

## 話 題

台北帝国大学と京都大学における初期の  
加速器開発と原子核物理学研究（前編）

竹腰 秀邦\*

Early Period of Particle Accelerator Development and Nuclear Physics  
Experiments at Taihoku Imperial University and Kyoto University (1/2)

Hidekuni TAKEKOSHI\*

## 1. はじめに

2005年11月21日台湾大学物理系教室（写真1）で台大物理原子核陳列館（写真2）の開設式典が行われた。式典は李台大学長，中華民國物理学会会長張教授等の式辞に始まり，招待された木村磐根京大名誉教

授，小沼通二物理学会理事，科学史専攻の塚原東吾神戸大学教授の式辞が述べられた。また許雲基台大名誉教授による台大における初期の原子核物理研究のエピソードが語られた。次いで表彰式に移り台大関係者に表彰状が渡された。また台湾大学の前身の台北帝国大学において当時日本で先駆けて原子核物理研究を行った荒勝文策，太田頼常，木村毅一，植村吉明氏等の5名の子孫に花束が贈呈された。木村磐根氏は木村毅一氏の長男である。

陳列館には許名誉教授の実験が行われたコッククロフト型高電圧発生装置とイオン加速管が復元されている。またウィルソン霧箱，重水濃縮装置，2進式計数回路， $\alpha$ 線源北投石（モナザイト鉱石）等の歴史的な資料と装置類が陳列されている（写真3）。陳列館の壁には物理系教室の歴史を示すパネルがはられ，その中には荒勝，太田，木村，植村諸氏の写真がある（写真4）。写真5は許雲基台大名誉教授による台大における原子核物理研究用加速器で，開設式典で示された



写真1 台湾大学物理系教室



写真2 台湾大学 原子核陳列館



写真3 陳列館内の歴史的な資料と装置



写真4 荒勝，太田，木村，植村諸氏の写真

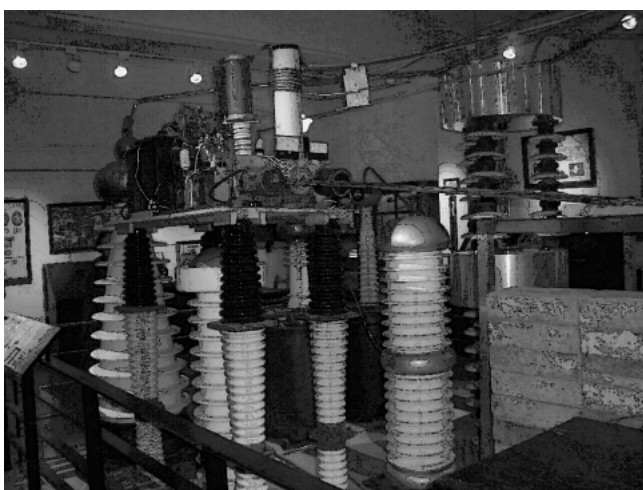


写真5 陳列館のコッククロフト・ワルトン型加速器（許雲基教授の実験装置）。

台湾の原子核物理学研究の歴史に関するパンフレットの一部分を巻末に示す<sup>1)</sup>。

## 2. 台北帝国大学にて

荒勝文策氏は、1926年に台北帝国大学の教授に内定し海外留学を命ぜられた。一年間をベルリンとチューリッヒに滞在しアインシュタイン教授やポテ教授の薫陶を受けた。その後ケンブリッジに移り、キャベンディッシュ研究室でラザフォード教授に師事した。当時キャベンディッシュ研究室には世界各国から多くの研究者が集まり原子核物理学研究の中心地であった。荒勝教授のキャベンディッシュでの生活について明らかでないが、その後の研究活動に大きな影響を与えたと推察される。

荒勝教授は2年半の留学を終え台北帝大に赴任した。当時台湾は日本統治下で、台北市には総督府があり政治、経済の中心地であつた。台北帝大には理農学部と文政学部があり、物理学教室は1講座で理農学部に属し、前任に太田助教授がいた。荒勝教授は若い

