

# 国立国会図書館 調査及び立法考査局

Research and Legislative Reference Bureau  
National Diet Library

DOI	10.11501/10314913
論題 Title	米国エネルギー省とヒトゲノム計画
他言語論題 Title in other language	The U.S. Department of Energy and the Human Genome Project
著者 / 所属 Author(s)	瀬川 至朗 (Shiro SEGAWA) / 早稲田大学政治経済学術院教授、国立国会図書館客員調査員
書名 Title of Book	冷戦後の科学技術政策の変容 : 科学技術に関する調査プロジェクト報告書 (Transformation of Science and Technology Policies in the Post-Cold War Era)
シリーズ Series	調査資料 ; 2016-4
出版者 Publisher	国立国会図書館
刊行日 Issue Date	2017-03-16
ページ Page	21-38
ISBN	978-4-87582-796-2
本文の言語 Language	日本語 (Japanese)
摘要 Abstract	米国エネルギー省 (DOE) とヒトゲノム計画の関わりを調査した。マンハッタン計画を起源とする DOE はビッグサイエンスやコンピューター科学に強く、ヒトゲノム計画への関与につながっていた。

\*掲載論文等のうち、意見にわたる部分は、それぞれ筆者の個人的見解であることをお断りしておきます。

# 米国エネルギー省とヒトゲノム計画

早稲田大学政治経済学術院教授  
国立国会図書館 客員調査員 瀬川 至朗

## 目 次

はじめに

### I 米国エネルギー省の歴史

- 1 エネルギーと核の安全保障を担う
- 2 マンハッタン計画
- 3 原子力委員会
- 4 オイルショックとエネルギー省の誕生
- 5 共和党から提起される解体論議

### II ヒトゲノム計画におけるイニシアティブ

- 1 ヒトゲノム計画を最初に提唱したエネルギー省
- 2 きっかけは広島・長崎の被爆生存者追跡調査プロジェクト
- 3 計算・コンピュータ科学の強みを生かしたいという目論見
- 4 「原子爆弾の影から抜け出したい」という研究者の心情
- 5 エネルギー省と国立衛生研究所の主導権争いと連携
- 6 エネルギー省とデリシはなぜ最初にヒトゲノム計画を提唱できたか
- 7 米国を脅かしていた日本のゲノム解読研究

### III ヒトゲノム計画の始動と経過

- 1 ヒトゲノム計画の概要
- 2 公的研究チームと民間研究所の解読競争
- 3 エネルギー省が果たした役割

### IV エネルギー省のポスト・ヒトゲノム計画

- 1 共同ゲノム研究所の取組
- 2 ヒト研究から微生物研究への変容
- 3 冷戦終結後のエネルギー省の役割の見直しとポスト・ヒトゲノム計画

おわりに

## 【要 旨】

米国エネルギー省（DOE）は、米国におけるエネルギー安全保障、核安全保障、科学・イノベーションの推進を主な任務とする連邦官庁である。原爆開発製造を目指したマンハッタン計画にルーツをもつ組織としても知られる。同省は1980年代、ビッグサイエンスである「ヒトゲノム計画」を米国政府機関として最初に提唱した。本稿では、主にエネルギー省の記録文書に基づきエネルギー省とヒトゲノム計画の関わりについて調査した。エネルギー省がヒトゲノム計画を提唱した背景として、①最初のきっかけは、広島・長崎の被爆生存者・子孫の遺伝子突然変異を検出する方法の開発にあった、②同省は、ヒトゲノム計画の本質を、ゲノム自動解読の速度を飛躍的に向上させる技術開発ととらえ、コンピュータ科学やビッグサイエンスに強い同省の強みを活かせると考えた、③研究者の心情として、放射線の人体影響という核開発の影の部分の扱ってきた同省の研究者が、一般人の医療の進展につながる未来志向の保健プロジェクトを欲していた、という3点を挙げることができる。冷戦が終結し、その役割が変化しているエネルギー省はヒトゲノム計画から派生した微生物ゲノム・イニシアティブを開始し、微生物を活用した、核汚染のクリーンアップや温暖化防止のための炭素削減などを目標とした研究を進めている。

## はじめに

20世紀は「アメリカの世紀」であったといわれる。そのことは米国の科学技術にもあてはまる<sup>(1)</sup>。米国が取り組んだ20世紀のビッグサイエンスとして、原爆開発製造を目指したマンハッタン計画（Manhattan Project: 1942～1946年）、人類が初めて月面に降り立ったアポロ計画（Apollo Program: 1963～1972年）、そして「生命の設計図」とされるヒトの全ゲノム情報の解読を目的とするヒトゲノム計画<sup>(2)</sup>（Human Genome Project: 1990～2003年）を取り上げることができる<sup>(3)</sup>。

三つのビッグサイエンス・プロジェクトは、多かれ少なかれ、軍事研究との関わりをもっていた。

広島と長崎に投下された原爆の開発に携わったマンハッタン計画は、第2次世界大戦のさなかに、まさに軍事目的のために設置されたプロジェクトである。これに対し、アポロ計画は米国航空宇宙局（National Aeronautics and Space Administration: NASA）が主導し、軍事とは直接は関係しない。しかしながら、米ソ冷戦時代の宇宙開発競争の象徴として取り組みられたプロジェクトであり、冷戦時の覇権を誇示する狙いがあった。アポロ宇宙船を打ち上げたサターン5型ロケットは、第二次世界大戦中にドイツでV2ミサイルを開発したヴェルナー・フォン・ブラウン（Wernher von Braun）が米国に亡命し、開発に携わったものである。

では、1990年にスタートしたヒトゲノム計画はどうか。ポスト冷戦時のプロジェクトとなったヒトゲノム計画は、基本的には非軍事の研究である。ただ、その出発点はマンハッタン計画とつながりがあった。ヒトゲノム計画を最初に提唱した米国エネルギー省（Department of Energy: DOE）は、原爆開発のマンハッタン計画をその起源にもつ連邦官庁である。DOEがヒトゲノム解析に着目した背景には、広島、長崎の被爆生存者のフォローアップ調査があり、低線

\* 本稿におけるインターネット情報の最終アクセスは、2016年12月26日である。

(1) 米本昌平「科学技術の進歩とその限界—経済・軍事・生物技術・地球環境—」『国際問題』489号, 2000.12, p.52.

(2) 「国際ヒトゲノム解析計画」と呼ぶことも多いが、本稿では、米国で使われるHuman Genome Projectを直訳する形で「ヒトゲノム計画」と呼称する。詳しくは後述（Ⅲ 1）。

(3) 例えば、公的なヒトゲノム計画を最初に提唱した数理生物学者のチャールズ・デリシ（Charles DeLisi）は、ヒトゲノム計画の実現性を話し合う会議の熱気が、マンハッタン計画と宇宙空間への探検を連想させたと指摘している。Charles DeLisi, "The Human Genome Project: the ambitious proposal to map and decipher the complete sequence of human DNA," *American Scientist*, 76(5), 1988.10, p.489.

