

# Javanese Erectus - an almost perfect skull (vault and base)

ジャワ島ホモ・エレクトス化石 - 頭蓋冠と頭蓋底を備えたほぼ完全な脳頭蓋

Prepared by the Indonesia-Japan Joint Research Group

February 14, 2003 / 2003年2月14日

「インドネシア - 日本 共同研究グループ」提供

Embargoed for release until February 27, 2:00 p.m. U.S. eastern time / February 28, 2:00 a.m.

Indonesian time / February 28, 4:00 a.m. Japanese time.

Date of publication in the journal *Science* is February 28.

報道解禁：日本時間2月28日午前4時 / 米国東部時間2月27日午後2時 / インドネシア時間2月28日午前2時

掲載予定：「サイエンス」誌・2003年2月28日 (金) 発行号

An Indonesian-Japanese group of researchers have announced the discovery of a *Homo erectus* calvarium, better preserved than any known so far. The discovery provides crucial new information on the evolution of *Homo erectus* to *Homo sapiens*, and is reported in the February 28 issue of *Science*, under the title “ *Homo erectus* calvarium from Pleistocene of Java. ”

インドネシアと日本の研究者からなる共同研究グループは、極めて保存のよいホモ・エレクトス頭蓋化石の発見を発表した。この発見は、ホモ・エレクトスからホモ・サピエンスへの進化における重要な新知見をもたらすもので、2003年2月28日発行の「サイエンス」誌に「更新世ジャワ島出土ホモ・エレクトス脳頭蓋」という題名で掲載される。

註：Skullは日本語の頭骨に当たり、頭顔部全体の骨格を指す一般用語で、解剖学的には頭蓋と呼ばれる。Craniumは下顎骨を除いた頭蓋で、相当する日本語はない。Calvarium（脳頭蓋）は、脳を入れる部分で、いわゆる頭に相当する。Vault（頭蓋冠）は脳頭蓋の上中部である。Cranial base（頭蓋底）は脳頭蓋の底で、脳頭蓋と顔および頸部の境界に当たる。

## 発見地

- ・ サンブンマチャン4号（Sm 4）は、インドネシア・ジャワ島の中部ジャワに位置するサンブンマチャン（Sambungmacan）郡のソロ（Solo）河から発見された。ここでは、ソロ河はサンブンマチャン郡のチェマン（Chemeng）村とジェナル（Jenar）郡のムラレ（Mlale）村の境界をなしている。化石は河床にゆるく堆積した砂の中から発見された。
- ・ サンブンマチャン郡では、以前に今回の発見地より4 km東で、別の脳頭蓋化石（サンブンマチャン1号、Sm 1）と脛骨片（サンブンマチャン2号、Sm 2）が発見されている。また1997年には、今回の発見地のわずか100m下流で脳頭蓋化石が発見され、サンブンマチャン3号（Sm 3）と名付けられた。

## 発見と研究の過程

- ・ この地域では、雨期の増水した流れによって運ばれた砂が、ソロ河の蛇行部に堆積するために、乾季にはそこで人力による砂の採取が行われている。2001年10月1日に、作業員が河床を確認しているときに、脳頭蓋化石を拾い上げた。以前から当地で調査を行っていたアジズ (F. Aziz) が連絡を受け、発見の翌日に現地へ赴き、化石を確保した。これ以降、この新発見の化石標本は地質研究開発センター (GRDC) の管理下にある。
- ・ 2002年に、GRDCにて国立科学博物館の馬場・海部とGRDCのアジズが形態研究をおこない、以降、インドネシア産の他の化石標本などとの比較研究が実施されてきた。
- ・ 2002年5月には、新発見脳頭蓋化石 (Sm 4) とほかの頭蓋化石 (サンブンマチャン3号、ガンドン12号) がアジズとヤコブ (T. Jacob) によって東京大学総合研究博物館に運ばれ、諏訪・河野がマイクロCT撮影をおこなった。これ以前にマイクロCT撮影済みであったサンギラン17号頭蓋 (下顎以外の頭顔部が保存されている) のデータも含めて、頭蓋内腔の形態についての比較解析をおこなった。

## 化石の保存状態

- ・ Sm 4化石はきわめて保存の良い脳頭蓋である。化石化の過程で失われやすい頭蓋底の大部分が保存されている。堆積中によく起こる変形や歪みも事実上みられない。頭蓋外表面は、例外的によく保存されており、水流によって運ばれた際にできる傷や摩耗もほとんど認められない。このため、頭蓋外表面の筋肉附着部や特有の隆起などの構造を詳細に調べることができる。頭蓋の内部もほぼ完全に保存されており、頭蓋底内部構造の精査が可能である。
- ・ ジャワ島ではこれまでに、20点ほどの脳頭蓋化石が発見されている。新標本は、顔面部を欠いているものの、脳頭蓋の保存状態においてこれまでに発見されたどの頭蓋化石より完全なジャワ原人化石であるといえることができる。

