

日米の原爆製造計画の概要

福井 崇時

名古屋大学大学院理学研究科

2007.2.21. 2007.3.7.追加修正

1. はじめに

今回の戦争での原爆開発研究について日本国及び日本政府の正式記録は存在しません。ドキュメンタリー作家の記事や軍人達の回想などは、いくつか刊行されていますが、記述が不正確なものもあります。若い世代の原子核研究者が、半世紀と10年前に日米の科学者と軍人が核分裂利用に向って何をしていたかという科学史の1ページを知ってもらう為にその概略を記述します。

保阪正康氏が雑誌「現代」昭和57(1982)年5月号に「戦時秘話『原子爆弾完成を急げ』」を書いています。記述はあまり正確ではありません。昭和63(1988)年刊行の読売新聞社編『昭和史の天皇 ー原爆投下ー』は、より正確で、科学史資料として正式記録に匹敵すると科学史学会が認めています。自称日本のグローヴス、鈴木辰三郎陸軍大佐による『ニッポン製原子爆弾の全貌』「丸」潮書房、エキストラ「戦史の旅」平成9(1997)年11月号は当事者の回想記述なので真相の一端が窺えます。同じく軍人の山本洋一陸軍技術少佐(日大教授、工学博士)による『日本製原爆の真相』「創造」昭和51(1976)年8月15日発行には、陸軍軍人のウラン核分裂についてお粗末な知識の度合いが判る公文書や戦争遂行への真剣度欠除を示す挿話が多々記述されていて、最後に山本氏は自虐的に反省とも非難ともつかぬ言葉を残しています。”軍人も科学者も道義を失ってしまっていた。当然の敗北である。これに比し米軍捕虜の行動は称讃される”と。

海軍での原爆研究関連については、殆どが関係した個人の回想録に記述されている程度以上の記録はありません。今回、資料として参考にした回想録を以下に列挙します。

- 1) 高尾徹也：「高尾徹也遺稿」『原子爆弾の話』(1990年12月15日)
- 2) 千藤三千造：『千藤三千造 回顧60年』昭和41年10月1日
千藤先生回顧録出版記念祝賀会「海軍時代」の一部 頁72-107, 146-153.
に原爆関係の記述がある。
- 3) 伊藤庸二、千藤三千造：『機密兵器の全貌』志賀富士男編集 東京 原書房
昭和51年(興洋社 昭和27年刊の複製)
第二部 (伊藤庸二) 第四節 頁160-173.
第二部 火薬の発達と原子爆弾の研究(千藤三千造)
第九章 爆薬の行き詰りと原子爆弾 頁302-307.
- 4) 三井再男：『原子爆弾こぼれ話』

水交 No.327 号 昭和 60 年 8 月号 頁 34-36.

5) 北里又郎：『「談話室」記事に対する反響—海軍と原子爆弾—』

水交 No.518 号 平成 10 年 5 月号 頁 30-31.

2. 日本の原爆開発研究

上記の資料に基づき、陸軍と海軍との原爆開発研究への取り組みを年表としてまとめます。

2.1 陸軍の実行計画

昭和 15 年

軍の命令で東大理物理へ派遣されていた鈴木辰三郎は嵯峨根亮吉の指導で 3 月に卒業した後、陸軍航空技術研究所に勤務する。所長の安田武雄中將が鈴木に「ウラン核分裂の軍事利用調査」を命じた。鈴木は嵯峨根及び仁科の教示を受け簡単な報告書作成した。安田所長は仁科を援助する方針を決める。

昭和 16 年

仁科は研究費として 2 万円申請、これを 20 万円にしてサイクロトロン運転援助資金とする。安田は仁科に原爆開発研究調査を正式に依頼する。仁科は玉木英彦に同調査を担当させる。理研からの報告書には、総合意見として「核分裂計算結果は核兵器出現の可能性が相当あり」と記述されている。

