

復刻 ー1 萩原篤太郎の第二海軍火薬廠での講義録

萩原篤太郎は昭和十六年五月二十三日、第二海軍火薬廠（平塚）で講義をした後に、火薬廠の要請で萩原自らが書いた講義録が二火廠雑報第三三号として刊行された。冊子はタイプ原稿を印刷した簡便なもので、二火廠普とあるから秘密文書ではない。以下に復元する。原文の文字を再現しているが使用ワープロのため当用漢字になっている文字もある。番号)と*は本文中の萩原による註で、(番号)は福井による註である。講義録には引用文献の指示が無い。記述内容から萩原が引用したと思われる文献を(f番号)で示した。原冊子はB5判相当で文字は大きく原文通りとすると紙数が増えるので、原ページ番号を示してこの冊子の方式に書き換えた。

表紙

二火廠雑報
第三三號
(二火研雜第 65 號)
”超爆裂性原子 "U 235" 二就テ”
昭和十六年七月二十四日
第二海軍火薬廠
普 二火廠普 16 第六號

頁1

序 本報ハ京都帝國大學理學部講師萩原篤太郎氏ノ第二海軍火薬廠ニ於ケル講演原稿ヲ才願ヒシテ發行シタモノデアアル。

頁2

超爆裂性原子 "U - 235" 二就テ¹⁾ 萩原篤太郎²⁾

今日此ノ様ナ席上ヘ、コチラノ御専門デアアル火薬ト云フヤウナ方面ニ全ク門外漢ノ私ガ出テ参リマシテ御話ヲ申上ゲルト云フコトハ洵ニ恐縮ニ存ズルノデアリマス。先日堀場先生カラ御話ガアリマシタノデ、甚ダ不適任トハ考ヘマスケレドモココニ此ノ様ナ演題ヲアゲサセテ頂イタ次第デアリマス。處ガ此ノ様ナ標題ヲ附ケマスト些カ好奇的ナ新聞ノ見出シニテモアリソウナ感ガ致スカモ知レマセンガ、實ハ昨年11月ノ "Nitrocellulose"誌上ニDer amerikanische Super-Sprengstoff "U - 235"ト題シテ此ノ問題ニ就テA. Stettbacherノ通俗ノ記載ガアリマシテ³⁾(¹⁾コチラデハ既ニヨク御承知ノコトト存ジマスノデ、之ニ似ヨッタ文句ヲ一寸此處ニ借用致シタ譯デアリマス。マア繁簡相補フトデモ云フヤウナ意味デ、少シ許リ御話ヲサセテ頂カウト思フノデアリマス。

-
- 1) 昭和十六年五月二十三日 第二海軍火薬廠講堂ニ於ケル講演 2) 京都帝國大學理學部講師
3) 村田譯、「アメリカ」ノ超爆薬 "U - 235", 火廠雑報第31號 (火火譯第25號) 参照

頁3

扱Nitrocellulose誌ニハ特ニamerikanische "U-235"トアリマスガ、之ハ事實一昨年(1939)以来特ニ米國ノ原子核ノ研究室群ガ優秀ナ研究装置ト研究者達トヲモツテ活潑ナ研究ヲ致シマシタ結果、兎モ角現状迄發展サセテ來タノデアリマスカラ、之ハ全クソノ通りデアリマス。併シ一昨年既ニココニ到ルベキ端緒ヲ拓イタ最初ノ現象ノ發見ガアリマシテ、ソノ發見者ハ米國デハナクシテ、獨乙デアッタノデアリマス。

ソレデハソノ發見ハ一体ドウ云フコトデアアルカト云ヒマスト、吾々ガ最モ重イ元素トシテヨク知ツテ居リマス「ウラン」ニ緩イ速度ノ中性子既チslow neutronヲ衝テマスト、此ノ中性子ハ此ノ「ウラン」ノ原子核ニ吸収サレテ、之ト同時ニ所謂"重原子核ノ分裂"即チFissionト云フ現象ヲ起スノデアリマス。即チ中性子吸収ノ結果「ウラン」核ハ大体相似タ重サ及電荷ヲモッタニツノ原子核、例ヘバ 54Xeト38Srト云フヤウナ原子核ニ之ガ分裂致シマシテ、同時ニ此ノ際ニ莫大ナ「エネルギー」ノ放出ガ之ニ伴ツテ來ルノデアリマス。計算ニ依リマスト、一箇ノ原子ガ分裂スル毎ニ約

頁4

180 MeV (MeV = 106 eV *)ノ「エネルギー」即チ 2 億eVニ近イト云フ實ニ驚ク可キ「エネルギー」量ガ放出サレルコトガ解ツテ來タノデアリマス。

今迄ニ前例ノ全ク無カッタ此ノ様ナ「ウラン」ノ爆裂現象⁽¹⁾ハ一昨年丁度1939年1月ニ獨乙ノDahlemニ在ルKaiser Wilhelm Instituteノ化學ノ研究部長デアルHahnトStrassmannトガ極メテ注意深イ化學分析ノ研究ノ結果初メテ之ヲ發見シタモノデアリマシテ^{(2),(2-1)}、ソレ以來原子核ノ物理及化學ニ於キマシテハ全ク新シイ核反應トシテ異常ノ注目ト興味トヲ引起スコトニナツテキタノデアリマス。今日デハ更ニコノ現象ノ實用化ガ出來ナカラウカト云フヤウナ希望ヲサヘモツテ、ソノ實現ノ可能性ガ云々サレテクルヤウナ状態トナツテ居リマス。

Hahn及Strassmannノ此ノ發見ガ出マスト、直ニ物理的ノ實驗ニヨツテモ此ノニツノ分裂核ノモツテイル運動「エネルギー」ハ實際ニ實測サレ、又ソノ系内ノ熱量測定ニ依ツテモ大体160-170MeV程度ノ「エネルギー」量ガ、測定サレテ參リマシタ。

* eVハ電位差1「ボルト」ノ二點間ヲ電子ガ運動シテ得ル運動「エネルギー」ヲ表ス單位デアル。

頁5

ソコデ此ノ「エネルギー」量カラ、例ヘバDahlemノFlügge⁽³⁾ト云フ人ノ計算ニヨツテ見マスト、1m³ノU₃O₈中ノ「ウラン」(9×10²⁷U-Atoms)ガ全部分裂スルモノト假定スル場合ニハ、1/100秒以内ニ27×10¹⁵ meter×kg (1.0×10¹² Kilowatt-hours)ト云フ途方モナイ「エネルギー」ガ放出サレル勘定ニナルノデアリマス。言ヒ換ヘレバ、即チ1 km³ノ水(重量: 10¹² kg)ヲ27 kmノ高サニ上ゲルダケノ「エネルギー」トナルト云フノデアリマス。

此處デ途中デアリマスガ豫メ一寸御參考マデニ申上ゲテヨキ度イコトガアリマス。從來化學デ物質間ノ化合トカ分解トカ色々ノChemical Processesヲ取扱ヒマス場合ニハ、御承知ノ通原子核ノ周圍ニ在ル電子ノ鞘ノ内デ此ノ化學變化ガ起ツテキルノデアリマス。ソノEnergie-tönung⁽²⁾ハドンナモノデモ先ツ高々10,000-100,000 cal/mol位ノモノデアリマシテ、之ヲeV.單位ニ直シマスト約0.5-5 eV/Atom位トナリマス。處ガ原子核化學ニ於キマシテ取扱ヒマス原子核内ニ起ル核反應ニナリマスト、コレガ100,000-10,000,000 eV/Atomト云フ桁異ヒノ程度ニナツテ參リマス。從ツテ普

頁6

通ニ此ノ幾MeVト云フヤウナ「エネルギー」ヲモツタ粒子ヲ取扱フ核化學デハ、分子内ノ原子間ニ在ル化學的ノ結合状態トカ、或ハ温度トカ云フヤウナモノハ最早問題ニナラナイノガ普通デアリマス。

此ノ様ニ一箇ノ原子ノ壞變毎ニ斯様ニ大キナ「エネルギー」ガ出テ來ルト云フコトハ、普通今迄ノ化學デハ全ク經驗シテキナイ處デアリマス。即チ普通ノ化學反應デハ常ニ質量保存ノ法則ガ成立ツテイルノデアリマシテ、全反應系ノ全体ノ質量ハ此ノ化學反應ニヨツテ少シモ變ラナイ。

處ガ核反應デハソノ様子ガ全ク異ツテ、約10⁵-10⁶倍モノ大キナ「エネルギー」ガ此ノ場合ニ出入スル。外殻電子ノミノ動キダケデハ到底此ノ「エネルギー」ハ出テ來ナイ。處ガEinsteinノ「エネルギー」ト質量トノ間ノ相等關係、E = mc²デヨク知ラレテ居リマスヤウニ、此ノ「エネルギー」Eハ質量トシテE/c²ニ相等スルト云フコトハ既ニ御承知ノ如クデアリマス。茲ニcハ光ノ速度デアル。ソコデ今「エネルギー」ヲMeV(=10⁶ eV)デ、又質量ヲ原子量單位(1原子量單位=O^{16/16})

頁7

デ與ヘルトシマスト、0.93MeVノ「エネルギー」ハ0.001原子量單位ノ質量ニ相等スルコトニナリマス。從ツテ若シ或ル核反應デ例ヘバ9.3MeVノ「エネルギー」ガ1原子毎ニ運動「エネルギー」トカ或ハ輻射「エネルギー」トカ何カノ形デ外部ニ放出サレタトシマスト、此ノ際反應ニ與ツタ原子核ハ反應後ニ於テ反應前ヨリモ0.01原子量單位ダケ小サイ質量ノモノニナツタコトニナルノデアリマス。即チ核化學ニ於キマシテハ物質ヲ「エネルギー」ニ變換スルト云フ物質Anihilation⁽³⁾ノ思想ノ一部ヲ實際ニ取扱ヒツツアル譯デアリマス。

處ガ斯様ニシテ今マデ知ラレテキル原子核ノ反應ハ事實非常ニ多種多様ニナツテ來テハ居リマスガ、ソレ

デモ原子核ノ壊變ニ當リマシテソノ元素ノ原子番號ノ變化ハ何レモ常ニ0乃至2ニ過ギナカツタモノデアリマス。又其ノ際放出サレル核壊變ノ「エネルギー」モ從來マダ精々20MeV位ヲソノ最高ト致シマシテ、之ヲ越エ得ルモノハ全ク無カツタノデアリマス。處ガ茲ニHahn及Strassmannノ發見ニ依リマシテ原子番號92ノ「ウラン」ガ例ヘバ54ノXeト38ノSrノ様ナニツノ

頁8

核ニ分裂シマスト、ソノ夫々ガ1億eVニモ近イ桁ハツレノ大キナ「エネルギー」ヲモツテ兩方ヘ走り出スト云フコトニナルノデアリマスカラ、此ノ方面ノ學者ガ全ク驚イタノモ無理ノナイコトデアリマス。

ソコデ以下此ノ現象ヲ中心ニ今少シ更ニ立入ツテ御話致シテ見度イト思フノデアリマス。今順序トシテ此ノ現象ニ最モ大キナ役割ヲ致シテ居リマスル中性子トハ一体ドンナモノデアアルカ、又"U-235"トハ何デアアルカ、ソレカラ此ノ中性子ト"U-235"トガ相互作用ヲ致シマスル場合ニドウ云フコトガ起ルノデアアルカ、又將來ソレガ超爆裂性物質⁽⁴⁾トシテ果シテ何レ位ノ可能性ヲモツテキルモノデアラウカト云フコトニ就テ、ソノ最近ノ經過竝ニ現状ヲ申上ゲテミヤウト思フノデアリマス。尤モ現状ト申シマシテモ、昨年ノ中頃カラ今年ニカケテハ超爆裂性物質ニ關スル限り殆ンド餘リ目新シイモノハ無クナツテ居ルヤウデアリマス。コレハ研究ノ進行ト共ニ問題ガ段々面倒ニナツテ來タコトト、大戦ノ影響ヲ各國ノ研究室ガ受ケツツアルコトニ依ルノデアリマスガ、一方デ又此ノ