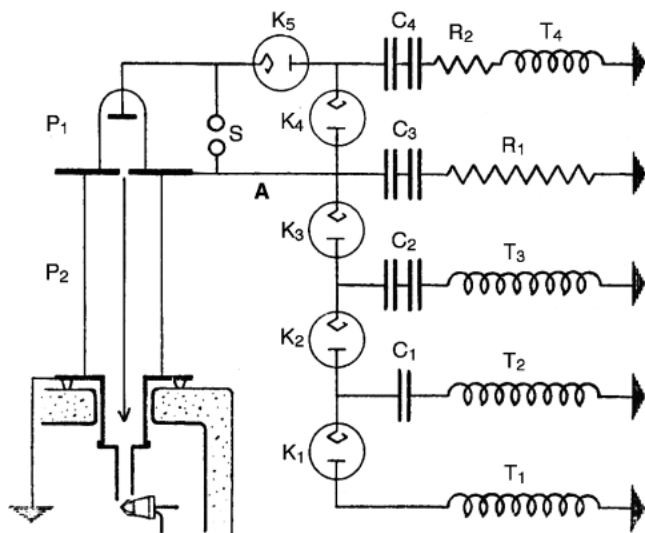


図1 200 kV 高電圧発生装置  
 $T_1, T_2, T_3, T_4$ ; 高圧変圧器,  $K_1, K_2, K_3, K_4$ ; ケネトロン,  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$ ; 高耐圧コンデンサ,  $S$ ; スパークギャップ,  $P_1$ ; イオン源,  $P_2$ ; 絶縁碍子

木村、植村両氏を研究室に迎え三人で原子核物理学研究の研究を開始した。

1930年前半は加速器による原子核物理学研究の揺籃期で、1933年にアメリカのローレンス等がサイクロトロンで1 MeV以上に加速した重水素イオンを、種々の物質にあてた。その際高エネルギーのプロトンを観測し、この現象は重水素の原子核が他の原子核に衝突する際に分裂してプロトンと中性子に分かれて飛散したと解釈した<sup>2)</sup>。しかしラザフォード等は重水素イオンを静電加速装置で加速して重水素化合物を照射する実験を行い、重水素イオンのエネルギーが100 keVでも、また20 keVの低いエネルギーでさえ高エネルギーのプロトンを観測した。これは ${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^2$ 反応により ${}_1\text{H}^3 + {}_1\text{H}^1$ を生じたと推定し結果を1934年に発表した<sup>3)</sup>。これが“加速器による原子核の人工転換”の最初の発表である。

荒勝教授等は台北帝大で1930年頃から静電加速器の建設を開始し、原子核の人工転換の実験を始めた。また太田助教授は水の電気分解槽を45段のカスケードに接続し重水素の濃縮を行い、原子発光スペクトルから重水素の濃縮度を正確に同定し、濃縮度約50%の重水を荒勝教授の実験に必要な量だけ供給した<sup>4)</sup>。

荒勝教授等により製作されたイオン加速器の高電圧発生部はコッククロフト・ワルトンの変形で、図1に回路図を示す。 $T_1, T_2, T_3$ は60 kVのX線発生器用の高電圧変圧器で、 $K_1, K_2, K_3$ は逆耐圧240 kVのケ