昭和 17 年末頃

理研からの報告を鈴木は安田本部長に提出した。

安田の決定：

理研仁科の研究を「軍事機密研究二号研究」とし、航空本部直轄とする
仁科研究室の対応

玉木英彦：分離装置設計と基礎計算

木越邦彦：六フッ化ウラン製造

竹内 柁：熱拡散分離筒製作し同位体を分離

飯盛研究室：ウラン資源調査及びウラン精製

昭和 19 年はじめ

鈴木辰三郎への命令：「陸軍航空本部員に補し理化学研究所仁科研究室へ派遣」

鈴木少佐他中尉 7 名少尉 4 名理研へ、経費 300 万円

昭和 19 年春

六義園を将校宿舎に借り上げ、理研へ研究費 2000 万円支給

鈴木辰三郎は目黒海軍技術研究所の菊池正士教授を訪ね濃縮ウラン製造のため

阪大菊池研究室の一部借用許可を願う。

装置製作、運転は鈴木が担当

分離筒製作は住友鋼管の池島俣雄博士に依頼 6 本製作

尼崎住友鋼管研究所にも分離筒設置。

(注：住友鋼管製作の6本から3本が阪大理学部へ、残りは住友鋼管。この時が阪大分室の始まり。分離筒の構造は不明。なお分離筒については後述する)

昭和19年7月20日

竹内、分離筒へUF₆ガス注入開始。

昭和20年1月

竹内、分離筒よりガスサンプル採取 山崎文男、U-235濃縮度をサイクロトロンによる放射化法で調べた。

3月

U-235濃縮は認められず、分離は不成功と結論。

3月13日

大阪市、焼夷弾爆撃を受ける。阪大理学部は焼失を免れるが、電気、ガス、水道の供給が断続的となる。この状況は敗戦後まで変わらなかった。

4月14日

東京都、焼夷弾爆撃を受ける。理研49号館が焼失、分離筒も破壊された。

5月末

仁科は鈴木辰三郎に研究中止を宣言。

8月15日

敗戦。数日後、阪大の分離筒3本は筑前橋より土佐堀川へ沈められた。

2.2 海軍の実行計画

昭和17年7月8日

海軍技術研究所伊藤庸二少将の主唱で、原爆開発を目的として物理懇談会を発足。麻布狸穴水交社に集まる。会の名称を核物理応用研究委員会とする。海軍から伊藤少将と水間正一郎技官が出席。

委員長は、仁科芳雄。委員は、長岡半太郎、西川正治、水島三一郎、浅田常三郎、菊池正士の各氏。後に、嵯峨根遼吉、日野寿一、渡辺寧が加わった。昭和18年3月6日までの間十数回の研究会を開催した。

結論は

- (a) 原子爆弾は明らかにできるはず。
- (b) 米英両国は今次戦争に間に合わせ得るや否や、恐らく実現困難ならん。
- (c) 日本には原鉱石はない。
- (d) 強力電波は原子爆弾より実現性が高い。

かくして、3月6日にて懇談会の幕を閉じた。

三井再男の記録によれば、海軍は昭和17年に京大・荒勝文策教授にサイクロトロン建設援助と核物理研究を依頼し、研究費60万円を支給。

昭和19年10月4日

坂田昌一のメモによれば、大阪水交社にて「ウラニウム問題懇談会」の第

一回会合を開催。出席者は川村宏矣海軍大佐（海軍航空本部出仕）、三井再男海軍大佐（艦政本部部員）、黒瀬清海軍技術大尉（海軍航空本部出仕）、四手井海軍航空廠員、岡田辰三（京大工）、荒勝文策、湯川秀樹、佐々木申二、木村毅一、小林稔（京大理）、萩原篤太郎（化研）、千谷利三、奥田毅（阪大理）、坂田昌一（名大理）。

ウラン同位元素分離には荒勝教授は遠心分離法を採用する計画を発表。

核分裂連鎖反応の可能性について湯川教授が報告された。

昭和 20 年 7 月 21 日

琵琶湖ホテルに於いて京大と海軍の打ち合わせ会合。海軍技術科学研究所黒田麗中将ほか 2 名、荒勝分策、湯川秀樹、木村毅一、小林稔、坂田昌一、奥田毅が出席した。

結論 「原爆製造は原理的には可能、現実には無理」

この集まりが最後の会合であった。

2.3 これらの計画の記録

これらの計画と理研にて行った作業については、科学史学会により編纂された次の二つの刊行物に記録があります。

- 1) 日本科学史学会編：『日本科学技術史大系・全 25 巻』第一法規出版（1970 年 1 月）第 13 巻 物理科学 第 10 章 物理学における戦争の投影。理研の竹内証氏が分離筒を製作し稼動した記録は“始終苦号館の記”として、この章の頁 445-447 に氏の当時のノートの写しがあります。
- 2) 中山茂・後藤邦夫・吉岡斉 編集：『「通史」日本の科学技術 第 1 巻 1 「占領期」1945-1952』学陽書房 1995 年 6 月 20 日（初版）