頁9

問題ノ性質上、實用ノ方面ニ就テ將來各國ガ餘リ此ノ種ノ發表ヲシナクナツテ來ルノデハナカラウカト云フヤウナ杞憂モナイテハアリマセヌ⁽⁵⁾。

扱最初ニ先ヅ中性子トハ一体ドンナモノカト云フコトカラ初メマス。中性子ノ發見ハ1932年デ、未ダ餘リ遠イ以前ノ事デハナイノデアリマスガ、今日デハ最早水素原子核即チ「プロトン」ト共ニ總テノ原子核ヲ構成スル最モ重要ナル要素トシテ、到ル處デ活躍シツツアル粒子デアリマス。然カモ又此ノ中性子ノ發見ニ至ル經路ホド近來ノ原子核研究ノ異状ト進展ニ伴ツテ意味ノ深イモノハナカラウト思ハレマス。⁴⁾

御承知ノヤウニ、古代乃至中世紀ノ鍊金術ガ卑金屬ヲ貴金屬ニ變化サセヤウトシテ、近世化學ノ基礎ガ確立サレタ18世紀頃迄、其ノ間實ニ1000年以上モ色々ト之ニ苦心工夫ガ凝ラサレテキタコトハ今更申上ゲルマデモナイコトデアリマス。併シ乍ラソノ後近世トナツテ、又再ビ此ノ元素變換ノ可能性ヲ暗示スルヤウニナツタノガ1815年ニ於ケルWilliam Proutノ假說⁽⁶⁾デアリマス。即チ總テノ元素ノ原子ハ水素原子即チ今日ノProtonsカラ

4) 北川、物理化学の進歩 第8巻 (昭和9年) 紹介31頁

頁10

構成サレテキルト考ヘタノデアリマス。是ハトリモノホサズ元素相互ノ變換性ヲ意味スルモノニ外ナリマセヌ。然シ乍ラソノ當時デハ未ダ同位元素、即チ之ハ同一ノ原子番號ヲ有シ從ツテ同一ノ化學的性質ヲモツテキルニモ拘ラズソノ原子量ヲ異ニスル元素ノコトヲ云フノデアリマスガ、此ノ同位元素ガ未ダ知ラレテキナカツタ爲ニ此ノ世紀ノ末期近ク迄誰モ之ヲ顧ルモノナシニ歲月ハソノママ過ギ去ツテ了ツタノデアリマス。

處ガ1896年ニナツテBecquerelノ放射能ノ發見ガ現レテ參リマシテ、初メテ此處ニ元素ト云フモノノ獨立性ト永久性ノ思想ガ破レルコトニナリマシタ。即チ少數ノアル特種ノ元素、「ウラン」等ガソレ自体自然的ニ他ノ元素ニ變脱シテ行クト云フコトガ、此ノ放射能ノ實驗的根據カラ確實ニ認メラレルヤウニナツタノデアリマス。

處ガ1919年ニナツテ今度ハ英國ノCavendish LaboratoryノRutherfordガ速イ α -粒子ヲ窒素ニ衝テテ此ノ衝擊ノ結果、窒素原子カラ「プロトン」即チ水素原子⁽⁷⁾ヲ衝キ出スコトニ成功シタノデ

頁11

アリマス。此ノ場合ニハ、未ダ天然ノ放射性物質カラ放出サレル α -粒子ヲ使用シタノデアリマスケレドモ、兎モ角モ人工的ニ自由ニ吾々ガ制御シ得ル原子變換ノ現象ヲ知ルコトニナツタノデアリマス。即チ茲ニ近代ノ新シイ鍊金術ガ初マツタト云フ譯デアリマス。

ソレカラ1930年迄ノ間、此ノ種ノ元素ノ人工變換ノ研究ガ極メテ注意深ク續ケラレマシテ、礪素乃至「カリウム」間ノ原子ハ殆ンド總テガ此ノ様ナ α -粒子ノ衝擊ニ依ツテ破壊サレ、ソノ何レノ場合デモ、夫々ノ原子核カラ「プロトン」ガ追ヒ出サレテ、衝擊ヲ受ケタモトノ原子ハ原子番號ノ一ツ宛低イ元素ニ變ルコトガ確メラレルニ至ツタノデアリマス。

處ガ更ニ1930年ニナツテ今度ハ尚一ツノ重要ナ發見ニ導ク端緒ヲ得ルコトニナツテ來タノデアリマス。ソレハ獨乙ノGiesenデBothe及BeckerガPoカラ出ル α -線ヲ或輕イ元素、殊ニBeニ衝テル場合ニ、アルーツノ全ク新シイ然カモ貫通能ノ極メテ高イ放射線ガ放出サレルコトヲ發見⁽⁴⁾シタノニ初マルノデアリマス。處ガ此ノ發見ニ於テ

頁12

Bothe等ハ最初カラ γ -線ノ研究ト云フーツノ先入觀ヲモツテキタモノト見エマシテ、此ノ新放射線ヲ單ニ γ -線デアルト強ク假定シテ了ヒマシテ、此ノ假定カラ起ル色々ノ實驗上ノ矛盾ヲドウシテモ満足ニ説明スルコトガ出来ナカツタノデアリマス。

處ガ1932年ニParisノChimie Nucléaireノ研究室デCurie-Joliotガ更ニ此ノ新放射線ニ就テ色々ト研究⁽⁵⁾ヲ重ネマシテ、此ノ放射線ノ通路ニ特ニ「パラフィン」ノヤウナ含水素物質ヲ置イタ場合ノWilson霧函ノ寫眞ヲ撮ツタノデアリマス⁽⁶⁾。今ソノ代表的ノモノヲ茲ニ一ツ掲ゲテミマス。

(第二圖参照) (第一圖霧函原理圖 省略。)

頁13

(第二圖 中性子反跳水素原子核飛跡 省略。) Wilson霧函ノ原理ハ既ニヨク御承知ノ通りデアリマス。第一圖ニ於テ此ノ霧函ハ圓筒状ヲシテヨリマシテ、空間Aニハ水ノ飽和蒸氣ガ充滿サレテヨリマス。ソコデ今モシ空間Aノ容積ガ「ピストン」ニ依ツテ急激ニ擴張サレテ、ソノ瞬間ニ此ノAノ空間内部ヲ高速度ノ粒子ガ通過シタトシマスト、ソノ粒子ノ通路ニハ多クノ「イオン」ガ出

頁14

來、之ニ水蒸氣ガ凝結スル爲ニ、Aノ側面カラ強イ光源ヲ照シテラレバ、吾々ハ此ノ粒子ノ飛跡ヲ函ノ上方カラ明瞭ニ觀ルコトガ出来ルノデアリマス。即チ此ノ裝置ハ現在原子ノ大サ程度ノ粒子或ハ電子ノヤウナ微細ナ粒子ノ運動ヲ最モ精密ニ觀測スルコトノ出来ル一種ノ顕微鏡トモ見做シ得ラレル裝置デアリマス⁽⁸⁾。

ソコデCurie-Joliotガ此ノ霧函ノ内部ニ「パラフィン」ノ板ヲ置イテ之ニBothe線ヲ當テマシタ處ガ、此ノ様ナ(第二圖参照)寫眞ガ撮レタノデアリマス⁽⁶⁾。此ノ寫眞中デ長イ上方ニ向フ直線状ノ飛跡ハ、下カラ來タBothe線ガ「パラフィン」板ヲ通過スルウチニソノ内ノ水素原子ト丁度ウマク衝突シテ之ヲ衝キ出シタ時ノモノデアリマス。此ノ様ナ「プロトン」ノ飛程ノウチデ極大ノモノハ空氣中 26 cm デアルコトガ見出サレタノデアリマス。即チ此ノ飛程ノ數值カラ「プロトン」ガ約 5×10^6 eVノ極大運動「エネルギー」ヲモツテキタコトガ容易ニ勘定出来ル筈デアリマス。

扱ソウカウシテキルウチニ此ノBothe線ノ本体ヲ見事ニ解決シテ了ツタノガ英國ノChadwickデ

頁15

アリマス。Chadwickハ歐洲ノ之等ノ研究經過ヲCambridgeノCavendish Laboratoryカラ見テキタ譯デアリマシテ、1932年2月ニナツテ遂ニ此ノ未知ノ新放射線ハ水素原子ト大体同程度ノ質量ヲモツタ物質粒子デアツテ、然カモ其ノ極メテ高イ貫通能ヲ説明スル爲ニ之ニ無電荷ノ中性粒子ヲ假定致スニ至ツタノデアリマス。ソシテ之ヲNeutron即チ中性子ト呼ブコトニシタノデアリマス⁽⁷⁾。

結局此ノ新シイBothe線ノ放出過程ハ「ポロニウム」カラ放出サレル α -粒子ガBeノ原子核ヲ衝擊シテ、ソノ結果Be核カラ「プロトン」ト略相等シイ質量ノ然カモ無電荷ノ中性粒子即チ中性子ガ之カラ追ヒ出サレタト云フコトニナルノデアリマス。即チ之ヲ ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$ ナル核反應ト考ヘルコトガ出来マス。ソシテ此ノ中性子ノ質量ハ今日デハ正確ニ測定サレテヨリマシテ、 1.00895 ± 0.000022 ノ數值ガ與ヘラレテヨリマス。(水素原子ノ質量ハ 1.008131 ± 0.000034)。

中性子ガ斯様ニ發見サレテ以來、今デハ總テノ原子核ハ「プロトン」ト此ノ中性子トノミカラ構

頁16

成サレルト云フコトガ一般ニ認メラレルヤウニナリマシタ。現在行ハレル原子核ニ關スル問題ハ凡テ此ノ事

實ニ基イテキルト云フコトガ出來ルノデアリマス。從ツテ此ノ中性子ハ種々ノ原子核ニ對シテ極メテ大キナ相互作用ヲ有スル事實ガ明確ニナツテ來テヨリマス。現在デハ中性子ト原子核トノ反應ノ結果、週期表上ノ大部分ノ元素ニ亘ツテ之ニ誘導放射能即チradioactivityヲ附與スルコトガ出來ルモノデアリマシテ、吾々ノ知ツテキル安定ナ化學元素カラ350以上ノ人工放射性ノ同位元素ガ得ラレルヤウニナツテヨリマス。

從ツテ核化學ノ各方面ニ於ケル應用ハコノ爲ニ極メテ廣汎ナ發達ガ促サレル結果トナリマシテ、廣イ研究ノ範圍ニ亘ツテ放射性ノ"indicators"或ハ"tracers"トシテ從來出來ナカッタヤウナ研究ノ或ルモノモ段々之ガ可能ニサヘナリツツアルノデアリマス。ソシテ之等ノ場合ニ最モ強力ナ中性子源或ハ放射線源トシテ活躍シツツアルモノガ、有名ナCaliforniaノLawrence及其ノ協同研究者ノ手ニ依ツテ初メテ完成サレタCyclotronデアリマス。即チ此ノ裝置ニ依ツテ今デハ驚クベキ強力

頁17

ナ中性子ノ強度ガ得ラレツツアルノデアリマシテ、米國デソノ優秀ナモノハ優ニ20kgノRaトBeトノ混合物デアアル中性子源ニモ匹敵スルト云ハレテヨリマス。現在Californiaデハ更ニ1億「ボルト」以上ノ放射「エネルギー」ヲ目指シテ約4900噸近クノ重量ノCyclotronノ完成ヲ急ギツツアルソウデアリマシテ、目下世界ノ注目ハ全ク此處ニ集ツテキル譯デアリマス。

扱大分餘計ナコトヲ申上ゲタノデアリマスガ、次ニソレデハ此ノ中性子ヲ「ウラン」ニ衝テタ場合ニドウナルカト云フ問題デアリマス。

「ウラン」ニハ現在同位元素ガ三種類知ラレテ居リマシテ、自然界ニ在ル普通ノ「ウラン」中ニハ第一表ニ示シマスヤウナ割合デ存在スルコトガ一昨年Minnesota大學ノDr.Nierニ依ツテ測定サレテ居リマス⁽⁸⁾。