量被曝がもたらすヒト遺伝子の変異が子や孫に伝わるか、その影響を調べるという目的があった。

DOEは、核エネルギーから再生可能エネルギーまで、エネルギー問題を中心に、軍事と非軍事双方の安全保障を担当する連邦官庁であり、生命科学分野であるヒトゲノム計画とは一見無縁の存在である。本稿では、DOEがどのようにヒトゲノム計画に関わっていったのか、という点を明らかにしながら、マンハッタン計画からポスト冷戦にいたるDOEの科学研究の変遷とその役割の変化を追ってみたい。

## I 米国エネルギー省の歴史

### 1 エネルギーと核の安全保障を担う

DOEの主要な役割は、「変革力のある科学技術の手法により、エネルギーや環境、核問題に取り組むことで、米国に安全保障と繁栄をもたらす」ことである<sup>(4)</sup>。簡潔にいうと、エネルギーの安全保障と核の安全保障の両方を担う連邦官庁であり、また、米国における科学・イノベーションを推進する要となる連邦官庁である。その対象の広さと多様性という点でユニークな存在である。

行政組織としては、「核の安全性と国家核安全保障」、「科学・エネルギー」、「管理・パフォーマンス」<sup>(5)</sup>の3部門に分かれている。省の傘下には、ロスアラモス国立研究所、ローレンス・リバモア国立研究所、フェルミ国立加速器研究所など全米17の国立研究所がある。

こうした傘下の研究所の運営は、日本の国立研究所のような直営方式ではない。DOEは特定の大学や大学・企業連合体（有限責任会社（LLC）の形態をとることが多い。）などと契約を結び、同省から委託された形で大学や連合体が研究所を運営している。すなわち、政府所有・契約者運営研究機関（Government-Owned, Contractor Operated: GOCO）<sup>(6)</sup>と呼ばれる運営形態をとっている。例えば、ロスアラモス国立研究所はカリフォルニア大学とベクテル（Bechtel）社などの企業の連合体、ローレンス・バークレー国立研究所はカリフォルニア大学、サンディア国立研究所はロッキードマーチン（Lockheed Martin）社の子会社が、それぞれ委託により運営をしている。

DOEの各部局が作成した記録を基に、歴史を概観してみよう。

### 2 マンハッタン計画

「1939年8月、第二次世界大戦の初期の頃、アルバート・アインシュタイン（Albert Einstein）はハンガリー出身の亡命科学者、レオ・シラード（Leo Szilard）の手を借りて、フランクリン・ルーズベルト（Franklin D. Roosevelt）大統領〔民主党、1933～1945年〕に手紙を書いた。」（〔〕内は筆者補記）

上記の文章は、DOE歴史部（History Division）が作成した『エネルギー省1977-1994—概括的

(4) “Mission.” Department of Energy website <<http://www.energy.gov/mission>>

(5) “Organization Chart.” Department of Energy website <<http://www.energy.gov/leadership/organization-chart>>

(6) 江藤学ほか「米国における国立研究所から民間企業への技術移転システム」『研究 技術 計画』10(3/4), 1997.5, p.206.

歴史一 (Department of Energy 1977-1994: A Summary History)』の第二部の冒頭の一節「アインシュタインの手紙と戦争目的の核」の書き出し部分である<sup>(7)</sup>。相対性理論を提唱したことで知られるアインシュタインはドイツ生まれのユダヤ系物理学者である。ナチスの反ユダヤ主義が台頭するなか、米国に亡命していた。彼は、ハンガリー生まれの亡命科学者レオ・シラードからのアドバイスを受けつつ、ウラニウムの核分裂連鎖反応が膨大な爆発エネルギーを引き起こすという最新の研究結果をルーズベルト大統領 (当時) に手紙で伝え、ウラニウム研究 (ウランの調達とウランを利用した爆弾の研究) を始めることを要望した。

手紙を受け取ったルーズベルト大統領は1939年10月にウラニウム委員会を設置した。ウラニウム委員会はその後、1941年に新設された大統領府科学研究開発局 (Office of Scientific Research and Development: OSRD) に吸収された。ドイツのウラニウム研究を受け、ルーズベルト大統領は、科学研究開発局長のヴァネヴァー・ブッシュ (Vannevar Bush) に原子爆弾の研究開発を急ぐように指示した。1942年12月28日、原子爆弾を製造する施設の建設が認可された。計画は陸軍工兵部隊の管理下に置かれ、レスリー・グロブス (Leslie Groves) 将軍が指揮を執った<sup>(8)</sup>。

研究の秘密性から、関係する施設は都会から離れた場所に散在するように造られた。原子爆弾の材料となるウラン235の分離濃縮はクリントン工場 (オークリッジ)、プルトニウム239の生産はハンフォード、プルトニウムを生産する原子炉などの研究はシカゴの冶金研究所、そして原子爆弾のデザインと製造はロスアラモス研究所が、それぞれ担当した<sup>(9)</sup>。

原子爆弾の開発製造にはピーク時で約13万人が関わった。戦争終結までに22億ドルが費やされた<sup>(10)</sup>。計画にはナチスの迫害を逃れて米国に渡ってきた、ヨーロッパからの亡命科学者が参加した。

DOEが自身の歴史について記述した文書には、同省のルーツであるマンハッタン計画への積極的な言及が目立つ。DOE管理局 (Office of Management) が公開している、マンハッタン計画を紹介するウェブページを見てみたい。

そこでは、DOEを「マンハッタン工兵管区 (Manhattan Engineer District) の直系の子孫」<sup>(11)</sup>と誇らしげに位置づけている。ウェブページによれば、マンハッタン計画とは「20世紀を代表する数名の科学者たちが、産業界、軍、そして全米各地で従事した数万人の米国民と連携しながら、科学の独創的な発見を新兵器に結実させていった物語である」<sup>(12)</sup>という。

現在の科学研究に関連する興味深い記述もみられる。

「マンハッタン計画は組織的なモデルとなり、20世紀後半における米国の『ビッグサイエンス』の目覚ましい成果の下敷きとなった」<sup>(13)</sup>。前述のとおり、現在のDOEには、マンハッタン計画の時から存在するロスアラモス研究所などを含め計17の国立研究所がある。ウェブサイトでは、国立研究所群は「全米の科学機関における宝のような存在」<sup>(14)</sup>であり、「マンハッタン計画なくして、今のようなエネルギー省の形はありえない」<sup>(15)</sup>と書いている。

(7) Terrence R. Fehner and Jack M. Holl, *Department of Energy, 1977-1994: A Summary History*, Department of Energy, 1994, p.9. <[https://energy.gov/sites/prod/files/Summary\\_History.pdf](https://energy.gov/sites/prod/files/Summary_History.pdf)>

(8) *ibid.*

(9) *ibid.*, p.10.

(10) "Manhattan Project." Department of Energy website <<https://energy.gov/management/office-management/operational-management/history/manhattan-project>>

(11) *ibid.*

(12) *ibid.*

(13) *ibid.*

(14) *ibid.*

当該ウェブページは、DOE管理局が作成する同省の歴史についての部分であり、同省の公的な考え方に近いものと考えられる。マンハッタン計画の記述からは、同計画が多様な組織や人々に関わるビッグサイエンスの先駆的存在であり、米国の組織的な科学研究体制、少なくともDOEの科学研究体制には、今もマンハッタン計画の「成功体験」が誇るべき遺産として息づいていることが示唆される。

### 3 原子力委員会

#### (1) 平時の核開発体制

戦争が終わった後の平時に核開発をどのような枠組みで進めるのか。その課題は、米国では太平洋戦争が終了する前からすでに議論されていた。日米間で激しい沖繩戦が展開されていた1945年5月には、米国の戦争長官（Secretary of War）の下に暫定委員会がつくられ、平時の組織についての法案の草稿が作成された<sup>(16)</sup>。

平時の核開発の枠組みを定める「原子力法」（Atomic Energy Act of 1946, P.L.79-585）が1946年8月に制定され、原子力委員会（Atomic Energy Commission）が新設された。核開発の権限は戦時中の米国陸軍から原子力委員会に移行した。原子力委員会は5人の民間人が委員になる。核兵器開発を民間出身の委員が担当し、軍の役割が縮小することには軍部から反対の声が出たが、結局、総合諮問委員会（a general advisory committee）や軍事連絡委員会（a military liaison committee）が親委員会である原子力委員会をサポートするという仕組みで進められることとなった。<sup>(17)</sup>