2.4 分離筒について

同位元素を分離する手段として気体或いは液体の熱拡散 Thermal Diffusion を利用する方法がドイツ、ミュンヘン大学物理化学教室の CLUSIUS と DICKEL が考案しました。その装置は鉛直に立てた長さ数メートル、直径数センチの硝子円筒で、筒の中心軸にヒーター線を張り高温とし、筒の外側を冷却します。円筒内に分離すべき気体 1 気圧を入れ、数時間から数日稼動すると、質量による拡散速度の差に対流の動きが加わって、軽い分子、または軽い同位元素は上部に、重い方は下部に溜まって来て分離できます。理研が採用した方法は、銅管の同心二重円筒（間隔を数ミリ乃至数センチ）の内管にはヒーターを入れ、外管の外側に冷却水を通す管を取り付けた構造でした[1]。

“分離筒”という同じ言葉で表現されるが全く異なった方法があります。多数の細孔構造の金属等の一方から気体または液体を通すと軽い分子、原子、或いは同位元素は、重いものより早く通ります。この方法で米国では U-235 を分離しました。これがクロマトグラフの原理です。

2.4.1 阪大菊池研究室での実験

阪大菊池研究室の武田栄一が中心となって、長さ 2.5 m、直径 10.5 mm のガラス管の管軸に直径 0.3 mm の白金線を張り、ガラス管の外側に水冷用のガラス管を取り付けた分離筒を製作しました。この分離筒 3 本を連結し真空排気した後、塩化水素ガス 1 気圧 7 リットルを入れて 9 日間連続加熱稼動すると、分離筒下部には同位元素 Cl^{37} を 44% 含むガスが溜まり、上部のガスには Cl^{37} が 8% 含まれる分離に成功しました(Cl の同位元素比 $\text{Cl}^{35}/\text{Cl}^{37}$ は 75.77/24.23) [2]。研究に参加したメンバーは、赤堀英彦、伏見康治、伊藤順吉、菊池正士、小林稔、国府雄次郎、百田光雄 (テルオ)、長岡半太郎、岡崎庶兄 (モロエ)、末広巖夫、武田栄一、武谷三男、内山龍雄 (タツオ、後にはリョウユウ)、若槻哲雄、渡瀬譲、山口省太郎 (セイタロウ)、湯川玄之助の各氏です。

2.4.2 理研仁科研究室が採用した分離筒

肉厚 2 mm、外径 36 mm、長さ 約 5 m (実効長 4.91 m) の銅管の下端に、厚さ 7 mm の真鍮板を内ら側から銀鑑流し込みで溶接し、銅管内にニクロム線ヒーターを入れ、高熱部とします。この管の外径より 2 mm 太い内径 40 mm、肉厚 2 mm、長さ 4.9 m の銅管の下部にガス溜、真空排気孔等の工作をし、先の高熱部となる銅管を挿入し真空止めとガス溜の細工を施します。この全体を冷却水を流す太い鉄管に挿入したものを 1 本の分離筒として、直立状態に設置しました。

いくつかの難点がありました。2 本の銅管が彎曲していないか？ 内管が高温となった時、変形しないか？ 2 mm の隙間が保たれているか？ 等です。これらは確認の方法がないまま排気作業が続けられました。更には、使用している金属や接続部の銀鑑などが UF_6 ガスとどのような化学反応するかも不明でした。

竹内さんの報告によると、 UF_6 ガスを注入し始めると所定の体積以上にどんどんと入って行きました。或程度のところで注入を止め分離作業をしましたが、サンプルガスをサイクロトロンによる放射化法で確認をしたところ結果は否定的でした。分離筒下部のガス溜内部にはフッ化ウランと金属との化学反応で出来たと思われる物質が大量にありました。U-235 の分離は不成功に終わったのです。