第一表

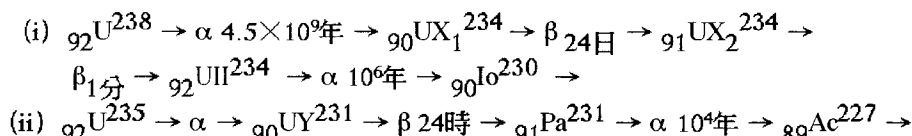
「ウラン」同位元素⁽⁸⁾

${}_{92}\text{U}-238$	${}_{92}\text{U}-235$	${}_{92}\text{U}-234$
1	1/139	1/17000
(99.274%)	(0.720%)	(0.006%)

頁18

即チ此處ニ1/139ノ頻度⁽⁹⁾ヲモツタ「ウラン」ノ同位元素ガ、只今問題ノ"U-235"デアリマス。ソシテ ${}_{92}\text{U}^{238}$ ト ${}_{92}\text{U}^{235}$ ハ夫々第二表ニ示シマスヤウナ段階デ自然ニ崩壞シツツアルコトハ既ニ御承知ノ通りデアリマス。

第二表



此ノ様ニ「ウラン」ハソノママデモ自然ニ崩壞シツツアルノデアリマスガ、更ニ此ノ「ウラン」ニ中性子ヲ衝テマスト今度ハ別ニ一連ノ人工放射性ノ元素ガ出來テクルノデアリマシテ、之ヲ Fermi, Hahn, Meitner 等ハ1934年カラ1936-1937年ニ亘ツテ詳シク研究致シテ居リマス⁽⁹⁾。第三表ハソノ結果ヲ纏メタモノデアリマス。

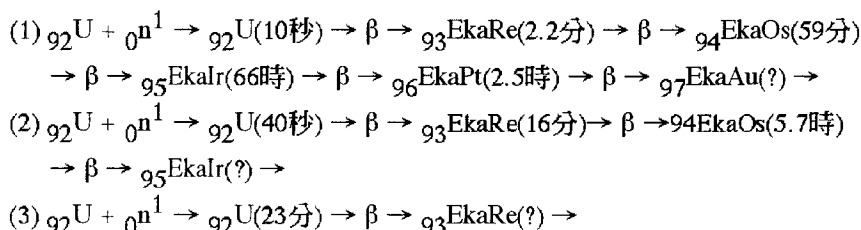
頁19

第三表

見掛ケノ超「ウラン」元素⁽¹⁰⁾

Hahn, Meitner 及 Strassmann

(1936 - 1937)⁽¹⁰⁾



之ヲ見マス、[「ウラン」ノ核内ニ一箇ノ中性子ガ這入ツタ爲ニ、次々ニ之カラ電子ガβ-ray activityトシテ放出サレテ、次々ニ新元素ガ出來テ行クノデアリマス。即チ之等ノ新元素ハ超「ウラン」元素(Transuranic elements)ト云ハレテ、地球上ニハ未ダコレ迄知ラレテキナカツタ新元素デアリマス⁽¹¹⁾、⁽¹¹⁾。之ヲ中性子ヲ用ヒテ人工デ作ツタコトニナルノデアリマスカラ、一時ハ甚ダ有名ニナツタモノデアリマス。

頁20

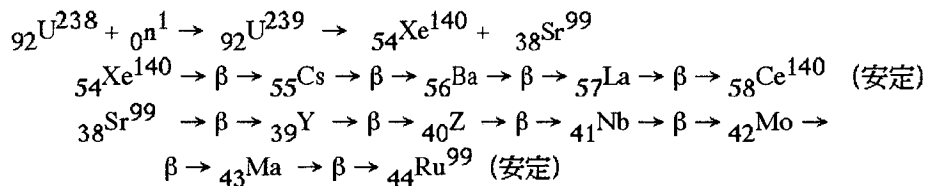
處ガ其ノ後更ニHahn及Strassmannガ中性子ノ照射ニヨツテ出來タ此ノ超「ウラン」元素ニ就テ注意深ク化學分析的ノ研究ヲ繼續シテキル内ニ、ソノ中ニ放射性ノBaノ存在スルコトヲ見付ケ出シタノデアリマス。之ハ全く大變ナコトデアリマシテ、前ニ色々ノ超「ウラン」元素ト考ヘテキタモノハ遙カニソレヨリモズツト輕イBa, La, Ge其ノ他ノ放射性元素デハナカラウカト云フコトニナルノデアリマス。Hahn及Strassmannハソレカラ直ニソノ内ニ放射性ノLaノ存在ヲ、更ニ放射性ノSr, Y及KrカXeノ放射性瓦斯ヲモ確メルコトガ出來タノデアリマシテ、愈々茲ニ化學的ノ見地カラ上ノ超「ウラン」元素ト考ヘタモノハ實ハMa, Ru等ノ同位元素デアツテ、EkaReヤEkaOs等デハナカラウト云フコトヲ指摘スルニ至ツタノデアリマス。

一般ニ原子番號ガ大キクナリ、原子ガ重クナルニ從ツテ、ソノ核内デハ之ヲ構成シテキル中性子ノ數ハ「プロトン」ノ數ニ比シテ著シク多クナツテ來ルモノデアリマス。デスカラ「ウラン」核ガ例ヘバBaトカXeノヤウナ輕イ元素ノ原子核ニ分

頁21

裂シタ直後デハ、ソレヲ分裂粒子ノ核内ニ於ケル中性子ト「プロトン」ノ數ノ比ハ正常ノソレヲ原子ノ場合ノ比ニ比較シテ著シク多イコトガ期待サレネバナラスノデアリマス。

第四表



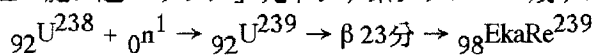
即チ第四表ニ示シマス様ニ、原子核ノ電荷ガ+92デアル ${}_{92}\text{U}$ ニ中性子ヲ衝テタ結果、一旦之ガ ${}_{92}\text{U}^{239}$ ナル複合核(Compound nucleus)トナツテ、ソレガ更ニ例ヘバ夫々+54ト+38ノ核電荷ヲモツタ ${}_{54}\text{Xe}$ ト ${}_{38}\text{Sr}$ ト云ツタヤウナ具合ニ分裂シタトシマス、 ${}_{54}\text{Xe}$ 及 ${}_{38}\text{Sr}$ ノ核内デノ中性子數ハ分裂ノ直後ニ於テ普通ノ最モ重イ Xe^{136} 及 Sr^{88} ニ比シテモ甚ダシク過剩トナツテ來ルモノト考ヘラレルノデアリマス。ソノ爲ニ此ノ過剩ノ中性子ハ「プロトン」ニ轉移シテハ次々ト電子ヲ放出シテ、生成元素ハ連鎖的ニソノ原子番號ヲ順々ニ増シテ行クモノデアルト推定出來ルノデアリマス。

頁22

此ノ新シイ「ウラン」分裂ノ現象即チFissionハ1939年1月ニ初メテ發表サレタノデアリマシテ、此ノ事ハ御話ノ一番最初ニ申述ベタ通りデアリマス。此ノ報告ガ發表サレマス直ニ各國デハ競ツテ此ノ現象ノ研究ガ行ハレダシタノデアリマス。

米國ソノ他デ「サイクロトロン」等ノ強力ナ中性子ヲ「ウラン」ニ衝テテソノ分裂生成物ノ化學分析ヲ致シマシタ結果、見出サレタ元素ハ大体次ニ列舉シタヤウナモノデアリマス。即チBr, Kr, Rb, Sr, Y, Mo, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, Laノ如キモノデ、此處ニ ${}_{42}\text{Mo}$ ト ${}_{51}\text{Sb}$ トノ間ノ元素ノ檢出ハ未ダ完了サレテキナイヤウデアリマス。

ソコデ現在ノ處、超「ウラン」元トシテ素ダソノママ殘サレテルキノハ、



ノ反應ニヨル ${}_{98}\text{EkaRe}^{239}$ ノミ位ノモノデアリマス。

頁23

第三圖ニ掲ゲマシタ寫眞ハ(第三圖 中性子ニヨル「ウラン」核分裂ノ反跳兩重粒子ノ飛跡⁽¹²⁾ 略略) University of California デHahnノ發見後間モナク(1939年2月)最初ニUノ分裂ヲWilson霧函ヲ撮ツタモノデアリマス⁽¹²⁾。此ノ寫眞ハ左右一對ノ立体寫眞デアリマシテ、中性子ノ照射ノ下ニ UO_3 ヲ「コロイオン」ノ薄片上ニ塗ツタモノヲ霧函内部ニ裝置シテソノ分裂粒子ヲ撮影シタモノデアリマス。夫々ノ視野ノ左上ノ邊ニ

「ウラン」薄層ノ同一點カラ反對方

頁24

向ニ反跳スルニツノ分裂粒子ノ飛跡ヲ認メルコトガ出來マス。

斯様ニシテHahnニ依ツテ推定サレタ分裂粒子ノ放出ハ直ニ物理的ノ事實トシテモ明瞭ニ觀測サレタ譯デアリマシテ、ソノ後引續イテ多クノ實驗ニ依ツテ色々ノ事實ガ續々ト立證サレタソデアリマス。ソレカラ同ジ中性子デモ速度ノ甚ダ緩イ方ノ(所謂熱運動程度ノ「エネルギー」ノ)緩速度中性子ガ此ノ分裂現象ニ最モ有効ニ働クモノデアルコトガ確定サレテ居リマシテ、之ハ此ノ場合ニ極メテ重要ナ事柄トナツテクルノデアリマス。此ノ緩速度中性子ノ場合ノ分裂確率ハ、即チ之ヲ吾々ハ普通ニ分裂ノ斷面積 σ_f ト云ツテ居リマスガ、 $\sigma_f = 2 \sim 3 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$ ト測定サレテヨリマス。

又「ウラン」核ガ一箇ノ中性子ヲ吸取シテカラ分裂ヲ起スマデノ時間ニ就テ⁽¹²⁾、Green及Alvarezハ0.003秒以下ト推定シ⁽¹³⁾、更ニFeatherハ 5×10^{-13} 秒デアルコトヲ測定シテヨリマス⁽¹³⁾。

扱上ニモ申述ヘマシタ如ク假リニXeトSrノニツノ分裂核ヲ假定致シタ場合ニ、此等ノニツノ元素ニシテ實際吾々ノ知ツテキル安定ナ最モ重イ原子

頁25

ト云ヘバXe-136トSr-88トデアリマス。從ツテ此ノ兩者ノ質量ノ和ハ224デアリマスカラ、U核ノ複合核239トノ間ノ差額デアル15箇ダケノ中性子ノ過剰ガ分裂核ニ出來テキル筈デアリマス。即チ此ノ15箇ノ中性子ハニツノ分裂核XeトSrトノ間ニ分配サレテキナケレバナラヌ譯デアリマシテ、分裂ノ直後ノ生成体ハ例ヘバ $^{54}\text{Xe}^{140}$ ト $^{38}\text{Sr}^{99}$ ト云ツタ様ナモノデアルカモ知レヌノデアリマス。ソコデ先程申上ゲタヤウニ、此ノ過剰ノ中性子ハ次々ニ「プロトン」ニ轉移スルコトニ依ツテ、電子即チ β 粒子ヲ核内カラ放出シテ段段此ノ中性子ノ過剰ヲ補正シテ行クモノト考ヘラレタノデアリマス。

處ガ之ト同時ニ此ノ著シク過剰ニナツテキル中性子ノ一部分ハ、又此ノ分裂ノ際ニU核カラ直接外部ニ放出サレルヤウナコトハナカラウカ。然カモ夫々一回ノ分裂毎ニ此ノ二次中性子ガ幾箇カ一箇以上ノアル數ヲ飛ビ出シテ來ハシナイダラウカト云フ考ヘガ起ツテ來ルノデアリマス。