1949年にソビエト連邦（以下「ソ連」）が核実験に成功し、米国が唯一の核兵器保有国という国際的な体制に変化が生じた。原子力委員会はソ連の動きにどう対処するかを議論した。当時、原子爆弾より強力な水素爆弾（熱核兵器）を開発すべきかどうか議論されていた。原子力委員会の5人の委員のうち3人は開発に反対した。しかし、国防総省や連邦議会上下両院の合同委員会である原子力合同委員会（Joint Committee on Atomic Energy）とともに、科学者のエドワード・テラー（Edward Teller）らが開発を熱心にアピールし、水素爆弾の開発に着手することになった。ロスアラモス国立研究所に次ぐ第二の核兵器工場が、ローレンス・リバモア国立研究所につくられた<sup>(18)</sup>。

米国は1952年11月、水素爆弾による最初の核実験をマーシャル諸島で実施した。マーシャル諸島で繰り返された核実験は環境への放射能汚染の問題を引き起こした。1954年3月、ビキニ環礁で実施された核実験では、数百人の島民が放射性降下物（「死の灰」とも呼ばれた。）により被曝する事件が起きた<sup>(19)</sup>。第5福竜丸などの日本の漁船の船員が被曝したのは、この核実験の時である。

#### (2) 核エネルギーの平和利用

1950年代は、米国において核エネルギーの平和利用にも道が開かれた時代である。

1954年には「原子力法」（Atomic Energy Act of 1954, P.L.83-703）が大幅に改定された。これによ

(15) *ibid.*

(16) Fehner and Holl, *op.cit.*(7), p.11.

(17) *ibid.*

(18) *ibid.*, p.12.

(19) *ibid.*

り、連邦政府だけでなく企業も参加する形で核エネルギーの平和利用を進めるようになった。日本では、1954（昭和29）年に初の原子力予算が計上され、翌1955（昭和30）年に「原子力基本法」（昭和30年法律第186号）が制定され、原子力の研究開発と利用のための原子力委員会が新設された。原子力発電など核エネルギーの平和利用という点では、日本も米国の動きのすぐ後を追う形で始まったといえるだろう。

経済も発展し、次第に、エネルギー問題を総合して扱う連邦官庁の存在が求められ始めた。1962年、ジョン・F・ケネディ（John F. Kennedy）大統領（民主党、1961～1963年）は、原子力委員会に対し、連邦電力委員会や内務省と連携するように要望した<sup>(20)</sup>。軍事だけでなく一般的なエネルギー開発を効率的に進めるために、連邦政府内の関係組織を連携する動きが現れたのである。1973年、リチャード・ニクソン（Richard Nixon）大統領（共和党、1969～1974年）がエネルギー自然資源省（Department of Energy and Natural Resources）の創設を提案した<sup>(21)</sup>のも、この流れの中にあった。

#### 4 オイルショックとエネルギー省の誕生

DOEが創設されたのは1977年10月、ジミー・カーター（Jimmy Carter）大統領（民主党、1977～1981年）の時である。1970年代は、産油諸国の生産削減・輸出禁止措置が引き金となったオイルショックが世界を揺るがし、米国内でもエネルギー危機が強く意識されていた。そのエネルギー危機に対処するために、DOEという組織が構想されたのである。まったく新しい組織というものではなく、図1にあるように、マンハッタン計画から原子力委員会への流れを引き継いだ部門と連邦エネルギー政策の部門が一緒になってDOEが誕生した。

カーター大統領はDOEの創設法案を連邦議会に提案したときに次のような演説をしている。

連邦政府内のどこにも、私たちのエネルギー問題を包括的に扱うのに必要な幅広い権限を有する部局は存在しない。今日提出した法案は、この断片化したシステムを直ちに秩序立ててくれるだろう。…（中略）…この法案により初めて、私たちのエネルギー政策とエネルギー需要の総体に見合った研究開発プログラムを持つことができるようになる。太陽エネルギーのような再生可能エネルギーを利用するとき、このことは特に重要である。…（中略）…この冬に経験したように、一貫していない規制方針は、私たちの経済や社会福祉に深刻な影響を与えうる。この再組織化は、断片化した現在の政策を国の総合エネルギープランを発展・強化するための一つの仕組みに変えることができる<sup>(22)</sup>。

また、法案提出当日の報道機関向けの会見では、「米国のエネルギー政策を発展させ実行する責務を担う連邦機関の部局は現在、50以上に分かれている」<sup>(23)</sup>と、エネルギー政策の分断化の深刻さを語っていた。分断されたエネルギー政策と研究開発を統合したいという強い意図が

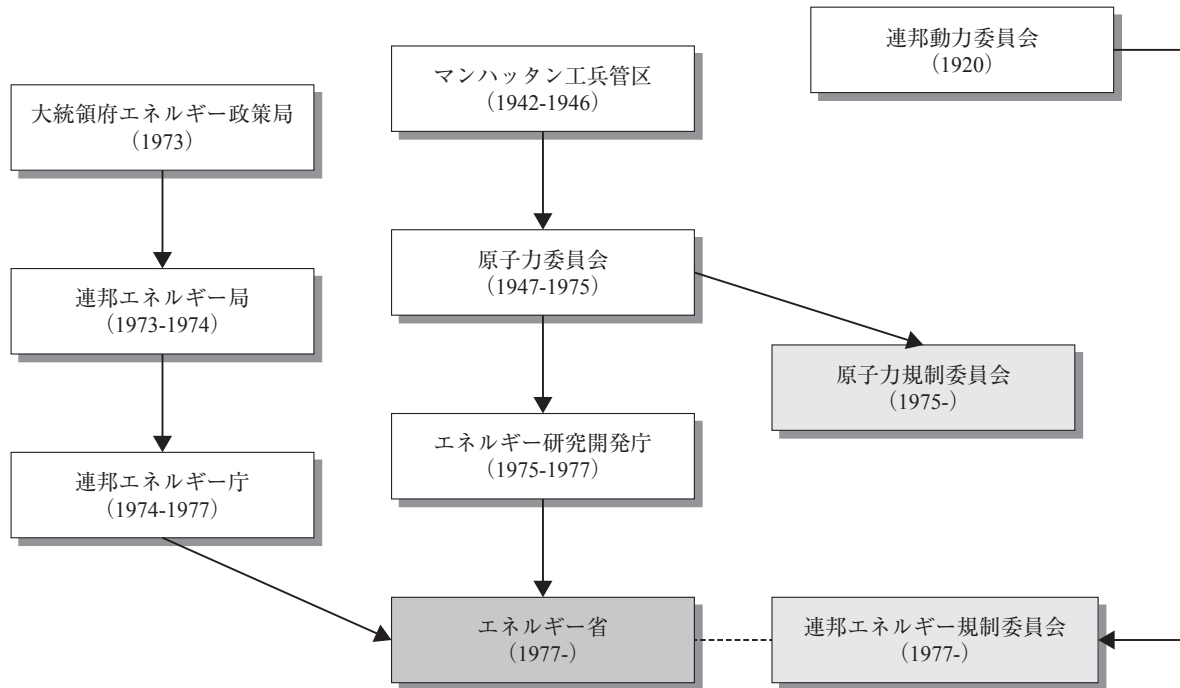
<sup>(20)</sup> *ibid.*, p.14.

<sup>(21)</sup> *ibid.*, p.5.