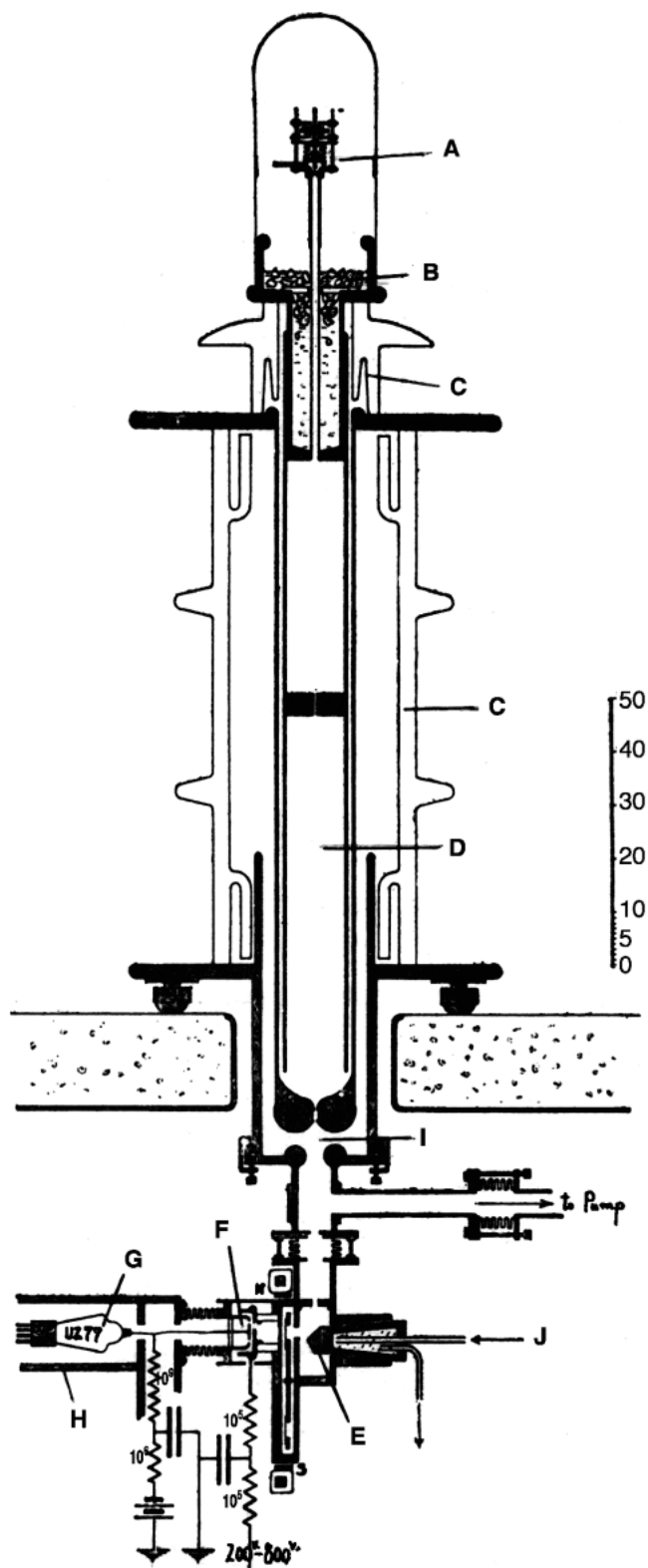


図2 200 KV 加速器管と粒子検出器  
 A)ニードルバルブ, B)冷却剤(氷), C)絶縁碍子, D)グロー槽, E)回転ターゲット, F)電離槽,  
 G)比例増幅器前置真空管, H)シールド鉄函, I)加速ギャップ, J)冷却水

ネトロン(真空整流管)で,  $C_1, C_2, C_3, C_4$ は高圧コンデンサである.  $T_1$ と $T_3$ には同相,  $T_2$ には逆相の60 kV(ピーク値)の交流を入力させるとA点で $60 \times 5 = 300$  kVのプラスの電圧が得られる.  $T_4, C_4, K_4, K_5$ の倍電圧整流回路はイオン源用の数10 kVのプラス電源である.  $R_1, R_2$ は数M $\Omega$ の高抵抗で, 直径10 cm長さ100 cmのガラス管に水を入れたものである. これにより加速管内部やイオン源の放電による $C_3, C_4$ の電荷の急激な放電を抑え電磁ノイズ発生を防いでいる.  $P_1$ はラザフォード型のイオン源でイオンを発生させ下部の細孔から $P_2$ の加速管に送りこむ.

加速器と粒子検出器を図2に示す. 重水蒸気中でタングステンフィラメントを熱し酸素を除いて作られた重水素ガスを, ニードルバルブAを通してプラズマ槽Dに供給する. プラズマ槽を $10^{-3}$  Torrの真空度に保ち40 kV以上の電圧で20 mAのプラズマ放電を起こし, 発生した $10 \mu A$ のイオンを下部の細孔から加速管に送り込む. 加速ギャップIで加速されたイオンを回転ターゲットEに衝突させる. Eには硫酸アンモニウムの水素原子が重水素原子に置換された粉末が塗付されている. ターゲットから3 cm位置にある1 cm径の円板上に塗付された蛍光体に, 原子核反応で生じた陽子があたりシンチレーションを発生する. この光を肉眼で観測し計数する. この実験はラザフォードの追試ではあるが本邦初の“加速器による原子核の人工転換”であり, この研究は1935年発行の“科学”<sup>5)</sup>に掲載されている.