果シテ若シ之ガ事實トスレバ、コレハ極メテ面白イコトデアルト云ハナケレバナラヌノデアリマ

頁26

ス。何故ナラバ今分裂ノ原因トナル入射中性子ガ夫々其ノ分裂ノ結果トシテ二箇或ハ三箇ノ中性子ヲ放出スルモノトシマス、此等ノ二次中性子自身ハ又夫々他ノ「ウラン」核ヲ分裂シテソレカラ放出サレル二箇乃至三箇ノ二次中性子ヲ新シク誘導スルコトニナリ、斯様ニシテソノ數ハ連鎖的ニ益々増加シ、擴大サレテ行くコトガ可能トナツテ參ル筈デアリマス。從ツテ此ノ様ナ連鎖的反應ガ反應系内ノ中途ヲ切斷サレルコトナシニ繼續サレルモノデアレバ、ソノ照射ヲ受ケタ資料中ニ在ル「ウラン」ノ全部ヲ爆裂シテ了フコトガ或ヒハ出來ルカモ知レヌノデアリマス⁽¹³⁾。即チ分裂反應ノ連鎖ノ可能性ノ問題ガ茲ニ起ルコトトナルデアリマス。

扱此ノ場合ニ先ヅ最モ重要ナ第一ノ問題トシマシテハ、勿論此ノ各分裂過程ニ際シテ實際ニ中性子ガ放出サレルモノデアルカドウカ、又幾箇ノ二次中性子ガ何ナ「エネルギー」ヲモツテ自由トナルカト云フ問題デアリマス。

第二ニハ、之等ノ二次中性子ガ放出後如何ナル經路ヲ辿ツテ行くカト云フ事デアリマシテ、先ヅ中性子ハ彈性的ノ衝突ヲ受ケテ本質的ニハ唯單ニ

頁27

ソノ方向ヲ變化スルダケノ場合ト、此ノ方向ノ變化以外ニ「エネルギー」ノ損失ヲモ受ケル場合、即チ非彈性的ノ衝突ヲ爲ス場合トガアル筈デアリマス。之等ノ内ノアルモノハソノ次ノ分裂ニハ少シモ關與スルコトナシニソノママ系外ニ逃レ去ツテ了フ部分モ考ヘラレル譯デアリマス。更ニ中性子ハ例ヘバ、 ${}_{92}\text{U}^{238} + {}_0\text{n}^1 \rightarrow {}_{92}\text{U}^{239} \rightarrow \beta \text{ 23分} \rightarrow {}_{93}\text{Eka-Re}^{239}$ ($\sigma_{\text{cap.}} = 1.3 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$)ノ様ナ反應ニヨツテモ吸取サレルノデアリマシテ、ソノ他吾々が有効ナ純粹ノ「ウラン」金屬ノミヲ使用シナイ限りニ於テハ、例ヘバ U_3O_8 ニ於ケル O_2 ノ如ク分裂ニ與ル「ウラン」以外ニソコニ共存スル他ノ物質元素ニ對シテモ矢張り又吸取サレテ無クナル場合ガアリ得ル筈デアリマス。從ツテ結局此ノ様ニシテ中性子ガ直接分裂ニ關與スルコトナク消失シテ行

ク處ノ中性子ノ損失ト、分裂ニ因ツテ新シク生ズル二次中性子ノ生成割合トノ兩者ガ互ニ對價シテ尚後者ニ充分餘リアルカドウカト云フ問題ニ係ツテクルノデアリマス。從ツテ此ノ場合一ツノ連鎖反應ガ繼續シ得ルカドウカヲ確メル爲ニハ、何ウシテモ先ツ之等凡テノ相對價スル

頁28

過程全部ノ實現ノ確率ニ就テ充分正確ナ知識ヲ準備セナケレバナラヌノデアリマス。

最後ニ第三ノ問題トシテ、中性子ノ照射ヲ受ケル「ウラン」物質ノ空間的ノ擴ガリガ同時ニ重要ナ役割ヲモツテクルコトガ豫想サレルノデアリマス。即チ發生シタ二次中性子ガ更ニ新シク次ノU核ニ衝突シテ之ヲ分裂スル迄ニハ、ソノ二次中性子ハ既ニ「ウラン」物質内ノ數cmノ程度ノ平均行路(mean free path)ヲ走ツテキルコトニナルノデアリマス。殊ニスグ後ニ述ベマス通り此ノ二次中性子ハ可ナリ高速度ノ中性子デアルコトガ推定サレマスノデ、モシアル場所ニ反應連鎖ガ起ツタトスレバ、二次中性子數ガ増加スルニツレテ之ハ益々ヨリ大キナ空間範圍ニ擴大サレテ行ク筈デアリマス。即チ「ウラン」物質ノ大サハ、此ノ目的ノ爲ニア尔特種ノ工夫ガナイ限り、中性子ノ平均自由行路ニ對シテ相當ノ大サヲ許サナケレバナラヌコトニナルノデアリマス。

サテソコデ、第一ノ問題デアリマス緩速度中性子ノ吸収ニ因ツテ「ウラン」核ガ分裂スル際ニ、二次中性子ガ果シテ實際ニ放出サレルモノカ、又

頁29

然ラバ幾箇ノ二次中性子ガドノ位ノ「エネルギー」ヲモツテ放出サレルノデアアルカト云フコトニナリマス。

此ノ問題ニ就テハ、Hahnノ發見後間モ無ク一昨年(1939)ノ中頃ニ京都ヲ私ガ之ヲ測定シテミタノデアリマスガ、其ノ結果デハ1箇ノ緩中性子ノ吸収ニヨル各分裂毎ニ放出サレル二次中性子ノ平均箇數ハ2.6箇トナリマシテ、更ニ此ノ二次中性子放出ノ際ノ「エネルギー」ハ大体5-10MeVノ程度デアルコトヲ推定致スコトガ出來マシタ。⁵⁾ 此ノ實驗デハ普通ノU₃O₈ノ2.5kgヲ試料トシテ使用致シテノデアリマスカラ、照射スル一次中性子ノ7%ガU₃O₈ニ吸収及散亂サレコトガ測定サレマシテ、見掛上ニハ核反應ノ連鎖ハ成立シナカツタノデアリマス。

此ノ各分裂毎ニ生ズル二次中性子ノ平均數ニ就テハ、ソノ他ParisノCurie-Joliotノ研究室、New YorkノFermiノ研究室、Dahlem等デモ夫々異ツタ實驗方法ガトラレテ測定サレマシタ結果、2箇乃至3箇ノ間ノ數値デ大体一致シテヨリマス(¹⁴)。

5) 萩原、Mem. Coll. Sc. Kyoto Imp. Univ. (A) 23, (1094)19. (¹⁵)

頁30

處ガソノ當時既ニBohrノ原子核水滴模型ノ理論ト云フノガアリマシテ、CopenhagenノBohrハ理論上緩速度中性子ニ依ル「ウラン」分裂ハ99.3%モ在ルU-238ニヨツテ起ルノデハナクシテ、却ツテ非常ニ頻度⁹⁾ノ少ナイU-235カU-234ガ中性子ヲ吸収スルノニ歸因スルデアラウト云フコトヲ暗示致シテヨツタノデアリマス(¹⁶)。

ソコデ此ノ様ナ理論トモ關聯シテ何トカ此ノ0.7%許リ在ルU-235ノミヲ分別シテ、之ニ就テ此ノ現象ヲ試驗致シテミタイト云フコトハ、ソノ當時カラ吾々ノ懸案デアツタノデアリマスガ、之ハ何分非常ニ困難ナ仕事デアリマシテ、普通ノ手段デハトモ出來兼ネルノデアリマス。唯ソノ頃カラ多少可能性ガアルヤウニ思ハレタノハ、初メNierガ普通ノ「ウラン」ノ同位元素ノ割合ヲ決定シタ時ニ用ヒタト同ジ様ナ分散度ノ極メテ高イ、大キナ質量「スペクトルメーター」デモツテ勿論極ク微量デハアリマセウガ此ノU-235ヲU-238カラ分別スルカ、或ハ最近ノ熱擴散ニ依ル同位元素ノ濃縮法ヲ之ニ適用致シマシテU-235ノ含有量ヲ濃縮スルコトデアリマス。ソシテ此ノ微量ノU-235

頁31

ニ就テ強クナ中性子源ヲ用ヒテ分裂ノ實驗ヲヤレバ當否何レカ判明シナケレバナラヌ筈デアリマス。

處ガ昨年(1940)ノ3月カラ4月ニカケテ米國ノColumbia大學ノDunning等トMinnesota大學ノNierトガ協力致シマシテ、遂ニ此ノ三種ノU-同位元素ノ試料ヲ質量「スペクトロメーター」ヲモツテ實際別々ニ別ケテ之ヲ取

出スノニ成功シタト云フコトヲ報告致シマシタ。ソウシテColumbiaノCyclotronヲ緩速度中性子ニ依ル此ノU-235ノ核分裂ヲ實驗致シマシタ處ガ、第五表ノヤウナ結果ヲ得タノデアリマス。

第五表
緩速度中性子ニ依ル、U-238, U-235 及 U-234 ノ
核分裂測定

Nier, Booth, Dunning 及 Grosse^(f 17)

(1) March 3, 1940.⁽¹⁴⁾

	U-同位元素	分裂/分	使用量
實驗 I	U-238	0.01±0.04	1.7×10 ⁻⁷ g (2×10 ⁻⁹ amp×10hr)
	U-235	0.50±0.05	1.7×10 ⁻⁷ g /139 (2×10 ⁻⁹ amp×10hr)
實驗 II	U-238	0.00±0.04	2.9×10 ⁻⁷ g (3.4×10 ⁻⁹ amp×11hr)
	U-235	0.81±0.10	2.9×10 ⁻⁷ g/139 (3.4×10 ⁻⁹ amp×11hr)

頁32

(2) April 3, 1940.^(f 18)

試料 I	U-238	1.0±0.1	3.1×10 ⁻⁶ g
	U-235	4.4±0.2	(3.1×10 ⁻⁶ g)/139
	U-234	1.5±0.1	—————
試料 II	U-238	0.5±0.2	~4.4×10 ⁻⁶ g
	U-235	10.3±0.5	(~4.4×10 ⁻⁶ g)/139
	U-234	7.8±0.5	—————

(3) Kingdon, Pollock 及 Booth, Dunning ^(f 19)

March 20, 1940.

	U-238	0.1±0.1	1.8×10 ⁻⁶ g (6×10 ⁻⁸ amp×3hr)
	U-(238+234)	3.7±0.4	1.8×10 ⁻⁶ g/139 (6×10 ⁻⁸ amp×3hr)

第六表

高速度中性子ニ依ル U-238 ノ核分裂測定

Nier, Booth, Dunning 及 Grosse ^(f 18)

April 3, 1940.

	U-同位元素	分裂/分 (Cd-遮蔽ナシ) (高速及低速中性子)	分裂/分 (Cd-遮蔽) (高速中性子ノミ)	使用量 α/分
試料 II	U-238	0.5±1	0.5±0.1	2.3±0.1
試料 III	U-238	1.4±0.2	1.4±0.2	5.5±0.2 (18.9×10 ⁻⁶ g)

頁33

即チ緩速中性子ニ依ル核分裂ハ純粹ノU-238ニハ殆ト關係ガナク、專ラU-235, U-234ニノミ關與スルモノデアアルコトガ之ニ依ツテ實證サレタコトニナツタノデアリマス。

第六表ハU-238ノ核分裂ガ緩速中性子デハ殆ト起ラナイト云フコトヲ示ス結果デアリマシテ、之ニ依ツテU-238ハ極ク小サイ確率デ、高速度中性子ノ分裂ダケヲ僅カニ受ケルコトガ了解出來ルノデアリマス。

從ツテ同位元素ニ分別サレテキナイ普通ノ「ウラン」ノ分裂確率ガ 10^{-24} cm²ノ單位デ2~3ト測定サレテキルノニ對シマシテ、U-235ノミノ分裂確率ハ上ノ實測カラ大体400-500ト云フヤウナ大キナ數値ガ與ヘラレルノデアリマス。ソコデ「ウラン」爆裂⁽¹²⁾ノ連鎖反應ノ實現ニ就テノ研究ニハ、マツ何トカモツト適當ナ實用的ノ方法ヲ考案シテ、此ノU-235ヲ大規模ニ分別シテ之ヲ兎ニ角作ルト云フコトガ目下極メテ重要ナ課題トナル譯デアリマス。