3. 米国の原爆開発研究

広島に投下された原爆は U-235、アラモゴードでのテスト及び長崎に投下されたのはプルトニウム-239 でした。これらの核が如何に製造されたかについて、文献[3]を参考にして簡潔に記述します。基礎研究及び生産方法の予備研究については全米の殆どの大学、研究所、民間の大小企業研究所の研究者達が総力を挙げてこの計画に参加しました。初期予算は 8 千 5 百万ドル、1943 年末までに合計 10 億 3 千 6 百万ドルが追加され、総参加人員は数十万人でした。

3.1. 計画の始まり

まず、計画の発端からウランとプルトニウムの分離開始までを年表にまとめます。

- 1939.10.12. Alexander SACHS (ウオール街の経済人) 大統領非公式顧問が提案したウラン関係諮問委員会 (ウラニウム委員会) を直ちに構成、委員は座長 Lyman J. BRIGGS (規格基準局局長 National Bureau of Standard, NBS)、Adamson 大佐、Hoover 司令官。
- 1939.10.21. ウラニウム委員会初会合。Alexander SACHS、Leo SZILARD、Edward TELLER、Eugene WIGNER、Albert EINSTEIN の代わりに Fred L. MOHLER (NBS)、Richard B. ROBERTS (Carnegie 財団) が集まった 陸軍は消極的 ウランの軍事利用について SZILARD らは積極的にウラニウム黒鉛炉による核分裂連鎖の研究が必要と主張。
- 1939.11.1. ホワイトハウスは科学者に研究推進を許可。
- 1940.1. BRIGGS 政府予算獲得。
- 1940.4.27 第2回ウラニウム委員会 コロンビア大等での核分裂研究により U-235 が必要とわかる。
- 1940.6.15. ルーズベルト大統領は National Defense Research Committee (NDRC) を組織。委員長は Vannevar BUSH (カーネギー財団理事長)。先のウラニウム委員会を NDRC の下部委員会とした。
- 1940.10.25. NDRC は 14 万ドルを研究者組織に与える。翌年春に 50 万ドル追加した。
- 1941.3. バークレーの Glenn T. SEABORG らの実験で、Pu-239 は U-235 と同様に中性子による核分裂をすることを確認。
- 1941.6. 大統領は陸軍と大学との摩擦等を解決し有機的に活動させる手段として The Office of Scientific Research and Development (OSRD) を組織。A. BUSH を長とし、NDRC をその下部組織とし、その長にハーバード大学長 James B. CONANT をあてた。
- 1941.10.9. Alexander SACHS は大統領に原子力開発計画について初めての詳細報告をする。大統領は計画を了承し、速やかに原爆を製造することを要請。
- 1941.12.6. OSRD 内に原爆製造を最重点目標とする新組織をつくる。ウラニウム部がその一つ。
- 1941.12.16. OSRD が核反応核の生産法の検討。
U-235 の分離：遠心分離、拡散法、電磁的分離。
プルトニウム生産：黒鉛炉、重水炉。
- 1942.初頭 ウラニウム部が調査した結果、北米には十分なウラニウム資源ありと報告。
- 1942.6.17. 陸軍と OSRD との合同会議。陸軍が総指揮をとり Joint Committee on New Weapons and Equipment を組織し、さらに軍事利用目的の下部委員会をつくる。核分裂核生産の一つとして、Arthur H. COMPTON を長とし黒鉛炉建設の検討を始める。OSRD ウラニウム部は場所の選定、企業との建設契約、物資の優先的調達を決定。
- 1942.6.25. 陸軍は計画の名前を Laboratory for the Development of Substitute Materials (MSD) とした。
- 1942.8.13. New York に本部を置き MANHATTAN ENGINEERING DISTRICT (MED) と名前の変更。