その後装置に改良が加えられ詳しいレポートが1936年に発表された<sup>6)</sup>. 原子核反応数が増えるとシンチレーションを肉眼で計数するのは困難で, これを解決するためにウィンウィリアム型電離箱による検出法が開発された. ターゲットで発生した $\alpha$ 線や陽子は吸収箱を通過し電離箱Fに入り電離電荷を発生する. 電荷を集め比例増幅器で増幅しパルス波形をオシログラムで写真記録する(写真6). 比例増幅器の増幅度は50 dB以上必要になり, 比例増幅器の前置管として5極管UZ-77 Gを使用した. 電離箱内に発生した通過粒子による電離電荷は77 Gのコントロールグリッドに直結する. コントロールグリッドは $10^9 \Omega$ の高抵抗でアースされている. 部屋の音, 振動や加速管中の放電等の電磁ノイズに起因する比例増幅器の出力変動を避けるために増幅器の各段の真空管は個々に1 cmの厚さの鉄板の箱Hの中にスプリングで吊した. 吸収箱の厚さ, 電離箱の深さや空気圧等を変え, 反応粒子の飛程を変えて粒子の種類とエネルギーを特定した.

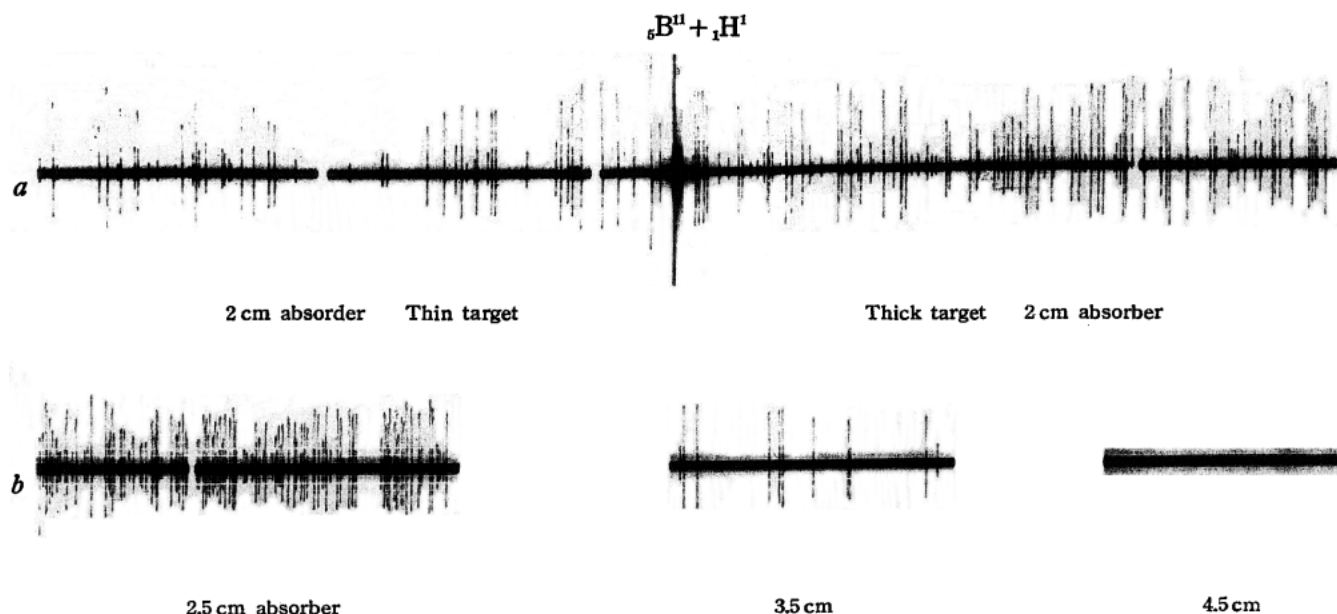


写真6 パルス波形のオシログラム写真（硼素のプロトン照射時に発生したアルファ粒子，空気の吸収層の厚さを変えて観測）

リチウムに重水素をあてた場合  ${}^3\text{Li}^7 + {}^1\text{H}^1$  を発生する反応と  ${}^2\text{He}^4$  を発生する反応についてはローレンスやラサフォード等の実験があり，重水素イオンのエネルギーが 500 keV 以上になるとこの二つの反応を起こす確率は同程度になることが知られていた。荒勝教授等は重水素イオンのエネルギーを 220 keV から 100 keV の範囲についてこれらの反応を起こす確率の比を正確に測定し，200 keV で 0.3，150 keV で 0.2，100 keV で 0.07 であることを確かめた。これらのデータから低いエネルギーの重水素イオンが  ${}^3\text{Li}^6$  に吸収される過程について考察を行った結果，これらの反応の確率の違いは吸収核からの  $\alpha$  線とプロトンの放出確率が異なることによるもので，吸収核の生成過程の相違によるものでないと推定した。