熱擴散ニ依ルU-235ノ濃縮實驗モ既ニUF₆ノヤウナモノノ蒸氣ニ就テ少シ許リハ試ミラレタノデ
頁34

アアリマスガ、今ノ處未ダ成功シテキナイヤウデアリマス。

何レニシマシテモ、此ノ問題ハ仲々ノ難問題デアリマスノデ、昨年ノ中頃上述Nierノ實驗以來今日迄殆ト此ノ方面ノ報告ハマダ見當ラナイノデアリマスガ、各國デ之ニハ、相當色々ノ考慮ガ拂ハレツツアルノデハナイカト考ヘラレマス⁽⁹⁾。

然シ將來萬一此ノU-235ガ相當量製造スルコトガ出來マシテ、之ト適當濃度ノ水素トノ混合物ノアル適當ノ大サノ容積ガ實現サレマシタ曉ニハ、"U-235"ハ有用ナル超爆裂性物質トシテソノ可能性ヲ多分ニモツテキルモノト期待サレナケレバナリマセヌ⁽¹⁵⁾。

又此ノ核分裂現象ヲ利用シテ、「ウラン」ヲ沃度等ノ窒化物⁽¹⁶⁾ニ混合シテ、之ヲ中性子照射ニヨツテ爆裂サセル研究モ一昨年来國ヤ佛國ニアツタノデアリマスガ、ソノ後ノ經過ハ不明デアリマス。

(昭和十六年五月二十三日)

(終)

註(福井による)

- (1) 萩原はウラン核分裂を核爆裂と表現している。ここの爆裂現象は核分裂現象のことである。
- (2) エネルギーの大きさのことか。
- (3) 萩原は質量が消滅してエネルギーに変換されることを Anihilation と言い核分裂からの放出エネルギーを説明しているが、スペルも間違っているし Annihilation は単に消滅ではなく対消滅だから、萩原は用語を間違っている。
- (4) 註(1)、さらに実際の爆裂を起こすことを意味している言葉とも受け取れる。
- (5) 米国では1941年後半からウラン核関連の研究報告を公表しなくなった。フランスは米国から同様な措置を取ることを要請されたが公開を主張した。しかし約半年後に非公開とした。
- (6) ギリシャのデモクリトスに始まる「原子は元来単一なものとする原子説」は物質が元素で構成されるという認識に発展し、1815年にはWilliam Prout(1785-1850)が、当時既知の元素の原子量が整数値に近似するので「各元素の原子は水素原子で構成される」と推測した。その後、原子量が整数値から外れる元素が少なくないことからProutの仮説は同位元素の発見まで顧みられなかった。19世紀末に原子の構成要素として電子が発見され、原子の構造が論じられ原子模型に発展していった。
- (7) 多分水素原子核と書くべきを核を書き落としたと思われる。
- (8) 霧函は電子等の荷電粒子の飛跡を観る装置で顕微鏡のように微小な粒子を拡大して観る装置ではないので表現がおかしい。
- (9) アインストプの存在比を頻度と言っている。
- (10) 表に₉₃EkaRe, ₉₄EkaOs, …という元素記号が使われている。これは、エカ元素と言われ、メンデレーエフが元素の周期律を発見したとき周期表中の空位に入るべきいくつかの元素の存在を予言し、これらに対して既知の同族元素の名にエカekaと言う接頭語を付した名称を与えた。eka はサンスクリット語で1を意味する。例えば、エカホウ素(スカンジウム)、エカケイ素(ゲルマニウム)、エカアルミニウム(ガリウム)。これら仮想元素は後に発見され上記()内の名称が与えられメンデレーエフの周期表の価値が確立した。エカマンガンは1937年E. SegrèとC. PerrierがD + Mo 反応で人工的に作った不安定な元素で、マスリウム

Masuriumと呼ばれていたが、現在はテクネチウムTechnetiumと呼ばれ、安定な核種が存在しないことが判った。エカマンガンの次位の元素をドヴィマンガンと呼ばれ、現在のレニウム Rhenium である。ドヴィ dvi はサンスクリット語で2を意味する。

メンデレーエフ: Dmitrij Ivanovich Mendeleev (1834.2.8. - 1907.2.2.) 1869年に周期律を発表。(生誕日、没日は太陽暦で表示した。ロシア暦は太陽暦より13日前の日付けである。)

なお、梶雅範は著書「メンデレーエフの周期律発見」⁽¹²⁰⁾にてメンデレーエフについて詳細な研究報告をしている。

(11) 放射性同位体の崩壊系列は、ウラン(・ラチウム)系列、アクチニウム 系列、トリウム系列が見つかった。α崩壊を順次続けるこれらの系列元素の質量数は、それぞれ、 $4n + 2$, $4n + 3$, $4n$ で表わされた。自然の完結性、対称性などから $4n+1$ 系列が存在することが期待されたが、戦前にはそのような崩壊系列を示す天然の放射性同位体は見つからなかった。しかし、HAHN, MEITNER 及び独立してCURIEらは ^{232}Th に中性子を衝突してできる放射性元素のうち比較的短い時間で崩壊する元素が $4n + 1$ 系列となることを同定した⁽¹¹⁾。戦後、ウランより重い放射性元素、超ウラン元素、が人工でつくられ $4n + 1$ 崩壊系列の完全な形が確認された。それらのうちで一番寿命が長いネプツニウム $^{93}\text{U}^{237}$ は半減期が 2.14×10^6 年であるから、推定される地球年齢より遙かに寿命が短い。従って地球創成のときにネプツニウムが作られていたとしても現在の地球上では既に消滅してしまっていることになる。一番寿命が長いネプツニウムの名前をとりこの系列をネプツニウム系列とよぶことが決められた。

黒田和夫⁽¹⁷⁾の研究によれば、アフリカのオクロ・ウラン鉱山では天然に原子炉内と同じ反応が起こり超ウラン元素が作られていた痕跡があった⁽¹²¹⁾。

(12) 中性子が吸収され核分裂が起こるまでの時間は爆裂反応を起こさせるには重要な事項だが萩原は簡単に触れただけで深く論じていない。

(13) 核分裂のこと。

(14) 論文に記載している期日。

(15) 低速中性子による ^{235}U の核分裂を全体に及ぼす連鎖反応で爆裂すると考えていたので、核分裂から発生する中性子の減速が必要だとしていた。これでは連鎖反応に時間が長くなり爆裂する前に発生した熱でウラン等が飛び散って爆裂にまで到達しないことなどの計算はしていなかった。萩原も大量分離された ^{235}U と中性子減速が爆裂のための重要要素と考えていた。

(16) 入手した写しには手書きで窒化はハロゲン化と訂正されている。多分印刷後、萩原が訂正記入したものと思われる。

(17) 黒田 和夫: KURODA, Paul Kazuo. 1939年東大理・化学科卒、故木村健二郎(東大化学教授)の弟子、1949年渡米、核宇宙化学・地球化学。Arkansas大名誉教授、Nevada大客員教授、Las Vegas環境研究所員、日本地球化学会名誉会員。

文献(福井が萩原の記述から作った文献リストである)

(f 1) STETTbacher, Alfred: "Der Amerikanische Super-Sprengstoff "U-235"." *Nitrocellulose* Nr. 11 (1940) 203-204.

(f 2) HAHN, O. und STRASSMANN, F.: "Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle." *Naturwiss.* 27 Jan. 6. (1939) 11-15.

(f 2-1) HAHN, STRASSMANN の上記論文の前に多くの研究がされている。

(1) FERMI, E., AMALDI, E., D'AGOSTINO, O., RASETTI, F. and SEGRÈ, E.: "Artificial Radioactivity produced by Neutron Bombardment." *Proc.Roy.Soc.London A* 146 (1934) 483-500.

(2) AMALDI, E., D'AGOSTINO, O., FERMI, E., PONTECORVO, B., RASETTI, F., and SEGRÈ, E.: "Artificial Radioactivity produced by Neutron Bombardment - II." *Proc.Roy.Soc.London A* 149 (1935) 522-558.

(3) CURIE, Irène, von HALBAN, JUN., Hans, et PREISWERK, Pierre: "Sur la création artificielle des éléments d'une famille radioactive inconnue, lors de l'irradiation du thorium par les neutrons." *Compt. Rend.* 200 (1935) 1841-1843.

- (4) CURIE, Irène, von HALBAN, JUN., Hans, et PREISWERK, Pierre: "Sur des éléments radioactifs formés lors de l'irradiation du thorium par les neutrons." *Compt. Rend.* 200 (1935) 2079-2080.
- (5) CURIE, Irène et SAVITCH, Paul: "Sur le radioéléments de période 3,5 heures formé dans l'uranium irradié par les neutrons." *Compt. Rend.* 206 (1938) 906-908.
- (6) CURIE, Irène et SAVITCH, Paul: "Sur la nature du radioélément de période 3,5 heures formé dans l'uranium irradié par les neutrons." *Compt. Rend.* 206 (1938) 1643-1644.
- (7) HAHN, Otto, MEITNER, L., und STRASSMANN, Fritz: "Ein neues langlebiges Umwandlungsprodukt in den Trans-Uranreihen." *Naturwiss.* 26 Juli 22 (1938) 475-476.
- (8) HAHN, Otto und STRASSMANN, Fritz: "Über die Entstehung von Radiumisotopen aus Uran durch Bestrahlen mit schnellen und verlangsamen Neutronen." *Naturwiss.* 26 Nov. 18 (1938) 755-756.
- (9) MEITNER, L., HAHN, O. und STRASSMANN, F.: "Über die Umwandlungsreihen des Urans, die durch Neutronenbestrahlung erzeugt werden." *ZS. f. Phys.* 106 (1937) 249-270.
- (10) MEITNER, Lise, STRASSMANN, Fritz, und HAHN, Otto: "Künstliche Umwandlungsprozesse bei Bestrahlung des Thorium mit Neutronen : Auftreten isomerer Reihen durch Abspaltung von α -Strahlen." *ZS. f. Phys.* 109 (1938) 538-552.
- (11) THIBAUD, Jean et COMPARAT, Paul: "Les groupes discrets de particules emis au cours de la desintegration de l'azote par les neutrons rapides." *Compt. Rend.* 207 Novembre 7 (1938) 851 - 853.
- (12) v. DROSTE, G. Frh: "Über Versuche eines Nachweises von α -Strahlen wrend der Bestrahlung von Thorium und Uran mit Radium + Beryllium-Neutronen." *ZS. f. Phys.* 110 (1938) 84-94.
- (f 3) FLÜGGE, S.: "Kann der Energieinhalt der Atomkerne technische nutzbar gemacht werden ?" *Naturwissenschaften* 23/24 (1939) 402 - 410.
- (f 4)
- (1) BOTHE, W.: "Zertrümerungsversuche an Bor mit Po- α -Strahlen." *ZS. f. Phys.* 63 (1930) 381-395.
- (2) BOTHE, W. und BECKER, H.: "Künstliche Erregung von Kern- γ -Strahlen." *ZS. f. Phys.* 66 (1930) 289-306.
- (3) BOTHE, W. und BECKER, H.: "Ein γ -Strahlung des Poloniums." *ZS. f. Phys.* 66 (1930) 307-310.
- (f 5)
- (1) CURIE, Irène et JOLIOT, F.: "Émission de protons de grande vitesse par les substances hydrogénées sous l'influence des rayons γ très pénétrants." *Compt. Rend.* 149 (1932) 273-275.
- (2) CURIE, Irène et JOLIOT, F.: "Effet d'absorption de rayons γ de très haute fréquence par projection de noyaux légers." *Compt. Rend.* 149 (1932) 708-711.
- (3) CURIE, Irène et JOLIOT, F.: "Projections d'atomes par les rayons très pénétrants excités dans les noyaux légers." *Compt. Rend.* 149 (1932) 876-877.
- (4) CURIE, Irène et JOLIOT, F.: "Sur la nature du rayonnement pénétrant excité dans les noyaux légers par les particules α ." *Compt. Rend.* 149 (1932) 1229-1232.
- (5) CURIE, P. et ROSENBLUM, M. S.: "Sur la structure fine du spectre magnétique des rayons α du radioactinium." *Compt. Rend.* 149 (1932) 1232-1235.
- (6) CURIE, Irène, JOLIOT, F., et SABEL, P.: "Quelques expériences sur les rayonnements excités par les rayons α dans les corps légers." *Compt. Rend.* 149 (1932) 2208-2211.
- (f 6) CURIE, Irène et JOLIOT, P.: "Projections d'atomes par les rayons très pénétrants excités dans les noyaux légers." *Compt. Rend.* 149 (1932) 876-877.
- (f 7)
- (1) CHADWICK, J.: "Possible Existence of a Neutron." *Nature* 129 Feb. 27 (1932) L. 312.
- (2) CHADWICK, J.: "The Existence of a Neutron." *Proc. Roy. Soc. London A* 136 (1932) 692-708.
- (f 8) NIER, Alfred O.: "The Isotopic Constitution of Uranium and the Half-lives of the Uranium Isotopes I." *Phys. Rev.* 55 Jun. 5 (1939) 150-153.