- 1942.夏 爆弾に仕立てる研究場所をニューメキシコ州サンタフェの北、Los Alamos に選定、所長に J. Robert OPPENHEIMER を任命。
- 1942.9.17. Leslie R. GROVES 大佐を議会承認の上、計画全体の全責任をとる総指揮官に任命。
- 1942.10.1. 黒鉛炉建設開始 シカゴ大、後にアルゴンヌ及び HANFORD。
- 1942.11.1. OAK RIDGE において LAWRENCE 案の電磁分離法開始。
- 1942.11.30. LOS ALAMOS 建設開始。
- 1943.3.1. OAK RIDGE において気体拡散法開始。

3.2 核分裂核の生産

OSRD は核分裂核の生産方法として3つの方法を採用しました。

3.2.1 原子炉—プルトニウム-239 の生産

核分裂連鎖を維持する中性子減速物質として、黒鉛、重水、銀が検討されました。重水は十分な量の生産をするには時間がかかり過ぎるので、不採用となりました。高純度の黒鉛は生産可能と企業からの答えが返ってきたので、黒鉛原子炉建設が決定されました。

原子炉は先ずシカゴ大学に建設されました。Arthur H. COMPTON を長として Enrico FERMI から物理学者15人により、1942年12月2日、天然ウラン黒鉛炉の連鎖反応に成功し、化学操作を必要とするがプルトニウム-239 の生産方法が確立されました。この FERMI 達で作った炉を CP-1 と名付けました。冷却を考慮していないので、1 watt 以上に連続連鎖反応をさせることは危険でした。この炉は解体しシカゴ郊外のアルゴンヌ研究所にて空気冷却をする CP-2 として組み立てられました。空気の成分である窒素が中性子を吸収するので気圧が変わると窒素分圧も変わり中性子吸収率が変わり炉の働きが変動しました。天然ウラン黒鉛炉3基がワシントン州の中央南、オレゴン州に近い所の HANFORD に Du Pont 社の技術者が中心となり化学分離工場と共に設置されました。

このようにして生産されたプルトニウムは Alamogordo に於けるテスト及び長崎に投下された爆弾となりました。さらに以後の原爆改良実験及び水爆テスト等に次々と使われました。

3.2.2. U-235 の電磁的分離による生産

Ernest O. LAWRENCE は U-235 を天然ウランから分離する正統的方法を自らのサイクロトロン電磁石を使って分離した実績結果をもって主張しました。加速イオンを磁界中の軌道で質量分離する方法 (mass spectrometer の方法) です。

U-235 の収量及び電力等の運転経費の点で難点はありますが最も確実な方法なので、採用されました。電磁石のコイル用銅パイプは銅が軍需品で生産余力がないので、銀を使うこととしました。LAWRENCE がデザインしたレーストラック状の CALUTRON と呼ばれる大規模な装置で、テネシー州の OAK RIDGE に建設されました。この装置の建物の近くに次に述べるガス拡散法による U-235 分離装置が設置され、U-235 が濃縮されたガスを CALUTRON のイオン源としました。

1945年9月までに84.5%濃縮されたU-235が88kg、更に約95%濃縮されたU-235が953kg生産され、広島に落とされた爆弾に使用されました。

3.2.3. U-235の気体拡散法による分離生産

微細な孔が多数という構造の金属等の一方からガスを強制的に通過させると、分子或いは原子の質量が軽いものが重いものより早く通過します。この孔を更に微細にすると同位元素も分離が可能となります。これはGaseous Diffusion法と呼ばれています。ウランの場合、元々の質量に対し同位元素の質量差がわずかだから分離効率はあまりよくありません。GROVESはこの方法により分離されたガスをローレンスの装置のイオン源とすることを提案し、OAK RIDGEに多孔障壁を詰めたパイプ4600本を単位とする構造の装置を3つ建設して分離作業を行いました。必要な電力は単位構造当たり25万KWで、最高で1.1%の濃縮でした。

3.3. 爆弾製造研究拠点

完全に外部から隔離し秘密が確保できる場所としてニューメキシコ州の首都サンタフェの北、インディアンが居住している山岳地帯、LOS ALAMOSを選びインディアンを別の土地に移住させて、U-235、Pu-239を爆弾とする研究所を建設しました。所長J. Robert OPPENHEIMER以下2千人を越える物理学者、技術家等が家族共々参加しました。