<sup>(22)</sup> Jimmy Carter, "Department of Energy Message to the Congress Transmitting Proposed Legislation," March 1, 1977. The American Presidency Project website <<http://www.presidency.ucsb.edu/ws/index.php?pid=7098>>

<sup>(23)</sup> Jimmy Carter, "Department of Energy Remarks Outlining Proposed Legislation to Create the Department," March 1, 1977. The American Presidency Project website <<http://www.presidency.ucsb.edu/ws/index.php?pid=7097>>

図1 米国エネルギー省の組織的な起源



(出典) “The Institutional Origins of the Department of Energy.” Department of Energy website <<https://energy.gov/sites/prod/files/Origins-of-the-Department-of-Energy.pdf>> を基に筆者作成。

みえる。一方で、DOEのもう一つの柱である核兵器の開発・管理への言及はなかった。

## 5 共和党から提起される解体論議

DOEは1977年の設立直後からその存在自体が議論の対象となった。カーター大統領の次にホワイトハウスに入ったロナルド・レーガン (Ronald Reagan) 大統領 (共和党、1981~1989年) は、選挙中にDOEの解体を公約に掲げていた。エネルギー分野の規制は過剰であり、連邦政府の役割は最小限にすべきであるという信念のもと、就任後にDOEの解体案を検討した。1981年12月には、解体案として、①DOEの仕事を内務省と商務省の二官庁に分割する、②核兵器を開発製造する核エネルギー防衛計画を担当する部局を新設し商務庁官の下におく、という解体案<sup>(24)</sup>である。レーガン大統領の解体案は連邦議会の反対にあい、実現しなかった。

レーガン大統領以降も、「小さな政府」を目指す共和党側からDOEの解体論が繰り返し提起されている。例えば、保守系シンクタンクのヘリテージ財団 (Heritage Foundation) とケイトー研究所 (Cato Institute) は「エネルギー省を閉鎖する方法」(How to Close Down the Department of Energy)<sup>(25)</sup>などの記事を掲載し、巨大な予算を非効率に運用しているという批判をしてきた。2016年の大統領選の共和党予備選挙を候補者として戦ったテッド・クルーズ (Ted Cruz) は、廃止すべき5つの連邦官庁の一つにDOEを挙げていた<sup>(26)</sup>。

(24) Ronald Reagan, “Statement about the Plan Selected to Dismantle the Department of Energy,” December 17, 1981. The American Presidency Project website <<http://www.presidency.ucsb.edu/ws/index.php?pid=43364>>

(25) John S. Barry, “How to Close Down the Department of Energy,” *Backgrounder* #1061 on Energy and Environment, November 9, 1995. Heritage Foundation website <<http://www.heritage.org/environment/report/how-close-down-the-department-energy>> この記事では、核兵器の部分は国防総省に、国立研究所はそれぞれ運営にあたっている大学に移管する提案をしている。



## II ヒトゲノム計画におけるイニシアティブ

### 1 ヒトゲノム計画を最初に提唱したエネルギー省

米国が主導したヒトゲノム計画 (Human Genome Project) は1990年に始動した。「生命の設計図」とされるヒトゲノム (ヒト遺伝情報) をすべて解読する試みは、米国のほか、英国、フランス、ドイツという欧州勢や日本、中国が参加する国際プロジェクトとなった。米国内では、保健福祉省 (Department of Health & Human Services: HHS) が所管する国立衛生研究所 (National Institutes of Health: NIH) とDOEという二つの組織が共同して運営にあたることになった。

実は、米国の連邦政府内で最初にヒトゲノム計画を提唱した組織は、DOEであった。1986年にヒトゲノム戦略 (Human Genome Initiative) を打ち出し、ヒトゲノム計画のパイロットプログラムに着手した<sup>(27)</sup>。核やエネルギー研究を中心に置くDOEがヒトゲノム解読という生命科学研究に力を入れるのは、一見すると奇妙なことに思える。なぜ、生命科学研究の本拠地であるNIHではなく、DOEが真っ先に名乗りを挙げたのだろうか。

本章では、ヒトゲノム計画が成立する前の米国の動きに焦点をあて、DOEが公開している記録文書からその歴史を追ってみたい。

### 2 きっかけは広島・長崎の被爆生存者追跡調査プロジェクト

歴史的なその会議は、1984年12月、ユタ州のアルタで開かれた。会議を主催したのはDOE健康・環境研究局 (Office of Health and Environmental Research: OHER) と国際環境変異原・発がん物質防護委員会 (International Commission for Protection Against Environmental Mutagens and Carcinogens) であった。会議における問いはただ一つ、次のようなものだった。

今日のDNA(デオキシリボ核酸、遺伝子の本体) 研究は小さな遺伝的突然変異を検出する方法を生み出すことができるだろうか? とりわけ、広島・長崎の被爆生存者やその子孫の遺伝子で突然変異の発生率が増加するとすれば、その増加を検出することができだろうか?<sup>(28)</sup>

アルタ会議におけるこの問いがヒトゲノム計画の出発点であった。

DOE健康・環境研究局が作成した『自分自身を知ること—米国エネルギー省とヒトゲノム計画— (To Know Ourselves: The U.S. Department of Energy and The Human Genome Project)』の冒頭の章には、DOEがヒトゲノム解読に注目した理由がより具体的に記述されている<sup>(29)</sup>。その概要は以下のとおりである。

エネルギー省やその前身である原子力委員会などは、各種のエネルギーの使用や生産過

(26) Ted Cruz, "Five for Freedom Summary." <<https://www.tedcruz.org/five-for-freedom-summary/>>

(27) *To Know Ourselves: The U.S. Department of Energy and The Human Genome Project*: 1996, p.2. Electronic Scholarly Publishing website <<http://www.esp.org/misc/genome/tko.pdf>>

(28) *ibid.*

(29) *ibid.*, p.4.

程の中で生み出される潜在的な健康リスクについて長年研究をしてきた。特に関心があるのは、核エネルギーが生み出す放射線の健康リスクである。広島・長崎の原爆被爆生存者の長期に及ぶ研究により、高線量の放射線被曝の健康リスクについては多くのことが分かってきた。課題は、低線量の放射線や低濃度の発がん物質などが及ぼす健康リスクの解明である。研究に必要なのは低線量や低濃度の物質が引き起こすDNAのわずかな変異を発見するツールである。もし、平均的なヒトのDNAの配列がすべて解明されたとすれば、それを「基準」にして、放射線や発がん物質による「見つけにくい」変異をDNAで発見するという方法が考えられる。

放射線や発がん物質の影響によるヒトのDNAのわずかな変異を見つけるための「基準情報」として、「平均的なヒトDNA配列」の解明が必要だという。この「平均的なヒトDNA配列」の解明がヒトゲノム解読計画になる。I章で触れたように、DOEのルーツはマンハッタン計画であり、広島・長崎に投下された原子爆弾を開発製造した組織である。その原子爆弾による放射能影響を調べる長期調査研究の流れとして、ヒトゲノム解読が構想されたことが読み取れる。

ただし、ヒトゲノム解読を突然変異の検出に利用する方法は、そう簡単には実現できそうにないことが分かってきた。ヒトゲノム計画の誕生過程を詳細に描いたロバート・クックディーガン (Robert Cook-Deegan) によれば、「会議 [アルタ会議] の結論は皮肉なことに、広島と長崎における放射能被曝による突然変異の増加を検出する方法としてはDNAの直接解析はふさわしくないというものだった」<sup>(30)</sup> ([ ] 内は筆者補記) という。クックディーガンは、連邦議会技術評価局 (Office of Technology Assessment: OTA) の一員としてヒトゲノム計画等についての報告書作成等に関わってきた連邦議会の元科学スタッフである<sup>(31)</sup>。

### 3 計算・コンピュータ科学の強みを生かしたいという目論見

省内にあったヒトゲノム研究への動きをみて、ヒトゲノム計画をDOEの公式のプロジェクトとして打ち出す方針を決めたのは、数理生物学者のチャールズ・デリシ (Charles DeLisi) であった。彼は1985年秋、DOE健康・環境研究局局長のポストに就任した。その時、アルタ会議の議論を基にしたOTAの報告書「ヒトの遺伝的変異の検出技術 (Technologies for Detecting Heritable Mutations in Human Beings)」の初期バージョンの草稿を読み、ヒトゲノム計画の着想を得たという<sup>(32)</sup>。デリシらはヒトゲノム計画の実現可能性を検討するためのサンタフェ会議を開催した。DOE以外の分子生物学者や遺伝医学者らも多く参加した同会議で、①2000年頃までにヒトゲノムを解読<sup>(33)</sup>できる実現可能性、②そのコスト、③人の健康や経済成長の観点からの期待度、④DOEの役割、について議論した<sup>(34)</sup>。

サンタフェ会議では満場一致で以下のような合意が得られた<sup>(35)</sup>。

(30) R・クックディーガン (石館宇夫・石館康平訳) 『ジーンウォーズ—ゲノム計画をめぐる熱い闘い—』化学同人、1996, p.98. (原書名: Robert Cook-Deegan, *The Gene Wars: Science, Politics, and the Human Genome*, 1994.)