また荒勝教授等は硼素にプロトンをあてた場合の原子核反応について  ${}^3\text{He}^4$  発生する過程と  ${}^4\text{Be}^8 + {}^2\text{He}^4$  を発生する過程について同様の測定を行ったが，両者の確率に大きな違いは見られなかった。当時核力や複合核の概念は発展段階でこれらの成果は原子核物理学研究の最先端を行くものであった。

荒勝教授が辺境の地台湾に赴任して 3~4 年で加速器を完成させたことは特筆に値するが，研究費の獲得の経緯については，明らかでない。台湾の経済界から，かなりの援助があったようである。当時台湾の基幹産業は米，砂糖，樟腦，材木等の生産で，特に製糖業は盛んで大規模な甘蔗畑の開拓が行われた。理農学部に属した荒勝教授は製糖会社から湿潤地改良のコン

サルトを依頼され，排水溝を設けることにより土地改良に成功し，以後会社から資金援助を受けたようである<sup>7)</sup>。この加速器の建設費は当時の X 線発生装置 (150 kV / 250 mA) の値段 5,000 円，ケネトロン (250 kV 耐圧) の値段 250 円と，物価の上昇率から試算すると現在の数千万円にもなると思われる。この資金を獲得するために荒勝教授は大層苦勞したものと推察される。

### 3. 京都大学にて

1936 年荒勝教授は共同研究者の木村毅一，植村吉明両氏と共に京都帝国大学物理教室に転任した。台湾時代の経験を生かして 600 kV のコックロフト・ワルトン型の建設を始め数年後に完成させた。写真 7 は高電圧発生部を示す。この時期から研究室に園田正明，清水栄等の大学院生の新メンバーも加わり原子核物理の研究が盛んになってきた。この加速器で加速される 500 keV のプロトンや重水素イオンの照射による原子核反応は，ターゲットとしては軽い原子核の場合のみ限られる。荒勝教授は 500 keV のプロトンでリチウムを照射した際に発生する 17.6 MeV の  $\gamma$  線や，弗素を 350 keV のプロトンで照射する際に発生する 6.1 MeV  $\gamma$  線による光核反応に注目した。1941 年に発表されたこの高エネルギー  $\gamma$  線によるウランウムやトリウムの光核分裂の研究は世界に先駆ける研究である<sup>8,9)</sup>。またこの高エネルギー  $\gamma$  線で種々の元素を照射した際の  $\alpha$  線を観測した<sup>10,11)</sup>。