物理学者では、後にノーベル物理学賞を受賞する人達をはじめとして、私達が良く知っている多くの著名な人達が参加しています。彼等の原爆製造への寄与についてはここでは省略します。

最初のテスト爆発はALAMOGORDOにおいて1945年7月16日現地時間午前5時30分でした。

4. 米国による原爆開発研究調査

米国陸軍情報部、マンハッタン計画本部、科学研究開発局の協力で、先ずドイツの原爆開発研究状況調査を目的としたALSOS調査団が作られました。この名称はマンハッタン計画の総指揮者、L.R.GROBES将軍の名前GROBESのギリシャ語訳 $\alpha\lambda\sigma\omicron\varsigma$ (alsos)になっています。

1943年末から南イタリアで原爆開発研究状況調査にあたりました。1944年3月再編成され、科学部門の責任者にSamuel A.GOUDSMITがなりました。ドイツの原爆開発研究状況調査を行い、日本敗戦後、日本の原爆開発研究調査には、Karl T. COMPTONを団長して来日、GHQ/SCAPが組織したATOMIC BOMB MISSION JAPANと共同作業をしました。ALSOS調査団は1945年10月15日に解散しています。ATOMIC BOMB MISSION JAPANによる最終報告は1945年10月末に提出されています。広島大学の市川浩がこの記録のマイクロフィルムを調査し報告しています[4]

5. 謝辞

この報告文の構成や表現を若手研究者にとって読み易くなるように多忙な中で査読と

数多くの書き換えをして下さった阪大核物理研究センター中野貴志教授の労に厚く感謝します。

[文献]

1. CLUSIUS, Klaus, und Gerhad DICKEL, “Neues Verfahren zur Gasentmischung und Isotopentrennung.” *Naturwissenschaften* 26 (1938) Kurze Originalmitteilungen 546. ; “Zur Trennung der Chlorisotope.” *Naturwiss.* 27 (1939) Kurze Originalmitteilungen 148. ; “Das Trennrohrverfahren bei Flüssigkeiten.” *Ibid* 148-149. “Isolierung des leichten Chlorisotops mit dem Atomgewicht 34, 979 im Trennrohr.” *Naturwiss.* 28 (1939) Kurze Originalmitteilungen 487.”
2. Members of Nuclear Physics Laboratory of Osaka Imperial University *, “Separation of Isotopes by Thermal Diffusion, I. Preliminary Test of the Separation Column.” *Proc.Phys.-Math.Soc.Japan* 23 No.3 (1941)590-598. * Members at the end of March 1941: Akabori, H., K. Husimi, J. Itoh, S. Kikuchi, M. Kobayashi, Y. Ko, T. Momota, H.Nagaoka, M. Okazaki, I Suehiro, E.Takeda, M. Taketani, T. Utiyama, T.Wakatuki, Y. Watase, S.Yamaguchi, and I. Yukawa; Members of Nuclear Physics Laboratory of Osaka Imperial University * *, “Separation of Isotopes by Thermal Diffusion, II. Separation of Chlorine Isotopes. *Proc.Phys.-Math.Soc.Japan* 23 No.3 (1941)599-604.* *Akabori, H., K. Husimi, S. Kikuchi, M. Kobayashi, Y. Ko, T. Momota, H.Nagaoka, M. Okazaki, I Suehiro, E.Takeda, M. Taketani, T. Utiyama, T.Wakatuki, Y. Watase, S.Yamaguchi, and I. Yukawa.
3. Vincent C. JONES : “Special Studies MANHATTAN : The Army and the Atomic Bomb, United States Army in World War II. “ Center of Military History, United States Army, Washington, D.C., 1985; Leslie M. GROVES : “Now It Can Be Told. The Story of the Manhattan Project.” Originally published by Harper, 1962, Da Capo Press, Inc., New York, 1983, A Subsidiary of Plenum Publishing Corporation, New York.; Luis W. ALVAREZ: “ALVAREZ : Adventures of a Physicist.” Basic Books, Inc., Publishers, New York, 1987.
4. 市川浩（広島大学総合科学部）：「第二次世界大戦期における日本の戦時科学技術の実態に関する実証的研究」平成8年度—平成10年度科学研究費補助金研究成果報告書
平成11年3月