(31) 同上, p.407.

(32) DeLisi, *op.cit.*(3)

(33) 解読には、マッピング (Mapping) とシーケンシング (Sequencing) の両方を含む。マッピングは染色体上の遺伝子の位置を決めること、シーケンシングはDNAの配列を決定することをいう。

(34) Charles DeLisi, "Memorandum on information on a major new initiative: mapping and sequencing the human genome; to Alvin Trivelpiece, Director, Office of Energy Research," May 6, 1986, p.1.

- ①今後10～15年でのヒトゲノム解読は技術的に可能である。
- ②10億～20億ドルと試算されるプロジェクト費用はすぐにそれを上回る見返りがある。
- ③国立研究所は特に初期フェーズにおいて主要な役割を果たす。
- ④国際的な協力が求められる。
- ⑤ビッグサイエンスの主要な運営者として、少なくとも初期フェーズにおいては、経験のあるDOEがふさわしい。
- ⑥ただちに運営委員会を組織すべきだ。

ヒトゲノム解読を主導したいDOEにとって重要なのは③と⑤である。③の国立研究所とは、ロスアラモス国立研究所とローレンス・リバモア国立研究所のようなDOE傘下の研究機関を指している。サンタフェ会議を受けて、DOE健康・環境研究局は1986年、ヒトゲノム戦略を発表し、翌年度の予算を前倒しする形で530万ドルのパイロットプロジェクトを開始した<sup>(36)</sup>。

ゲノム計画には国立研究所の強みが活かされるとデリシは考えていた。筆者は2000年3月9日、当時ボストン大学教授のポストにいたデリシを大学の研究室に訪ね、インタビューをしたことがある<sup>(37)</sup>。その時にヒトゲノム計画に取り組む意義としてデリシが特に強調したのは、DOE傘下の国立研究所が持つ強みのことだった。

「国立研究所は、ロボティクスや計算科学、データベース化、コンピュータ科学などが非常に強い。計画の初期フェーズでは、DNA配列を読み取るテクノロジーの開発が重要だと考えた。」

DNA配列を高速に読み取り、データベース化していく装置や技術の開発、つまりコンピュータ科学の応用がゲノム計画の中心部分を占めていることを、デリシはすでに見抜いていた。同時に、低線量放射線などの影響による「見つけにくい」突然変異を検出するためという、DOEの当初の動機は、説明の背景部分に後退していた。

#### 4 「原子爆弾の影から抜け出したい」という研究者の心情

DOEの研究者の心情として、ヒトゲノム計画に魅力を感じる側面もあった。クックディーガンによれば、構想段階のデリシらがロスアラモス国立研究所の生物学グループにコメントを求めたとき、研究者は計画に前向きなメモを送ってきた。メモには、国際協力によるヒトゲノム計画の取組が「DNAに基づいた国際協調と緊張の緩和」をもたらすのではないかと期待と、「国立の研究機関を原子爆弾の影から抜け出させてくれるのではないかと期待が込められていた。<sup>(38)</sup>

DOEの記録文書にも、こうした研究者の心情に近い表現がみられる。1997年に作成された『重要な遺産—核時代の生物環境研究— (A Vital Legacy: Biological and Environmental Research in the

<sup>(35)</sup> *ibid.*, pp.1-3.

<sup>(36)</sup> Leslie Roberts, "Timeline: A History of the Human Genome Project," *Science*, Vol. 291 Issue 5507, 16 Feb 2001, p.1196.

<sup>(37)</sup> デリシ教授へのインタビュー等を基に、当時筆者は、ヒトゲノム計画をテーマとする記事を掲載した。瀬川至朗「独創の方程式 「アメリカの20世紀」を読む6 ヒトゲノム計画」『毎日新聞』2000.4.17.

<sup>(38)</sup> クックディーガン 前掲注<sup>(30)</sup>, p.99.

Atomic Age)』<sup>(39)</sup>という記録文書には、放射線が人の健康に及ぼす影響に関して、同省の取組の歴史が記されている。章のタイトルは「安全第一—新技術の影で—」となっている。新技術とは、原子核分裂を利用する技術のことであり、DOEにおいては、核分裂に伴って放出される放射線が持つ負の側面が長年の研究課題となってきたことが示されている。ここでは、ヒトゲノム計画は「今日における最も意欲的な健康研究」、「ヒトゲノム計画の明るい展望」といった表現で形容されている<sup>(40)</sup>。核医学も含めて、医学医療に役立つ研究を手がけられることへの期待が込められている。

## 5 エネルギー省と国立衛生研究所の主導権争いと連携

ヒトゲノム研究は生命科学であり、その中心組織としてはNIHがふさわしい。そう考えるのが自然であろう。しかし、現実には、DOEが1986年に先にヒトゲノム戦略を発表し名乗りを挙げた。生命科学の研究者の間では、ビッグサイエンスのプロジェクトが動き出すとその巨大な予算により既存の研究にしわ寄せが来ることを懸念する声が少なくなかった。また、当時の技術水準では、2000年頃までにヒトゲノムの解読を終了するというのは夢物語のように思われた。NIHの幹部にも否定的な声があり、その結果、DOEの後塵を拝することとなった。

それでもDOEに刺激されたNIHは、1987年にNIH自身のゲノムプロジェクトへの資金提供を開始した。以降は、DOEとNIHの主導権争いが展開された。両組織とも、自分の組織が主たる運営者になることを考えていた。

1988年、NIHとDOEは、ヒトゲノムに関する研究と技術活動を共同で実施するための合意書を交わし<sup>(41)</sup>、ヒトゲノム計画を共同で運営することとなった。二つの組織におけるヒトゲノム計画関連の初期の予算は年度ごとに図2のように推移した。予算規模からみて、実際の主導権はNIHが握っていることがわかる。

## 6 エネルギー省とデリシはなぜ最初にヒトゲノム計画を提唱できたか

なぜDOEが最初にヒトゲノム計画を提唱できたのか。

すでに説明したことを整理すると以下ようになる。

一つ目は、原子爆弾開発のマンハッタン計画の流れを汲むDOEゆえの理由である。ヒトゲノムの解読が、広島・長崎の被爆生存者や子孫の遺伝子調査に役立つ突然変異検出法の開発につながると考えられたからである（Ⅱ 2）。