(f 9)

- (1) FERMI, E., AMALDI, E., D'AGOSTINO, O., RASETTI, F., and SEGRÈ, E.: "Artificial Radioactivity produced by Neutron Bombardment." *Proc. Roy. Soc. London A* 146 (1934) 483-500.
- (2) AMALDI, E., D'AGOSTINO, O., FERMI, E., PONTECORVO, B., RASETTI, F., and SEGRÈ, E.: "Artificial Radioactivity produced by Neutron Bombardment - II." *Proc. Roy. Soc. London A* 149 (1935) 522-558.
- (3) MEITNER, L., HAHN, O., und STRASSMANN, F.: "Über die Umwandlungsreihen des Urans, die durch Neutronenbestrahlung erzeugt werden." *ZS. f. Phys.* 106 (1937) 249-270.
- (4) HAHN, Otto, MEITNER, L., und STRASSMANN, Fritz: "Ein neues langlebiges Umwandlungsprodukt in den Trans-Uranreihen." *Naturwiss.* 26 Juli 22 (1938) 475-476.
- (5) HAHN, Otto und STRASSMANN, Fritz: "Über die Entstehung von Radiumisotopen aus Uran durch Bestrahlen mit schnellen und verlangsamten Neutronen." *Naturwiss.* 26 Nov. 18 (1938) 755-756.

(f 10) HAHN, Otto, MEITNER, L., und STRASSMANN, Fritz: "Ein neues langlebiges Umwandlungsprodukt in den Trans-Uranreihen." *Naturwiss.* 26 Juli 22 (1938) 475-476.

(f 11)

- (1) CURIE, Irène, von HALBAN, JUN., Hans et PREISWERK, Pierre: "Sur la création artificielle des éléments d'une famille radioactive inconnue, lors de l'irradiation du thorium par les neutrons." *Compt. Rend.* 200 (1935) 1841-1843.
- (2) CURIE, Irène, von HALBAN, JUN., Hans, et PREISWERK, Pierre: "Sur la création artificielle d'éléments appartenant a une famille radioactive inconnue, lors de l'irradiation du thorium par les neutrons." *J. de Phys. et Rad.* 6 No.9 Sept (1935) 361-364.
- (3) HAHN, Otto und MEITNER, Lise: "Die Künstliche Umwandlung des Thoriums durch Neutronen: Bildung der bisher fehlendenradioaktiveen $4n + 1$ - Reihe." *Naturwiss.* 23 Mai 17 (1935) 320.

(f 12) CORSON, D. R. and THORNTON, R. L.: "Disintegration of Uranium." *Phys. Rev.* 55 (1939) L. 509.

(f 13)

- (1) FEATHER, N: "The Time Involved in the Process of Nuclear Fission." *Nature* 143 April 8 (1939) L. 597-598.
- (2) GREEN, G. K. and ALVAREZ, Luis W.: "Heavily Ionizing Particles from Uranium." *Phys. Rev.* 55 (1939) L. 417.

(f 14) 核分裂当り放出される中性子数は多くの研究者による報告がある。幾つかを列挙しておく。

- (1) v. HALBAN, JUN., H., JOLIOT, F., and KOWARSKI, L.: "Liberation of Neutrons in the Nuclear Explosion of Uranium." *Nature* 143 March 18 (1939) L. 470-471.
- (2) v. HALBAN, JUN., H., JOLIOT, F., and KOWARSKI, L.: "Number of Neutrons Liberated in the Nuclear Fission of Uranium." *Nature* 143 April 22 (1939) L. 680.
- (3) ANDERSON, H. L., BOOTH, E. T., DUNNING, J. R., FERMI, E., GLASOE, G. N., and SLACK, F. G.: "The Fission of Uranium." *Phys. Rev.* 55 (1939) L. 511-512.
- (4) ANDERSON, H. L., FERMI, E., and HANSTEIN, H. B.: "Production of Neutrons in Uranium Bombarded by Neutrons." *Phys. Rev.* 55 (1939) L. 797-798.
- (5) SZILARD, Leo and ZINN, Walter H.: "Instantaneous Emission of Fast Neutrons in the Interaction of Slow Neutrons with Uranium." *Phys. Rev.* 55 (1939) L. 799-800.
- (6) ANDERSON, H. L., FERMI, E., and SZILARD, Leo: "Neutron Production and Absorption in Uranium." *Phys. Rev.* 56 Augst 1 (1939) 284-286.
- (7) ZINN, W. H. and SZILARD, Leo: "Emission of Neutrons by Uranium." *Phys. Rev.* 56 No.7 October 1 (1939) 619 -624.

(f 15) HAGIWARA, Tokutaro: "Liberation of Fast Neutrons in the Nuclear Explosion of Uranium Irradiated by Thermal Neutrons." (ウラニウムの熱中性子照射の核分裂に伴ふ高速度二次中性子の放出について.) *Memoirs of the College of Science, Kyoto Imperial University, Series A*, 23 (1940) 19-32.

(f 16)

- (1) BOHR, N.: "Disintegration of Heavy Nuclei." *Nature* 143 Feb. 25 (1939) L. 330.
- (2) BOHR, N.: "Resonance in Uranium and Thorium Disintegrations and the Phenomenon of Nuclear Fission." *Phys. Rev.* 55 (1939) L. 418-419.
- (3) BOHR, Niels and WHEELER, John Archibald: "The Mechanism of Nuclear Fission." *Phys. Rev.* 56 September 1 (1939) 426-450.
- (f 17) NIER, Alfred O., BOOTH, E. T., DUNNING, J. R., and GROSSE, A. V.: "Nuclear Fission of Separated Uranium Isotopes." *Phys. Rev.* 57 March 15 (1940) L. 546.
- (f 18) NIER, A. O., BOOTH, E. T., DUNNING, J. R., and GROSSE, A. V.: "Further Experiments on Fission of Separated Uranium Isotopes." *Phys. Rev.* 57 (1940) L. 748.
- (f 19) KINGDON, K. H., POLLOCVK, H. C, BOOTH, E. T., and DUNNING, J. R.: "Fission of the Separated Isotopes of Uranium." *Phys. Rev.* 56 (1939) L. 749.
- (f 20) 梶 雅範: 「メンデレーエフの周期律発見」 北海道大学図書刊行会 1997年2月発行393頁。
- (f 21)
- (1) KURODA, Paul K.: "On the Nuclear Physical Stability of the Uranium Minerals" *J. Chem. Phys.* 25 (1956) L. 781-782.
- (2) KURODA, Paul K.: "*The Origin of the Chemical Elements and the Oklo Phenomenon*" Springer-Verlag, Berlin, 1982.

復刻 ー 2 陸軍東二造研究所の記録「ウラン (U) ニ就テ」⁽¹⁾

原文は陸軍と言う文字が印刷された用紙に手書きされた軍隊特有の濁点のないカタカナ文である。明らかな誤字や書き間違いが散見するが校正をした形跡はない。この再録では適当に濁点をつけ漢字は原文の文字で再現した。原文通りにすると紙数が増えるので、頁2以降原ページ番号を示してこの冊子の方式に書き換えた。肩付の(番号)は福井による註である。

頁1

東二造研究所⁽²⁾

昭十八年四月

ウラン (U) ニ就テ

実用化ニ對スル總合意見

U-235 ニ関スル研究ハ必要ナルヲ以テ次ノ方針ニ

依リ研究ヲ促進スルノ要アルモノト認ム

一、研究ノ実施ハ委員編成トシ軍ガ主宰シ官民ノ學

者ヲ以テ之ニ當ツ

二、目下ノ所當所ヲ主務トシ研究ノ進展ニ從イ航空関

係其ノ他協カス

頁2

1、昭和十五年十一月獨誌Nitrocellulose上ニ"アメリカノ超爆薬 U-235"ト題シA.Stettbacher⁽³⁾ノ通俗ノ記載(別紙⁽⁴⁾参照)アリ。ソノ中ニ世界中ノ「ウラン」研究者ノ名前ヲ挙ゲアル中ニ日本ノ萩原氏ノ記載アリ

2、昭 16.5 京大理学部講師タル前記萩原篤太郎ガ海軍ニ於テ"超爆裂性原子、U-235 ニ就テ"ト題スル講演ヲナシアリ。ソノ記事⁽⁵⁾ハ当時迄ノ概況並ニ同氏ノ意見ヲ識ルニ至ルヲ以テ以下其ノ要点ヲ述ブ

イ、米国ハ昭 14 (1939年) 以来該研究ヲ盛ニ実施シ現在迄大ニ發展進歩セリ但シ該問題ノ基礎ノ発見者ハ米国ニアラズシテ寧ロ独国ナリ(同年一月独人 Hahn 及 Strassmann⁽⁶⁾)

ロ、其ノ発見事項トハ「ウラン」ニユルイ速度ノ中性子即チ Slowneutron ヲ衝ツルトコノ中性子ハコノ「ウラン」ノ原子核ニ吸収サレテ之ト同時ニ所謂"重原子核ノ分裂"ヲ起シコノ際莫大ナル「エネルギー」ノ放出ヲ伴フノ事實ナリ(尚スベテ原子核ハ「プロトン」即チ水素原子核トコノ中性子トノミカラ構成セラル、コトヲ一般ニ認メラル、ニ至レリ)

頁3

ハ、是等ノ研究ニ最モ強カナル中性子源或ハ放射線源トシテ活躍シアルモノガ Cyclotron ナル装置ナリ

ニ、U₂₃₅ トハ何カ

「ウラン」ニハ現在同位元素三種知ラレアリテ自然界ニ在ル普通「ウラン」中ニ於ケル割合ハ昭 14 米国ニ於テ測定ノ結果ニヨレバ次ノ如シ⁽⁷⁾

同位元素	⁹² U ₂₃₈	⁹² U ₂₃₅	⁹² U ₂₃₄
普通ウラン中ノ 存在割合 %	99.274	0.72	0.006

(⁹²ハ原子番号即チ核電荷数235ハ原子量)

又コノ 0.720 % 存在ノU₂₃₅ ガ分裂能旺盛ナルコトヲモ米国ニ於テ研究サレタリ。

ホ、「ウラン」ハ夫々ソノマ、ニテモ緩除ニ自然ニ崩壊シツ、アルモノニシテ例ヘバ ${}_{92}\text{U}_{238}$ ハソノ半減期 4.5×10^9 年ナルガ如シ但シ人工的ニ U ニ中性子ヲアツルト比較的短 時間ニ原子核ノ分裂ヲ起スコト、ナル

へ、爆裂機構ノ概略⁽⁸⁾

U ガ中性子ニアタリ分裂シテ他ノ元素ニナル際過

頁4

剩ノ中性子ガ生ジコノ二次中性子ガ更ニ他ノU ニ作用シ逐次連鎖反应的ニ全 U ニ分裂ヲ起ス可能性アリ是即チ強爆薬トシテノ性状ナリ

ト、但シ前記ノ如クコノ爆裂的連鎖分裂ハ U_{235} ノミガ旺盛ナリ 故ニ爆裂ノ連鎖反応ノ応用ノ為ニハ何レカ適當ナル实用的方法ヲ考案シテ普通ウランヨリコノ U_{235} ヲ大規模ニ分別製造スルコトガ目下ノ極メテ重要ナル課題ナリ

チ、若シ万一コノ U_{235} ガ相当量製造スルコトガ出来、之ト適當濃度水素トノ混合物ノ或ル適當ノ大サノ容積ガ実現サル、暁ニハ U_{235} ハ有用ナル起爆裂性物質⁽⁹⁾トシテ其ノ可能性ヲ多分ニ有スルモノト期待サレル