## 化石の堆積層と年代

- ・ 発見地点付近の地質調査と、発見時の状況から、Sm 4頭蓋化石は発見地点の地層に埋まっていたのではなく、上流の露頭から流されてきたものと思われる。発見地点付近に集積している動物化石は、色合いや化石化の程度において変異がみられ、複数の露頭から由来していると考えられる。従ってSm 4標本がどの露頭に由来したのかについて現時点では特定できていない。
- ・ 過去におこなわれた地質調査、および我々自身の地質調査から、上流地域の露頭の大部分は前～中期更新世に比定されるカプー層であると考えられている。Sm 4標本にはこの地層に特徴的な砂が硬く附着しているためにこの地層由来と推測され、テラス由来のガンドンとサンギランの多くの頭蓋化石群の間の年代の可能性がある。

## 1. 現代人の頭蓋形態の進化

- ・ 現生人類の頭蓋構造の特徴は、短く球形の脳頭蓋と縮小・後退した顔面にある。近年の古人類学の焦点の一つは、この進歩的な形態複合体がホモ・エレクトスからホモ・サピエンスへの進化過程でどのように生じたかを明らかにすることにある。
- ・ このような形態進化は、脳のサイズ、顎と歯のサイズ、鼻部気道の構造、咽頭の構造などと関連して生じた、少数の「カギ」となる形態発現様式の変化に基づくだろうとの見通しがある。そうした進化が人類進化のどの時点でどのように起こったかを明らかにすることが重要である。
- ・ こうした視点から取り上げられてきたのが、頭蓋底の屈曲である。たとえば、ある仮説では、頭蓋底正中部の強い屈曲が影響し、顔面部の突出が少なくなったという。一方で、頭蓋底の長さが顔面の突出と関係するという別の考えもある。
- ・ このような仮説の検証には、古代型人類の頭蓋内部構造を調査し、頭蓋底屈曲と他の形質変化の関連性を吟味する必要があるが、保存良好な化石が稀であるためそうした調査は進んでいなかった。
- ・ Sm 4標本は、こうした目的のために頭蓋底内部構造を確認することができる初めてのホモ・エレクトス頭蓋化石であると言える。

## 2. ジャワ島化石人類の系統と進化

- ・ ジャワ島での本格的な古人類学的研究は、1891年のトリニールでのホモ・エレクトスのタイプ標本の発見に始まる。
- ・ 中部ジャワのサンギランでは、前期更新世中～末期の地層から7点ほどの保存良好な頭蓋化石が発見されている。これらは、トリニールのタイプ標本との類似性から、ホモ・エレクトスに分類されている。
- ・ 東部ジャワのガンダンのテラス堆積物からは、頭蓋化石が10点ほど出土している。これらの頭蓋標本は、形態的にやや進歩的な特徴を持つため、古代型ホモ・サピエンスとする見方もあるが、多くの研究者は進歩的ホモ・エレクトスとみなしている。
- ・ この他に、中部ジャワのサンブンマチャン地域からは、年代不詳の頭蓋化石が2点出土している。両者のうち最近発見された頭蓋化石（Sm 3）はガンダンとの類似性が強く、他方（Sm 1）はガンダンとサンギランの間あるいはガンダンに近いとみなされている。
- ・ ジャワ島のサンギランとガンダンの化石群を中国の北京原人と比較すると、ジャワ島の化石群は中国の化石群とは明確な違いがあり、区別が可能である。サンギランとガンダンにはいくつかの共通点があるため、両者の間に祖先・子孫関係が示唆されていた。しかしその一方で、

サンギランとガンドンの化石群の間には、詳細な形態においては多くの違いが存在する。ジャワ原人の系統的連続性を示すには、この形態的・年代的空白を埋める新たな証拠が必要であった。

### 3. 現代人の起源 連続か非連続か

- ・ 現代人の起源に関しては、「多地域進化説」・「アフリカ単一起源説」という対立する二つの仮説がある。
- ・ 多地域進化説では、最初にホモ・エレクトスがアフリカからユーラシア大陸に広がった後に、個々の地域集団が現生人類に進化したという。すなわち、各地域集団の系統が独自性を保ちながらも、互いに近隣集団と重要な遺伝子を交換することによって、現生人類の状態に向かう共通の進化が起こったと考える。
- ・ 現代人アフリカ単一起源説では、20～10万年ほど前にアフリカで進化した現生人類の祖先が、再びアフリカから世界中に拡散し、各地で先住のホモ・エレクトスの子孫と実質的に置き換わったと考える。
- ・ 両者の議論は、過去10年余りの間にある程度の進展をみたものの、主要な論点においていまだ平行線を辿っている。東南アジア・オーストラリア地域は、この論争の焦点の一つとなっている。多地域進化説支持者は、頭蓋冠の形態の類似性を根拠にジャワ原人がオーストラリア先住民の母体となったと主張する。これに対してアフリカ単一起源説支持者からは、オーストラリア先住民の形態変異や研究対照となった化石標本の病変の可能性など、いくつかの批判が出ている。
- ・ 多地域進化説支持者の主張のもう一つの難点は、比較に用いられた形態特徴の分析の不十分さにある。彼らの分析には、頭蓋底など、ホモ・エレクトスの原始性・特殊性が強く反映されている部分が含まれていない。