二つ目は、DOEが強みとするコンピュータ科学を生かせる計画だと考えたからである（Ⅱ 3）。

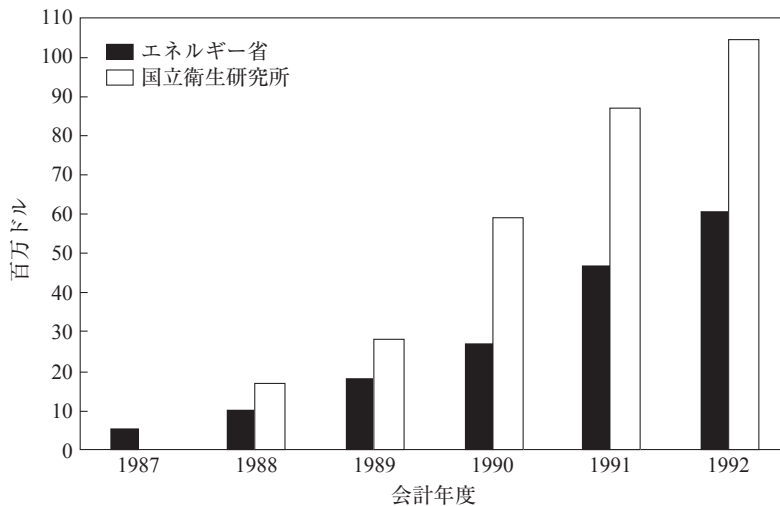
三つ目は、ビッグサイエンスの運営者としてのDOEの実績である。マンハッタン計画が代表例であり、DOEはその遺産を誇りとしてきた。その点が比較的小さなプロジェクトが多いNIHとは異なっていた。デリシによれば、ヒトゲノム計画は「生命科学」における最初の「ビッグサイエンス」<sup>(42)</sup>である。「生命科学」と「ビッグサイエンス」。生命科学に力点をかければNIH

<sup>(39)</sup> Douglas Vaughan, ed., *A Vital Legacy: Biological and Environmental Research in the Atomic Age*, Department of Energy, 1997. eScholarship website <<http://escholarship.org/uc/item/9vv2404w.pdf>>

<sup>(40)</sup> *ibid.*, pp.15, 19.

<sup>(41)</sup> “National Human Genome Research Institute (NHGRI).” National Institutes of Health website <<https://www.nih.gov/about-nih/what-we-do/nih-almanac/national-human-genome-research-institute-nhgri>>

図2 米国エネルギー省と国立衛生研究所におけるゲノム研究関係予算の推移（1987～1992会計年度）



(注) 各年度の数値は連邦議会の予算案を実際の支出額で修正したもの。  
 (出典) R・クックディーガン (石館宇夫・石館康平訳) 『ジーンウォーザーゲノム計画をめぐる熱い闘い』 化学同人, 1996, p.393の図を基に筆者作成。

が得意とする分野だが、ビッグサイエンスに力点をおけば、DOEの方に分があることになる(II 3)。

四つめは「原子爆弾の影から抜け出したい」というDOEの研究者の心情である(II 4)。

それでは、デリシ個人は、なぜヒトゲノム計画を提唱できたのか。

デリシが最初に入ったのはロスアラモス国立研究所だった。DOE傘下の国立研究所がデリシの研究者生活の出発点だった。また、1980年代初めには、NIHで核酸の塩基配列やたんぱく構造などのデータベース開発に取り組んでいた。そして、1985年秋にDOEに移りDOE健康・環境研究局長となった。2000年のインタビュー時に筆者がデリシに、NIHとDOEの違いを尋ねたところ、次のような答えが返ってきた。

「NIHでは一つの研究室を運営していた。大学教授と同じようなポストだ。ヒトゲノム解読というアイデアはNIHの頃から持っていたが、リソースが限られていた。DOEでは、そのアイデアを政策に変えるポジションにいたということだ」

ヒトゲノム計画というビッグサイエンスを決断したデリシにとって、二つの研究組織の中のポストの意味合いの違いが大きかったといえる。

## 7 米国を脅かしていた日本のゲノム解読研究

インタビューの最中に、デリシが「アキヨシ・ワダ」の名前を何度も口にしていたのが印象に残っている。

「アキヨシ・ワダは世界の誰よりも先行していた。1980年代の早い時期から、彼は遺伝

(42) Delisi, *op.cit.*(3), p.488.

子の配列を高速に解読するロボット（自動装置）の開発プロジェクトを進めていた」<sup>(43)</sup>

「アキヨシ・ワダ」は、東京大学名誉教授の生物物理学者、和田昭允である。デリシがヒトゲノム計画を着想する前に、日本の研究者である和田は、米国に技術的に先行する形でゲノム解読技術の開発を進めていたのである。

デリシの話聞き、日本で和田にインタビューをした。和田は「我々の遺伝子解析計画は米国より5年は早かったと思う」<sup>(44)</sup>と振り返った。

遺伝子配列の高速自動解析装置を開発するプロジェクトは1981年にスタートした。研究資金は国の科学技術振興調整費から出た。和田がプロジェクトを主宰し、富士写真フィルムやエプソンなどの企業が参加した。3年後には自動解析装置の試作機ができた。しかし、プロジェクトは「官庁の積極的な支持も得られず」<sup>(45)</sup>、発足3年で終了することになった。特にDNAの解析を手作業で進めてきた生命科学系の研究者から厳しい声が続いた。「そんなものを作るぐらいなら手でやるから自分に予算をよこせ」、「機械は遺伝子解析の名人にはかなわない」<sup>(46)</sup>といった意見である。

一方のデリシは、DOEのヒトゲノム計画に対し、ロスアラモス国立研究所を抱えるニューメキシコ州選出の上院議員らの支持を得て、計画を始動することができた。1980年代前半は、元気がない米国に日本が追いつき追い越す可能性が指摘されていた。日本経済の力を評価した『ジャパンアズナンバーワン—アメリカへの教訓— (Japan As Number One: Lessons for America)』<sup>(47)</sup>が出版されたのは1979年のことだった。「家電や自動車に日本に負け、今度また、遺伝子やバイオで日本に負けていいのか」<sup>(48)</sup>といった声も、米国発のヒトゲノム計画を実現させるきっかけになったと考えられる。

### III ヒトゲノム計画の始動と経過

#### 1 ヒトゲノム計画の概要

本章ではまず、ヒトゲノム計画の概要を紹介する<sup>(49)</sup>。

ヒトのそれぞれの細胞には「生命の設計図」といわれるゲノムがある。ゲノムは約30億のDNAの塩基対でできており、そこに設計の「指令書」となる遺伝子（まとまった塩基対配列）が含まれている。ゲノムは23対の染色体に分かれており、全ゲノムのDNA配列を明らかにし、遺伝子を特定していくのがヒトゲノム計画の目標であった。ヒトゲノムの全DNA配列を得ることは「人体をつくるのに必要とされる1冊のマニュアル本のすべての頁を得ることに似ている」<sup>(50)</sup>という。

(43) 瀬川 前掲注(37)

(44) 同上

(45) 同上

(46) 同上

(47) Ezra F. Vogel, *Japan As Number One: Lessons for America*, Cambridge: Harvard University Press, 1979.