リ、又「ウラン」ヲ沃度等ノ窒化物⁽¹⁰⁾ニ混合シテ之ヲ中性子照射ニ依リ爆発セシムル研究モ昭 14、米国、佛国ニ於テ実施セラレタルモノノ後ノ経過不明ナリ。萩原氏ノ講演以上ノ通り。

頁5

3. 理研仁科ノ所ニテハ前年来矢崎為一ハ仁科ト共ニ U 原子核崩壊ニ関スル研究ヲナシアリテ已ニ米国会ヨリモ注目サル。矢崎ハ在米間コノ方面ノ研究ヲナシアリ 帰朝後アメリカニ次グ大ナル Cyclotron ヲ完成セルハ一般ニ知ラレアル処ナリ⁽¹¹⁾
4. 矢崎ハ理研ニ於テ目下 U_{235} ノ分解ニ就キ研究中ニシテ相当ノ進展ヲナシアルモノ、如シ⁽¹²⁾ (同氏ノ都合ニヨリ意見ヲ聞クヲ得ザリキ)
5. U.S.Naval Institute (1940 年号) ノ報告ニ依ルト仁科ガ U_{238} ヲ U_{235} ニ変スルコトニ成功セリト報ジアリテコノ種ノコトニ関心ヲ持テル如シ⁽¹³⁾
6. 目下 仁科ノ室ニテ木越氏ガ U_{235} ヲ U_{238} トノ混合物ヨリ熱拡散法ニ依リ分離スル方法ニ就テ研究中 ナリ⁽¹⁴⁾
7. 東大 木村 (健) 教授ノ話ニヨレバ U_{235} ノ分解ヲ徐々ニ起サシムル方法⁽¹⁵⁾ アリテコノ「エネルギー」ヲ飛行機ノ燃料的ニ利用シエバ恐ルベキコトナリ而シテ U ヲ分解 セシムル中性子源ハ「ラドン」ト「ベリリ

頁6

ウム」ヨリモ得ラル、モノナリ。世界ニ於ル「ウラン」鉱石ノ 産額ハ年 3 ~ 4 万トン ニシテソノ大部分ハ北米合衆国 ナリ。ソノ主ナル鉱石、

閃ウラン鉱 (瀝青ウラン pitchblende)	UO_3	75 ~ 85 %	
ウラン 灰鉱	UO_3	53 ~ 67 %	
灰ウラン鉱	UO_3	52 ~ 62 %	ナリ

因ニ本邦ニ於ケル「ウラン」鉱産地ハ次ノ如クナルモ未ダ採取实用スルニ至ラズ。凡テ「アメリカ」ヨリ輸入ニ仰ギタルモノナリ (本邦ニ於ケル埋蔵量不明)

○ 福島県伊達郡飯坂村

福岡県田川郡安真木村 1 ton の雲母 U_3O_8 100 gr (U_3O_8 約 90 %)

福島県石川町付近	サマルクス石 ⁽¹⁶⁾	(UO_2 約 20 %)
岐阜県恵那郡苗木地方	フェルグソン石	(UO_3 1 ~ 2 %)
	恵那石	UO_2 3.11 %
○ 朝鮮黄海道海月面	フェルグソン石	UO_3 8.4 %
満州国海城	ユークセン石	UO_2 3.8 %

○ は有望ナル産地トス。

頁7

東亜共栄圏内 一 目下ノ所資源発見サレアラズ

Dr. Alfred Stettbacher ガ「アメリカ」ノ超爆薬 U_{235} ニ就キ Nitrocellulose 1940 Nr. 11 ニ記載セル所ヲ摘録セ
 バ下記ノ如シ^{(3),(4)}

第一次欧州大戦ノ際「ステッキ」頭部ノ大サニテ地面ニ大キナ漏斗孔ヲ作ルトイウ不思議爆薬ガ「アメリ
 カ」ニ発見サレタリトイウ夢物語的ナル報道アリタルガ最近「アメリカ」新聞ハ驚クベキ性能ヲ有スル新爆
 薬ノコトヲ報ジアリ。即チ「ウラン」元素ヨリ原子量235ノ「ウラン」同位元素ヲMinneapolis 大学⁽¹⁷⁾ 物理
 教室ニテ分離ニ成功セリトノコトニシテ該 U_{235} ガ当ノ爆薬⁽¹⁸⁾ ナリ 発見者 Dr. Nier ノ説明ニ依レバコノ
 「ウラン」454 gr ノ有スル「エネルギー」ハ1200万立ノ「ベンチン」ノソレト同一ナリ。「ウラン」ハ
 99.27 % ノ U_{238} 0.72 % ノ U_{235} ヨリナレルモノニシテ当時其ノ製造ハ極ク僅少ナリシ為科学的或ハ軍事的價
 値ハ無カリシモノナリ。然シ多量ニ製造出来ルコトトモナレバ (不可能ナルニアラズ) 熱⁽¹⁹⁾ 工学ヤ火薬学
 方

頁8

面ニ一大変革ヲ来スベシ U ノ人工崩壊ニヨル「エネルギー」ニ就テハ数年来火薬専門家ノ知ル処ニシテ次
 ノ如ク沢山ノ研究者ニヨリ問題トシテ取上ゲラレアリ⁽²⁰⁾ Alfred. O. Nier Phys. Review 57 546 (1940)(分離セ
 ル「ウラン」同位元素ノ核分裂ニ就テ)⁽²¹⁾ 萩原氏(京大) C. 1940 II. 10 (中性子照射ニ依ルウラン核爆発ニ於
 ケル中性子ノ分離ニ就テ)⁽²²⁾ P. B. Abelson Phys. Review 56 1 - 9 (1939)(中性子照射ニテ分離セル「ウラン」
 分裂生成物ニ就テ)⁽²³⁾ J. Thibaud, A. Moussa, I. N. Golowin C. 1940 I. 2126, 3888⁽²⁴⁾ L. A. Turner Phys. Rev.
 57 157 (1940)⁽²⁵⁾ 文献ヲ引用スルニ「ウラン」元素ハ「ラジウム」ヲ投射シツ、自然崩壊シテ鉛ト「ヘリウ
 ム」トニ

頁9

変化シ⁽²⁶⁾ コノ際「エネルギー」ヲ放散シ1/1000ノ質量ニ減ズ⁽²⁷⁾。Einsteinノ説ニ依レバ「エネルギー」単位
 一「エルグ」ハ「ウラン」 1.9×10^{-20} gr ニ相当シ1 grノ「ウラン」ハ完全崩壊ニ於テ 9×10^{20} 「エルグ」即チ
 215億kCalノ「エネルギー」ヲ出ス。「ゼラチンダイナマイト」ノ13500 kg又ハ「ベンチン」ノ3400,000立ニ
 当ル但シ實際ハ照射分裂操作ニヨルモ僅少ノモノガ完全崩壊シテ「エネルギー」ヲ投射シ大部ハ低原子量ノ
 モノトナルニ過ギズ從テEinsteinノ云ウガ如キ数量ノ「エネルギー」ヲ出スニ至ラズシテ前述ノ如ク1 grノ
 U_{235} ハ1200万立/454 = 27,000立ノ「ベンチン」ニ相当スル「エネルギー」ヲ出ス程度ナリ。ソレテモ充分莫
 大ナル「エネルギー」ヲ出スモノト云フヲ得ベシ。「ウラン」ノ鉛ト「ヘリウム」ヘノ自然崩壊ハソノ半
 減期約 4.5×10^9 ナル為之ニ伴フ熱量ハ顯著ナラズ。今日迄之ヲ瞬間的ニ崩壊シ得ル方法ナカリシガ為、爆発
 セシムルガ如キ莫大ナル「エネルギー」ヲ放出シ得ザリシナリ。

頁10

然ル所1938年人工的ニCyclotronヲ用イ生成セル中性子ノ照射ニ依リテ「ウラン」ヲ急激ニ崩壊セシメ得ルニ
 至ル由。Flügge (Nat. wissenschaften 27 402-410 (1939))⁽²⁸⁾ノ計算ニヨレバ瀝青ウラン鉱 一 立方米 (重量4.2ton)

ガ中性子ニテ崩壊スルトセバ、1/100 秒ニテ 27×10^{15} 米・珪ニ相当スル「エネルギー」ヲ発生スルコト、ナリGoldauerノ山崩レノ300倍ノ仕事ニ当ル、コレヲ事柄ヲ確認センガ為「サハラ」ノ某地ニテ実験セントノ企テアリタリト云フ。「ウラン」同位元素 U_{235} ヲ水ニ漬スコトニ依リ原子分裂ノ「エネルギー」ヲ生ズルモノニシテ之以外ニ反応ヲ起ス方法ナキガ如シ。水ガスノ如キ状況ニテ「エネルギー」発生源トナルハ全く了解シエズ⁽²⁹⁾ 此ノ原子崩壊ノ現象ハ軍事的ニ期待セラレアルモノニシテ希望ノ崩壊時期ニ該元素ノ「エネルギー」ヲ城砦ノ灰燼ニ將又「タンク」ヤ船ノ石炭庫ヲ一瞬ニシテ熔シ壞スニ利用スルニ成功スルノ日ノ到来スルヲ思ハシム

以上

註 (福井による註)

(1) 1983年8月13日土曜日読売新聞夕刊の"イブニングすべし"欄に黒田和夫⁽¹⁻¹⁾がこの「記録」を入手した経緯がニューヨーク支局本池滋夫記者(当時)によって明らかにされている。この新聞記事のコピーは J. C. WARF⁽¹⁻²⁾ から送られてきたものである。

(1-1) 黒田 和夫: KURODA, Paul Kazuo. 1939年東大理・化学科卒、故木村健二郎(東大化学教授)の弟子、1949年渡米、核宇宙化学・地球化学。Arkansas大名誉教授、Nevada大客員教授、Las Vegas環境研究所員、日本地球化学会名誉会員。アフリカのオクロ・ウラン鉱山で天然に原子炉内と同じ反応が起こり超ウラン元素が作られていた痕跡を見つけた。

"On the Nuclear Physical Stability of the Uranium Minerals" *J. Chem. Phys.* 25 (1956) L. 781-782.

"The Origin of the Chemical Elements and the Oklo Phenomenon" Springer-Verlag, Berlin, 1982.

(1-2) WARF, James C.: Professor Emeritus of Chemistry, University of Southern California, Los Angeles, CA 90089-1062, USA.

(2) 東京第二造兵廠研究所の略称。第二造兵廠では主として火薬の研究と生産をしていた。ウラン爆弾はここが扱っている爆薬の一つとして取り上げられた。因に第一造兵廠では大砲、鉄砲等の砲弾と通信機器の開発と生産をしていた。

(3) STETTbacher, Alfred: "Der amerikanische Super-Sprengstoff "U-235"." *Nitrocellulose* Nr.11 (1940) 203 - 204.

(4) 註(3)の記事を村田勉少佐が訳し、"アメリカの超爆薬 "U-235"." と題し火廠雑報第31号(火火訳第25号)として印刷された。海軍火薬廠発行の普雑報印刷物で秘密文書ではないので、東二造研の陸軍軍人も入手できたと思われる。

(5) 萩原篤太郎は昭和十六年(1941年)五月二十三日、平塚の海軍第二火薬廠で講義をした。後日、火薬廠の要請で萩原自らが書いた講義録が昭和十六年(1941年)七月二十四日付けで二火廠雑報第三三三号として印刷された。(復刻一) 講義は数多くの欧米の文献を整理し京大での実験結果を含めて丁寧に説明している解説だが、東二造研の筆記者は重要な説明の殆どを省略している。

(6) HAHN, Otto und STRASSMANN, F.: "Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle," *Naturwissenschaften* 27 (Jan. 6, 1939) 11 - 15.

(7) この表の出典は、NIER, Alfred O.: "The Isotopic Constitution of Uranium and the Half-lives of the Uranium Isotopes I." *Phys. Rev.* 55 Jun. 5 (1939) 150-153.

