多く存在したはずだという考察に基づいています。

X粒子が反粒子(反陽子・陽電子など)に崩壊する確率よりも粒子(陽子・電子など)に崩壊する確率が大いとなると、現在の宇宙には粒子の方がたくさんあると言う事実を理解することができるのです。

未知の
重いニュートリノ (右巻き)

知られている
ニュートリノ
(左巻き)

クォーク
荷電レプトン

ニュートリノ

Masses of Quarks and leptons (GeV)

10⁴
10³
10²
10¹
10⁰
10⁻¹
10⁻²
10⁻³
10⁻⁴
10⁻⁵
10⁻⁶
10⁻⁷
10⁻⁸
10⁻⁹
10⁻¹⁰
10⁻¹¹
10⁻¹²
10⁻¹³
10⁻¹⁴

素粒子の標準模型に含まれる粒子の中で、ニュートリノはその質量が（他の素粒子に比べると）極めて小さいと言う特徴があります。

たとえば、もっとも重いクォークであるトップクォークと比べると、ニュートリノの質量は $1/100000000000000$ くらいです。これは、人間の体重と細胞1個の重さの比くらいです。

ニュートリノのもつこの極めて特殊な性質を理解するため、東北大学の柳田勉（現、東京大学教授）は1979年、我々の知っているニュートリノの他に「右巻きニュートリノ」と呼ばれる未知のニュートリノの存在を仮定すると、ニュートリノの質量の謎が説明出来ることを指摘しました。

この模型では、極めて重い「右巻きニュートリノ」によってニュートリノ質量が軽くなることから、シーソー模型と呼ばれています。