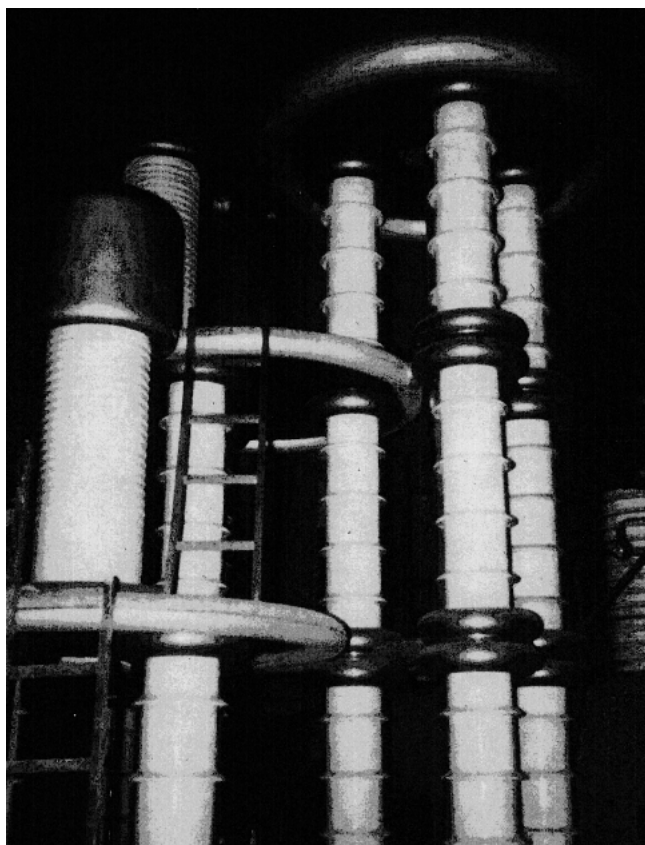


写真7 京都大学物理教室の600 KVのコッククロフト・ワルトン型加速器

これらの研究のために $\alpha$ 線観測用電離箱，ウィルソン霧箱， $\gamma$ 線やベータ線検出用GMカウンター等の開発が行われた。

この頃にはサイクロトロンが世界各所で建設されるようになり，1942年頃荒勝教授は磁石のポール径100 cmのサイクロトロンの建設を決意した。学内折衝を経て建設予算が文部省により認可された。しかし1940年に始まった第二次世界大戦は研究に色々な影を与え始めた。園田，植村両氏は招集され，大戦末期には研究室は荒勝，木村，清水，堀の諸氏，大学院生の花谷氏と5~6人の研究室配属の3回生のみとなった。またサイクロトロン建設用の資材の調達も困難になり，荒勝，木村教授は資材の獲得のために軍需省との交渉や，製造メーカーとの打ち合わせに奔走した。1945年には電磁石の鉄の部分が完成し京大物理教室に設置された。当時のサイクロトロン建設の状況が木村教授の日記に残されている。一部を紹介すると

“昭和19年11月24日(金)晴  
トラック2台デ(ヨーク)部分二本搬入 工事人夫男二人女四人 鴻池ヨリ某氏立会ウ 東京都空襲サル(B-29約70機) 中部軍管区下警戒警報



写真8 駐留軍により破壊されたサイクロトロン磁石(前列 堀，木村，後列 植村，宇治(伯爵)，荒勝の諸氏，1945年)

1月26日(日)晴

12時マグネットヨーク部分二個着 住友製鋼所小出氏来ラレマグネット組立ニ関スル指導セラル

10頃 花谷，高木，森，高井，小山 マグネット台ヲ油ニテ清掃ス (註 氏名は院生と学生)

写真8は進駐軍により破壊される以前のサイクロトロンの磁石と荒勝，木村，植村，堀，宇治の諸氏。

#### 4. 第二次世界大戦終結と原爆調査

戦局が悪化し起死回生の手段として原爆が大本営によって取り上げられた。理研の仁科研究室は陸軍の委託により，京大の荒勝研究室は海軍の委託により日本の原爆研究は始められた。当時の原爆に対する日本側の見解は，アメリカの原爆開発は今次大戦には間に合わないとし，従って日本での研究内容は製造を急ぐと言うよりは製造に関する理論的な研究の推進に重点が置かれた。研究室には海軍の技術将校が2~3名配属されたが際立った成果があげられないままに1945年8月6日午前8時20分広島に原爆が投下された。投下後の荒勝研究室や京大医学部の活動については柳田邦男氏のドキュメンタリー小説“空白の天気図”<sup>12)</sup>に詳しく述べられている。投下直後のアメリカの短波放送は原爆投下を伝えたが大本営は懐疑的であつた。翌日の新聞は，“広島に新型爆弾が投下された”とのみ発表し被害については触れなかった。“上空で多量のTNTを爆発させた”とする阪大の浅田教授の談話が載せられたりした。8日頃陸軍から京大の荒勝教授と医学部の杉山教授に対し至急広島の現地調査の依頼があつた。荒勝教授，杉山教授等10名の第一次調査隊は8月9日夜行で広島に経ち翌日広島に到着したが

想像を絶する被害の惨状に皆啞然となった。その日の午前中に先着していた理研の仁科博士や軍の関係者から“広島に投下された爆弾は原子爆弾に違いない”という意見が出ていた。荒勝教授は午後軍のトラックで十数ヶ所の土を採集し夜行で京都にもどり、10日に待機していた学生も加わりGMカウンターによる $\beta$ 線の測定を行い各サンプルに放射能を認めた。このGMカウンターは学生の西川喜良氏等の自作で、長さ5 cm、直径2 cm、厚さ0.3~0.1 mmのジュラルミン管の両端をエポナイトで蓋をし、管の中心に径0.2~0.1 mmのタングステン線を張り、内部に空気とアルコール蒸気を封入したもので、当時日本に存在した唯一の $\beta$ 線検出器であった。荒勝教授は“新型爆弾は原子爆弾の可能性が極めて高く、また広島原爆投下の三日後に長崎に同じ爆弾が投下された事実からアメリカはこの種の爆弾を10ヶ位は持つ可能性が高い”とする推定を加え直ちに軍に報告した。この報告はこれ以上の戦争の継続は無理であることを大本营に知らしめたものであった。