(8) 萩原はウランの核分裂を核爆裂と言った。註(22)の論文表題を英文では Nuclear Explosion とし、邦文では核分裂と書いている。核分裂を核爆裂と言ったので本来の爆裂とが言葉として混在している。「記録」

では講義内容が抄記されている上、萩原のこの表現の初出の説明を省いたので、どちらの現象のことを指しているのか不明確で読者を混乱させる源となっている。また、ウラン核分裂連鎖が直ちに強爆薬となると単純に言っているのは、中性子減速を必須と考え反応時間を短くせねばならないことを認識していなかったと思われる。

(9) この起と言う文字は抄記者が超を起と書き違えたことは明らかである。起爆裂性と言う表現は奇異な言葉だし註(5)の講義録が無くても抄記を注意深く読むとこの節の文言は講義の結語で表題の文言を使って講義を終えるのが一般的慣習である。もし起爆薬ならば、それは新しい事項だからその説明をしていなくてはならない。さらに萩原は熱核融合について言及していない。仍て起は超の誤記だと判定すべきで講義録では超と書かれてある。

(10) 講義録が印刷された後に萩原は自分が所有している印刷冊子にハロゲン化物と訂正している。

(11) 昭和史の天皇一原爆投下: 読売新聞社編、角川文庫、昭和63年(1988年)11月15日、に理研仁科研と京大荒勝研における原爆関連の研究状況についての詳細な記述がある。サイクロトロンについては 99頁に記述されている。

(12) 註(11)の本の 104頁。理研では仁科研を含めてウラン核分裂の研究はしていなかった。ここの分解は核分裂ではなくアイソトープ分離のことである。矢崎は竹内証である。竹内のウランアイソトープ分離は全く成功していなかった。なお、核分裂を分解と表現している場合もある。筆記者の用語表現は不統一である。

(13) U_{238} ヲ U_{235} ニ変スルと言う表現はアイソトープ分離のことである。

(14) 木越は熱拡散分離の為にガス状ウランのフッ化ウランを製造していて分離は註(12)で説明したように竹内証が担当していた。作業内容と人物とが混乱した記述は筆記者の認識が曖昧だったことを示している。

(15) この分解は核分裂のことである。ここでは原子炉のようにエネルギーをゆっくりと取り出す核分裂連鎖を言っているのだが Herbert George WELLS の SF 小説の域の話に過ぎない。核分裂エネルギーを飛行機の推進力に利用すると木村健二郎教授が言ったとは思えないが、陸軍内で核分裂についての理解度が推測できる記述である。

(16) サマルスク石の書き間違い。

(17) Minnesota 大学の書き間違い。

(18) ウランを通常の爆薬のように表現している。萩原が核分裂を核爆裂と表現したことによって表現が混乱したと思われる。

(19) 手書きの原文では 2 文字のように見えるが読売新聞社科学部の記者達の判読では筆の運びの癖からこれは 1 文字で 熱 とすべきだと判定された。

(20) 以下の数篇の論文は Stettbacher が記載したリストから筆記者が原論文題目の訳を書いた。それらの掲載 journal と原題目を示した。

(21) NIER, Alfred O., BOOTH, E. T., DUNNING, J. R., and GROSSE, A. V.: "Nuclear Fission of Separated Uranium Isotopes" *Phys. Rev.* 57 (1940) L. 546.: "Further Experiments on Fission of Separated Uranium Isotopes" *ibid.* L. 748.

(22) HAGIWARA, Tokutaro: "Liberation of Fast Neutrons in the Nuclear Explosion of Uranium Irradiated by Thermal Neutrons." (ウラニウムの熱中性子照射の核分裂に伴ふ高速度二次中性子の放出について。) *Memoirs of the College of Science, Kyoto Imperial University, Series A*, 23 (1940) 19-32.

(23) ABELSON, Philip: "An Investigation of the Products of the Disintegration of Uranium by Neutrons" *Phys. Rev.* 56 No. 1 (1939) 1-9.

(24) 論文不明。

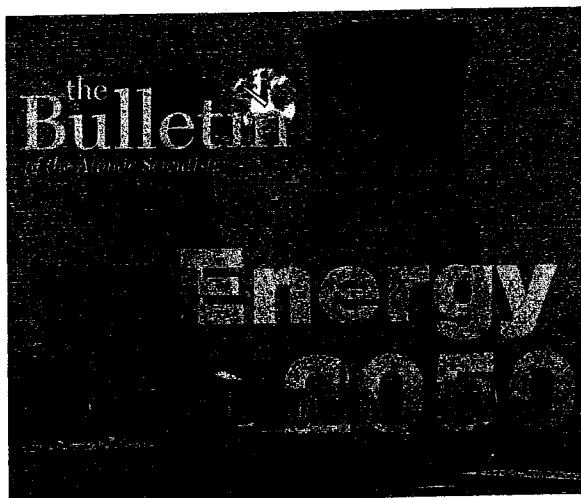
(25) TURNER, Luis A.: "The Nonexistence of Transuranic Elements" *Phys. Rev.* 57 (1940) L. 157.

(26) この文節は Stettbacher の原文と違うので翻訳者村田が間違っただけなのか筆記者が間違っただけなのかは判らない。筆記者がウラン自然崩壊系列を理解していればこのような文章は書かなかったと思われる。投射と言う表現は 8 行後にも現われる。

(27) 1/1000の質量となると言う表現は Stettbacher の原文ではウランが自然崩壊して鉛とヘリウムになるまでにウラン質量の1/1000 がエネルギーとなって放出されるとなっている。

(28) FLÜGGE, S.: "Kann der Energieinhalt der Atomkerne technische nutzbar gemacht werden ?" *Naturwissenschaften* 23/24 (1939) 402-410.

(29) 水がエネルギー発生源となると言うことについては、山本洋一 YAMAMOTO Yoichi : 『日本製原爆の真相』創造、東京、昭和51年(1976年)8月15日発行の54頁に陸軍内部でのこれにまつわる話が記述されている。即ち、陸軍兵器行政本部ではウランを水中に入れると爆発するという認識があつてその理由を総務部第一課新美中佐から第八陸軍技術研究所に「ウラニウムの水中爆発」という文書で質問し昭和十八年(1943年)四月十七日の日付けで庶務科長近松穰からウランは普通では爆発しない、詳しくは理研の仁科に尋ねるようにと秘密扱回答文書を出したと記述されている。ウラン核分裂連鎖維持に必要な一つの方法として核分裂からの放出中性子の減速を重水中で行う(この方法では反応時間が長くなるので、爆発にならないが、当時は仁科はじめ殆どの研究者はこの減速中性子による核分裂連鎖で爆発が起こると考えていた)のを、ウランを水中に入れると爆発するとか、水がエネルギー発生源となるとか、と理解していたようである。陸軍の一部だろうが、ウラン核分裂、その連鎖反応、中性子の減速、その媒体である重水等についての認識と理解が全く希薄だったようである。ドイツ軍がノルウエーの重水製造工場を占領したことも知らなかったと思われる。



Priority in the Concept of Hydrogen Bombs

Bulletin of the Atomic Scientists,
July/August 2000, page 5

Who came up with it first?

In his books *The Making of the Atomic Bomb* and *Dark Sun: The Making of the Hydrogen Bomb*, Richard Rhodes attributes the idea of using a uranium 235 fission bomb to trigger fusion in a hydrogen bomb to Tokutaro Hagiwara (1897–1971), a chemist at Kyoto Imperial University.

Shortly after Otto Hahn and Fritz Strassmann announced the fission of uranium 235 early in 1939 (co-discoverer Lise Meitner had been forced into exile), many investigations of fission were stimulated. An example was the research Hagiwara published in 1939 and 1940 describing the number of neutrons released per atom for each fission event; he also studied delayed neutrons.

During this research, Hagiwara cooperated with several others in Bun-saku Arakatsu's laboratory. In 1940 he devised an ingenious chemical method for counting neutrons. Hagiwara used hydrogen (as a constituent of paraffin and water) to slow down fast neutrons. Various scientists worldwide realized that nuclear bombs based on chain-reacting fission of uranium 235 were possible.

Hagiwara gave a lecture to the Imperial Navy's Second Arsenal on May 23, 1941; its title was "On the Super-Explosive Atom, U 235." This unclassified lecture was printed in the July 24, 1941, issue of the Arsenal's internal journal. An official of the army's Tonizo laboratory read the account and prepared a summary in hand-written kanji characters. This unofficial report, with the title "On Uranium (U)," became known as the Tonizo document; it was dated April 1943. It was the source available to Rhodes, whose copy and English translation came from a private collection.

The key sentence quoted in Rhodes's works is: "If by any chance U 235 could be manufactured in a large quantity and of proper concentration, U 235 has a great possibility of becoming useful as the initiating matter for a quantity of hydrogen."

Studying the Tonizo document in its entirety induced us to doubt whether the statement quoted is entirely correct. For example, there was no mention in the paper of expected terms such as fusion, or the resulting helium, or deuterium, although they were

known at the time of writing.

The remaining copies of the document were destroyed just before the occupation by U.S.-armed forces, but Hagiwara saved a copy in his home. In June 1999, Kunio Ozawa visited Hagiwara's daughter in Kyoto and was presented with a printed version of the lecture in its entirety. He made a copy available to us. Its title was "On the Super-Explosive Atom, U 235," identical with that of Hagiwara's lecture.

Comparing the sentence in the newly recovered paper to the one quoted above revealed a crucial difference. Two kanji characters in Japanese are closely similar in appearance but have very different meanings: "initiating" and "super." The flawed paper available to Rhodes had the character for "initiating"; the printed version contained the character for "super."

Keeping in mind that different translators of a given passage in Japanese produce somewhat different

English versions, we offer the following translation of Hagiwara's sentence: "If in some way it becomes possible to manufacture a fairly large amount of uranium 235 and mix it with suitably concentrated hydrogen on an appropriate scale, the uranium 235 is expected to have a high probability of causing a super explosion."

During 1940-41, the members of Britain's MAUD Committee (who were investigating the feasibility of the atom bomb), realized that a successful nuclear bomb must be based on chain-reaction fission by fast neutrons, as pointed out by Rudolf Peierls and Otto Frisch. This information was not widely known publicly, and many thought in those early times that a bomb would require a moderator, hence Hagiwara's reference to hydrogen.

We conclude that Hagiwara predicted a super explosion (a nuclear fission explosion, often described by the word super at the time) rather than an explosion that was being initi-

ated (a hydrogen bomb based on fusion, referred to in the United States as "the Super" more than a dozen years later).

The idea of using a fission bomb to trigger fusion of hydrogen did occur to Enrico Fermi and he discussed it with Edward Teller in September 1941.

When informed of the account related above, along with supporting evidence, Richard Rhodes responded that he was "fully persuaded" that it is correct.

Shuji Fukui
Professor Emeritus of Physics
Nagoya University, Japan

Tetsuji Imanaka
Instructor
Research Reactor Institute
Kyoto University, Osaka, Japan

James C. Warf
Professor Emeritus of Chemistry
University of Southern California

Richard Rhodes ∞ Ginger Rhodes

December 10, 1999

Dear Professor Warf:

My apologies for the delay in responding to your letter. I was just about to publish my seventeenth book, *Why They Kill*, about the cause of violent criminality, when it arrived, and since then I've been almost continuously traveling for book promotion.

But what a fine piece of detective work you've done! I'm grateful to you for clearing up a mystery. It did seem curious that Hagiwara had put two and two together before Fermi. I'm fully persuaded by your clarification and will use it, if I may (with appropriate credit) to correct *The Making of the Atomic Bomb* if and when I prepare a new edition.

It seems to have been a fairly common mistake to assume a bomb would need a moderator; fast fission is only efficient, as I understand it, with highly enriched uranium, which had not yet been separated in those early days. People were more familiar with ideas of neutron moderation, which of course functions to sneak neutrons past the U238 capture threshold.

Now that I've written this letter I see you have an email address. Mine is RhodesR@pantheon.yale.edu if you'd like to contact me further.

Best wishes for the New Year.

Sincerely,



Richard Rhodes

Professor James C. Warf
3930 Franklin Ave.
Los Angeles CA 90027-4624

10.vii.00

Richard Rhodes

Professor Warf: I saw the letter
in Bull. atom. sci. Thanks for a
copy. I'm glad you straightened
the matter out. My best wishes
to you and to your Japanese col-
leagues.

Richard Rhodes