(48) 瀬川 前掲注(37)

(49) “An Overview of the Human Genome Project.” National Human Genome Research Institute website <<https://www.genome.gov/12011238/an-overview-of-the-human-genome-project/>>; “The Human Genome Project Completion: Frequently Asked Questions.” National Human Genome Research Institute website <<https://www.genome.gov/11006943/human-genome-project-completion-frequently-asked-questions/>>

ヒトゲノム計画は、米国が提唱し、国際的な協力を得る形で、1990年に正式にスタートした。2005年までの解読完了を目指し、総費用は約30億ドルと見積もられた。

米国ではNIHとDOEが共同運営者となり、これに英国、フランス、ドイツ、日本、中国の研究機関が参加した。例えば、英国からは、DNAの配列決定法（ゲノムの解読方法）を最初に開発したフレデリック・サンガー（Frederick Sanger）の名前を冠したウエルカムトラスト・サンガー研究所（Wellcome Trust Sanger Institute）、日本からは理化学研究所が加わり、研究を分担した。

NIHは1988年、ヒトゲノム研究局を設置し、1990年に国立ヒトゲノム研究センター（National Center for Human Genome Research: NCHGR）、そして1997年に国立ヒトゲノム研究所（National Human Genome Research Institute: NHGRI）へと組織替えをした。この研究機関の初代トップには、DNAのらせん構造を発見したジェームズ・ワトソン（James Watson）が就き、2代目として共同発見者のフランシス・クリック（Francis Crick）が引き継いだ。

ヒトゲノムの解読は1999年までに約90%が終わり、国際チームは2000年、国際ヒトゲノム配列決定コンソーシアム（International Human Genome Sequencing Consortium）として解読概要版を発表した<sup>(51)</sup>。そして、2003年4月には99%解読終了の最終バージョンを発表した<sup>(52)</sup>。

ヒトの遺伝子数は当初は5～14万個程度と考えられていたが、現時点では、推定よりかなり少ない約2万5000個だということが判明している<sup>(53)</sup>。ヒトゲノム解読の実際のコストは約27億ドルと推定され、当初の見積もり額より低かったという。

## 2 公的研究チームと民間研究所の解読競争

公表データでは、目標年度、総費用ともに順調に進展したように見えるヒトゲノム計画だが、実際には、計画の後半、民間研究所としてヒトゲノム解読に挑むセセラ・ジェノミクス（Celera Genomics）社（以下「セセラ社」）との解読競争に冷や汗をかいていた。

セセラ社の解読を率いたのは、ゲノム生物学・合成生物学者のクレイグ・ベンター（Craig Venter）である。ベンターはNIHでDNA解読の研究に携わっていた。1992年に非営利研究機関のゲノムリサーチ研究所（The Institute for Genome Research: TIGR）をつくり、NIHなどの公的研究チームとは別に独自のゲノム解読研究に乗り出した。解読法はベンターらが編み出した全ゲノムショットガン法を採用した。全ゲノムDNAを物理的な手段で断片化し、その断片のDNA配列を読んだあと、それぞれの断片の情報をつなぎ合わせるというやり方である。多数のシーケンサー（解読装置）を並列につなぎ、コンピュータの処理能力に頼って一気に解読する方法だった。1998年にセセラ社を設立したベンターらは、ヒトゲノム解読において、公的研究チームとどちらが先に解読を終了するか、しのぎを削った。結局、両チームは2000年、解読の概要版を同時に別々に発表することで、勝ち負けをつけなかった。

<sup>(50)</sup> “An Overview of the Human Genome Project,” *ibid.*

<sup>(51)</sup> “The Human Genome Project Completion: Frequently Asked Questions,” *op.cit.*(49)

<sup>(52)</sup> *ibid.*

<sup>(53)</sup> “An Overview of the Human Genome Project,” *op.cit.*(49)

### 3 エネルギー省が果たした役割

ヒトゲノム計画の実施においてDOEが果たした役割は何だろうか。

DOEの一組織として1997年、共同ゲノム研究所 (Joint Genome Institute: JGI) が設立された。同省は、多数の国立研究所や関係する大学、民間の研究機関を対象に、研究資金を提供しながら研究のネットワークをつくることを主眼としてきた。ゲノム研究は、ローレンス・バークレー、ローレンス・リバモア、ロスアラモスという三つの国立研究所にあるヒトゲノムセンターで取り組んできた。ゲノム共同研究所は、DOEにおける大規模なゲノム解読を集約する機関として設立された。

染色体は23対あり、そのうち性染色体だけがX染色体とY染色体の2種類ある。合計24本の染色体の解読が必要になる。それを各国、各研究機関が分担して解読を進めた。DOEのゲノム共同研究所は、このうち5番、16番、19番という3本の染色体のゲノム解読に成功した<sup>(54)</sup>。なお、日本の研究チームは、21番、22番染色体の解読において中心的・指導的な役割を果たしたという<sup>(55)</sup>。

DOEが最初にヒトゲノム計画に注目したきっかけに立ち戻ってみよう。きっかけとなったのは、低線量の放射線被曝の影響によるDNA上の小さな突然変異を検出する手法の開発に役立つとの考えであった。この突然変異検出法は、ヒトゲノムの解読により進展したのだろうか。筆者が文献検索を試みた限りでは、ヒトゲノム計画の成果として、この突然変異検出法について言及しているDOEの文献は見つからなかった。

一方で、DOEの特筆すべき成果として、1994年にヒトゲノム計画からの派生プログラムとして開始した微生物ゲノム計画 (Microbial Genome Program) がある。ヒトゲノム計画の傍流の存在だった微生物研究がやがてDOEの主流の研究として育っていく。微生物ゲノム計画については、IV章でもう一度触れてみたい。

もう一つ興味深いことがある。ベンターの研究に対する研究資金の支援である。ベンターの自伝<sup>(56)</sup>にはDOEの話がよく登場する。自伝によれば、TIGRにおいて新しいゲノム解読方法を開発したベンターは、その性能検証の意味もあり、当時、生物の中で最小のゲノムを持つと考えられていたマイコプラズマ・ゲニタリウムを対象にしたゲノム解読を考えていた。DOEに助成金を申請したところ、すぐに助成金を受けとることができたという<sup>(57)</sup>。さらに、「エネルギー省の科学局が、ほかにも多くの微生物のゲノムを解読するための資金を提供してくれた」<sup>(58)</sup>。次に選ばれたのは、メタノコッカス・ジャナスキーという、深海底で検出された好熱性メタン生成菌だった。「ほかの惑星でも生きていけるほど丈夫」で、地球における「小さな異星人」という存在であり、そのゲノムの構造が注目された<sup>(59)</sup>。このようにベンターは、DOEの資金的な支援を受けて微生物のゲノム解読を成功させ、結果、支援者や資金を集めることができたようになった。

ベンターと公的研究チームとは対立的に描かれるが、DOEに対するベンターの文章は好意的

(54) Paul Smaglik, "US energy agency sequences human chromosome trio," *Nature*, vol.404 Issue 6780, 20 April 2000, p.801.

(55) 理化学研究所「ヒトゲノムのドラフトシーケンス解析結果を公表」2001.2.12. <[http://www.riken.jp/~media/riken/pr/press/2001/20010212\\_1/20010212\\_1.pdf](http://www.riken.jp/~media/riken/pr/press/2001/20010212_1/20010212_1.pdf)>

(56) J・クレイグ・ベンター (野中香方子訳)『ヒトゲノムを解読した男—クレイグ・ベンター自伝—』化学同人、2008。(原書名: J. Craig Venter, *A Life Decoded: My Genome: MY Life*, 2007.)

(57) 同上, p.286.

(58) 同上, p.303.