8月12日に清水栄氏を隊長とする9名の第二次調査隊が広島に派遣された。この調査の目的は各種のサンプルを採取して放射能を測定し、“米軍が普通の爆弾を投下し放射能をばら撒いた”とする一部の流布説の真偽を確かめることでもあった。サンプルを採取し8月16日に京都にもどり放射能測定の結果、電柱の碍子中の硫黄や、馬の骨の中の燐に高速中性子による誘導放射能が確認された。この放射能から爆発は原爆に由来することが確証された。しかし8月15日には昭和天皇の戦争の終結が放送されていた。

第一次調査隊に参加した杉山教授は陸軍病院で収容者を診察し、8月10日から12日にかけて被爆者3体の遺体の詳細な解剖を行った結果、“淋巴系を含めて全血液製造器官が侵された重大な変化が起っている”との病理学的所見を軍に報告した。当時の放射線障害の病理と治療については全く未知の分野であった。8月27日に広島で被爆患者の治療を指揮していた軍から京大医学部に応援の要請があり、杉山教授は内科の菊池教授、真下教授、解剖学の船岡教授、内科の応援を得て、杉山教授、真下教授、教室員、学生、看護婦を加えた40名の医学部第三次調査隊を編成し、9月1日に先遣隊が広島に出発し、宿舎を宮島対岸の大野浦の陸軍病院に取り、収容されていた原爆被害患者の治療や研究調査を開始した。また10日に広島市内の牛山に診療所を開き原爆患者の診療を開始した。9月14日には木村教授を隊長とする6名の物理第三次調査隊が出発し同じ大野浦の陸軍病院を宿泊地に取っ

た。

時を同じくして大型の台風が鹿児島島の枕崎に上陸し9月17日の夜広島を襲った。山の傾斜地に建てられていた大野浦の陸軍病院の裏山の貯水池が決壊し山津波が病院の建物を襲った。病院に収容されていた原爆被害者160名、医学部の真下教授以下7名、物理の堀、花谷、村尾の3氏が亡くなった他に多数の負傷者を出した。木村教授も山津波に流されたが幸にも助かった。杉山教授は負傷し宇品の病院に収容されたが、吸い込んだ泥から肺炎をおこし10月17日に亡くなった。京大の犠牲者は11名に及び、京大の放射線障害の専門家と貴重なデータの多くを失った。この台風は各所に河川の氾濫や山崩れを起こし、交通を寸断し、犠牲者は西日本で数千人におよび、広島の大きな妨げとなった。

この事件後も京大のサイクロトロン建設は続けられたが、その年の12月に突然進駐軍の兵士が現れサイクロトロンを磁石を分解しどことなく運び去った。また原子爆弾に関する調査資料や酸化ウランウムの試料やサイクロトロンの設計図も合わせて没収された。これによりサイクロトロン建設計画は挫折を余儀なくされた。

その後軍から復員してきた多くの荒勝研究室の出身者や、研究室に配属された学生が加わり、戦後の研究が復活した。コッククロフト・ワルトン型加速器による光核反応の研究や<sup>13,14</sup>、中性子、 $\alpha$ 線<sup>15</sup>、 $\beta$ 線、宇宙線、放射能、に関する研究や、高速回転体の研究<sup>16</sup>も行われた。1951年3月には荒勝教授は定年退官し、後任に木村教授が就任した。

## 参考文献

- 1) “For 71years, there have been two groups of researchers in the Nuclear Lab located in the Building No. 2 of National Taiwan University who overcome the difficulties, proceeded nuclear experiments, and devoted themselves to the quest for truth.

On July 25, 1934, the team led by Professor Arakatsu Bunsaku in Taipei Imperial University succeeded in repeating the result of J. D. Cockcroft and E. T. Walton. These two scientists from Cavendish Lab produced the transmutation of atomic nuclei by artificially accelerated particles in 1932.

At the time the Taiwan Power Company has not yet been established, 荒勝文策教授 had to start by preparing the electricity. But this team, including Associate Professor 太田頼常 Assistants 木村毅一 and 植村吉明, completed the experiments earlier than other teams in Japan, showing the ability to catch up with the world academic center. After this success, Professor Arakatsu

went back to Japan, founded the nuclear Lab in Kyoto Imperial university and built larger accelerators. During the war he had successfully separate Uranium 235 from Uranium 238. However, after the drop of the atomic bomb and defeat of Japan, the cyclotron was thrown into the ocean by the US Army.

It was not until several years later, though the effort of American and Japanese scientists that the nuclear physics research started again.

The atomic Bomb changed the political map of the world, President Chang Kai-Shek recognize the importance of nuclear physics, appointed his friend, Professor Tai Yuin-Kwei to help taking over the Taipei Imperial university and set up the Department of Physics of National Taiwan University. Professor Tai, as a coordinate of resources, engaged Professor Ota Yoritune in the building of the Nuclear Lab. Professor Ota leading one assistant 許雲基 and three technicians 周木春, 林松雲, 許玉釧, regardless of the danger of high voltage and radioactivity, working with the equipments collected from Taiwan Power Electric Company and the Broadcasting Corporation of China, reconstructed a Cockcroft-Walton type accelerator. In the day of political unstableness and poor material condition, they accomplished the experiment of nuclear reaction by artificially accelerated particles, on May 13 1948. After Professor Ota returned to Japan, Taiwan team under the leadership of 許雲基 proceeded with the experiment and made improvements in the ion source, the accelerating tube, the electromagnet equipment, and the observation devices.

中略

Descendants of Professor Arakatu's team members are also invited to the grand opening. Together we will witness an important moment of physics history of Asia. May this Cockcroft-Walton accelerator, lie as the landmark of the effort of generations of people in Taiwan and Japan, and show the courage and ideal of scientists following the path to the truth.

- 2) Lawrence and Henderson, *Phy. Rev.* **43**, 98 (1933); **44**, 781, 782 (1933)
- 3) Cockcroft and Walton, *Proc. Roy. Soc.* **A136**, 619 (1932). **A137**, 229 (1932), **A144**, 704 (1934)
- 4) Y. Ota, "Studies on Concentrating the Hydrogen Isotope H<sup>2</sup> by the Electolysis of Water. Part I" *Mem. of the Fac. Sci. Agr. Taihoku Imp. Univ.* **5**, 71 (1934)
- 5) 荒勝文策, 木村毅一, 植村吉明, "重水素イオンの衝撃に依る重水素原子核の変転現象 科学, **5**, 12 (1935)
- 6) B. Arakatu, K. Kimura and Y. Uemura. "Experimental Studies on the Artificial Transmutation of Certain Light Elements Bomberded by ions of Hydrogen and Heavy Hydrogen. I" *Mem. of the Fac. Sci. Agr. Taihoku Imp. Univ.* **13**, 75 (1936)
- 7) 荒勝 豊, "蘭小舎だより", 日本蘭協会誌, **47**, Dec. 99 (2004)
- 8) B. Arakatu, Y. Uemura, M. Sonoda, S. Simizu, K. Kimura and K. Muraoka "Photo-Fission of Uranium and Thorium Produced by the  $\gamma$ -Rays of Lithium and Fluorine with High Speed Protons" *Proc. Phys.-Math. Soc. Japan*, **23**, 440 (1941)
- 9) B. Arakatu, M. Sonoda, Y. Uemura and S. Simizu. *Proc. Phys.-Math. Soc. Japan*, **23**, 633 (1941)
- 10) B. Arakatu, M. Sonoda, Y. Uemura, S. Simizu and K. Kimura. "A Type of Nuclear Photo-Disintegration" *Proc. Phys.-Math. Soc. Japan*, **25**, 173 (1943)
- 11) B. Arakatu, S. Simizu, T. Hanatani and J. Muto. "Cloud Chamber Observation of Photo-Alpha Particles Produced by 17 MeV Gamma-Rays" *Proc. Phys. Soc. Japan*, **1**, 24 (1946)
- 12) 柳田邦夫 "空白の天気図" 新潮社 (昭和 50 年)
- 13) S. Shimizu, S. Yasumi, Y. SAji and J. Muto. "The ( $\gamma n$ ) Reaction of Molybdenium prpduced by the Li( $p, \gamma$ )  $\gamma$ -Rays. *Memoirs of the Collage of Science, University of Kyoto, Series A*, **26**, Article 9 (1950)
- 14) B. Arakatu, M. Sonoda, Y. Uemura, S. Yasumi and Y. Saji, "The Photo-disintegration of Beryllium by the High Energy Gamma-rays" *Memoirs of the Collage of Science, University of Kyoto, Series A*, **26**, Article 10 (1950)
- 15) S. Tokunaga, "Mesurement of the Branching Ratio of Thorium C by a Photographic Method" *Memoirs of the Collage of Science, University of Kyoto, Series A*, **26**, Article 11 (1950)
- 16) B. Arakatu, A. Katase, J. Kokame and Y. Yano. "高速度廻転に利用する磁気軸受について" 化研講演集, 17 (1949, May.)