(59) 同上



である。ヒトゲノム計画を最初に構想したデリシのことは「ずいぶん前からゲノム計画に関心をもっており、民間部門の協力から強力なコンピュータの必要性も含めて、先見性のある文書をまとめていた」<sup>(60)</sup>とし、ゲノム計画のパイオニアとして評価している<sup>(61)</sup>。また、デリシの後に、DOEのヒトゲノム計画を担当するポストに就いたアリストイド・パトリノス (Aristides Patrinos) に対しては「エネルギー省の友人」<sup>(62)</sup>と親しみを込めた表現をし、「長くTIGRを支援し出資してくれていた」<sup>(63)</sup>、と感謝の言葉を綴っている。自伝には、DOEと共同研究の協定を結んでゲノム解読を進めるという計画が、NIHの駆け引きのために頓挫させられた経験も苦々しい調子で述べられている<sup>(64)</sup>。

## IV エネルギー省のポスト・ヒトゲノム計画

### 1 共同ゲノム研究所の取組

DOEはNIHと共同でヒトゲノム計画を運営した。ヒトゲノム計画はDOEのその後の研究にどのような影響を与えたのだろうか。組織的には、前述のように、1997年に共同ゲノム研究所を設立し、同省のゲノム研究を集中化・組織化し、質的に転換させたことを挙げるができる。

共同ゲノム研究所のウェブページには、二酸化炭素を効率的に糖に変換する酵素の研究 (2016年11月17日付)<sup>(65)</sup>や、酸素が欠乏した海域で生息できるSAR11という細菌が、酸素の代わりに海中の硝酸塩を使って「呼吸」する仕組みを明らかにした研究 (2016年8月4日付)<sup>(66)</sup>などが掲載されている。様々な機能を有する微生物の研究が多いのは、Ⅲ章で紹介した微生物ゲノム計画の流れを汲んでいるものと推察される。そして、多様な微生物の機能が、二酸化炭素の削減や生物多様性、汚染物質の除去、エコシステムの持続可能性といった問題と関連づけて語られている。ヒトゲノム計画からスピノフして誕生した微生物ゲノム計画が、微生物を活用した、気候変動や地球環境問題の解決といった方向の本格的な研究に進んでいるのは注目に値することである。

共同ゲノム研究所はまた、ユーザーファシリティと位置づけられ、研究者は国籍に関係なく施設の利用を申請することができる。オープンさを特徴とする研究所になっている。

### 2 ヒト研究から微生物研究への変容

ヒトゲノム計画を提唱したDOEの部局は「健康・環境研究局」であった。提唱者のチャール

<sup>(60)</sup> 同上, p.193.

<sup>(61)</sup> ベンターは2000年6月、クリントン (William J. Clinton) 大統領 (民主党、1993~2001年) も出席して開かれたホワイトハウスでの公的研究チームとの共同会見において挨拶し、「先見の明をもってゲノム計画の始動」を助けた先輩研究者として、最初にデリシの名前を挙げて敬意を表した。2番目に挙げられたのはワトソンである。同上, p.455.

<sup>(62)</sup> 同上, p.437.

<sup>(63)</sup> 同上, p.336.

<sup>(64)</sup> 同上, p.344.

<sup>(65)</sup> "Engineering a More Efficient System for Harnessing Carbon Dioxide," 2016.11.17. Joint Genome Institute website <<http://jgi.doe.gov/engineering-efficient-system-harnessing-co2/>>

<sup>(66)</sup> "Identifying the Microbial Culprits Initiating Oceanic Nitrogen Loss: Novel lineages of SAR11 clade reveal adaptations to oxygen-poor ocean zones," 2016.8.4. Joint Genome Institute website <<http://jgi.doe.gov/identifying-microbial-culprits-initiating-oceanic-nitrogen-loss/>>

ズ・デリシはその局長を務めていた。DOE健康・環境研究局は1997年に「生物・環境研究局」(Office of Biological and Environmental Research: OBER)へと名前を変更している。そこには、ヒトの健康問題から生物全般へと軸を移し、ヒトゲノム計画から派生した微生物ゲノム計画をその後の研究の柱に据えていこうというDOEの戦略がみえる。

局の名称を変更した1997年に生物・環境研究局は、前述のように『重要な遺産—核時代の生物環境研究—』という記録文書をまとめている。DOEにおける健康・環境研究プロジェクトの創設50年という節目につくられたこの記録文書では、生物・環境研究局における研究の起源を、広島・長崎の被爆生存者の問題、つまり放射線の影響によるDNAの変異が子や孫にどう伝わるのか、その変異の違いをどう見つけるのかという点に置き、その論理的帰結としてヒトゲノム計画があったと記している。その上で、生物・環境研究局の今後の研究として、微生物研究に着目し、次のように書いている。

健康・環境研究局のプログラムはまた微生物ゲノム・イニシアティブの先駆者となった。開始して数年のうちに、ニュースに取り上げられるような発見がいくつかあり、エネルギー省の任務に大きな期待を生んでいる。微生物の遺伝子を解読し、そして遺伝子組換えをすることは、微生物利用による環境の再生や持続可能なエネルギー生産への新しい道を拓いている。このイニシアティブの成果が実るにつれ、将来はよりエキサイティングな進展を期待できる<sup>(67)</sup>。

### 3 冷戦終結後のエネルギー省の役割の見直しとポスト・ヒトゲノム計画

1980年代半ばに始まったソ連の体制改革を契機として東西陣営の対立が緩和し、1989年には米国とソ連の首脳により冷戦の終結が宣言された。冷戦時代の軍拡競争から転じて、核兵器の削減や不拡散を志向する動きが強まった。

ポスト冷戦の時代を迎え、DOEの役割も変化した。核兵器については、新型兵器の開発改良ではなく、現在所持している備蓄核兵器をより効率的に維持管理する仕組みの構築が求められるようになった。また、核開発と製造に伴う、全米各地の核汚染問題が浮上し、DOEでは核汚染のクリーンアップが重要な課題として位置づけられた。エネルギー問題においても、地球温暖化問題に対処するため、再生可能エネルギーの開発や、エネルギー効率の高い技術開発に重点を置くようになった。

こうしたDOEの役割の変化を考えると、ヒトゲノム計画から派生した微生物ゲノム・イニシアティブが、DOEの新しい研究の方向と一致していることがわかる。極限に生きる微生物を含めて微生物をゲノムレベルで解明し、その仕組みを研究することで、核汚染のクリーンアップや持続可能なエネルギー開発、二酸化炭素削減などの新技術に結びつく可能性がある。

DOEは、研究運営の仕組みや効率の悪さが指摘されている<sup>(68)</sup>。その一方で、時代や研究環境の変化に合わせて、ヒトゲノム・イニシアティブや微生物ゲノム・イニシアティブといった

(67) Vaughan, ed., *op.cit.*(39), p.44.

(68) 例えば、United States General Accounting Office, *Department of Energy: Needed To Reevaluate Its Role and Missions*, GAO/T-RCED-95-85, 1995; United States General Accountability Office, *Department of Energy: Better Information Needed to Determine If Nonmajor Projects Meet Performance Targets*, GAO-13-129, 2012.

新しい研究戦略を大胆に打ち出し、自分自身を柔軟に変化させてきた。

## おわりに

本稿では、原子爆弾の開発製造を目指したマンハッタン計画に起源をもつDOEの歴史を概観しつつ、同省が提唱したヒトゲノム計画との関わりについて調べてきた。

DOEがヒトゲノム計画に関わった理由として次の4点が考えられた。

一つ目は、DOEの起源に関係し、広島・長崎の被爆生存者や子孫の遺伝子調査に役立つ突然変異検出法の確立につながると考えられたからである（Ⅱ 2）。

二つ目は、DOEの強みであるコンピュータ科学を生かせる計画だと考えたからである（Ⅱ 3）。

三つ目は、ビッグサイエンスを運営してきたDOEの経験が生かせると考えられたからである（Ⅱ 3）。

四つ目は「原子爆弾の影から抜け出したい」というDOEの研究者の心情である（Ⅱ 4）。

DOEは、1970年代のオイルショックを契機に誕生した連邦官庁である。ヒトゲノム計画への参画を機に、微生物を活用して、核汚染のクリーンアップや気候変動問題の解決といった同省の今日的課題に応える道を切り拓いてきた。

学際的で多様な組織、そして時代の要請に応える形で、大胆な科学プロジェクトに取り組む組織というのが、同省の特徴であるように思える。ただし、その特徴はマンハッタン計画に遡ることに留意しなければいけない。戦時から平時という変化はあるにしても、1942年に始まったマンハッタン計画が、現代においてもDOEの科学研究の組織的なモデルと位置づけられている。

（せがわ しろう）