## 成果の要点

### 1. ホモ・エレクトスの頭蓋特徴

- ・ 新発見のSm 4脳頭蓋化石標本が例外的に保存がよいこと、また、高解像度マイクロCTの利用によって、ジャワ原人の頭蓋底内部構造に関していくつかの重要な側面が明らかになった。
- ・ ジャワのホモ・エレクトスの頭蓋底正中部は、現代人並みに屈曲していることが判明した。一方でホモ・エレクトスの脳頭蓋は原始的で低く長く、顔面の突出も強い。従って現代人特有の球形の頭は頭蓋底正中部の屈曲と関連して進化したとする従来の仮説は支持されない。
- ・ 一方、頭蓋内部の頭蓋底側方部の発達に関しては、ホモ・エレクトスはホモ・サピエンスと

は違っていた。すなわち、前頭蓋窩（前頭葉が入る）の前下方への発達（発達していれば眼窩上壁が水平に近くなる）と中頭蓋窩（側頭葉が入る）の前方拡大において、ジャワ原人は現代人には及ばないことが分かった（論文中の表1、図2）。

- ・ したがって、現代人の大きな脳は、ただ上方に向かって丸いだけでなく、再構成され深くなった頭蓋外側部の上に乗っている（中に収まっている）と言える。今後は、これらの頭蓋底側方部におけるエレクトスからサピエンスへの変化が、顔面部の縮小・後退とどう関連するかなどが大きく注目される。

## 2. ジャワ島における系統的連続性

- ・ 新発見のSm 4頭蓋化石には、サンギランとガンドンのそれぞれの形態特徴が混在する（論文中の表2）。Sm 4標本は、形態的そしておそらく年代的にも、サンギランとガンドンの化石群の中間に位置付けられる。
- ・ このことは、ジャワ島周辺地域において、ホモ・エレクトスの一地域集団が、ホモ・エレクトスとしての一般特徴を維持しながらも、長期間に渡ってほぼ独自の進化を遂げたことを強く示唆している。
- ・ 我々は、新頭蓋化石を含めてジャワ島におけるホモ・エレクトスの進化の方向性を探った。これにはマイクロCTによる分析が大いに役立った。外観からの肉眼観察では判定の難しい表面形態の詳細や内部構造が、CTの利用によって容易になったからである。たとえば、判定の困難な顎関節構造についても、CTを用いてより適格な判断が行えるようになった。
- ・ 分析の結果（論文中の表2）、後期のジャワ島ホモ・エレクトスには、他の化石・現生人類集団には見られない（または稀な）、多くの独特の形質（固有派生形質）が認められることがわかった。たとえば、顎関節の後壁の特有な構造や眼窩上隆起の外側が厚いことなどである。
- ・ このような特異的な形態特徴が時代と共に強まるということは、この地域のホモ・エレクトス集団の地理的隔離が進んでいたかもしれないことと、更新世の間にくり返された氷期／間氷期サイクルの中で起こったであろう人口減少や集団分裂と関連している可能性を示している。

## 3. ジャワ原人と現生人類の関連

- ・ こうしたジャワ島ホモ・エレクトスの進化の方向性を考慮すると、最後のジャワ島ホモ・エレクトス集団（ガンドン）が現代オーストラリア先住民の形成母体となったとは考えにくい。つまり、我々の分析結果は、現代人の起源に関する多地域進化説の見解を支持しないものである。
- ・ ただし、我々は、少数の頭骨の形態的分析から、集団間の混血のあるなしを検討するのは事実上不可能と考える。従って、当地において、移住・拡散してきたホモ・サピエンス集団が先



先住のエレクトス集団と全く混血なしに完全置換したのかという問いに対し、本研究結果は明確な答えを与えるものではない。

### 共同調査研究の歴史

- ・ これまで25年以上にわたって、インドネシアと日本との共同調査研究が続けられてきた。そのきっかけとなったのは、1975年から故・渡邊直経東京大学教授によってはじめられた調査であり、1976年以降、JICAの資金援助のもと15年間にわたって継続された。
- ・ この調査は、地質学、堆積学、年代学、動物相、植物相などによって、ジャワ島ソロ河流域の人類化石包含層を学際的に研究することを目的としていた。このJICAの援助による包括的調査研究は、特にサンギラン地域の層序年代学的な枠組みの解明に大きく貢献した。
- ・ 1987年からは、この調査隊に馬場が隊員として参加し、同じく隊員のアジズと共同で、形態研究を徐々に進めてきた。
- ・ 1991年以降は、馬場とアジズが隊長として、文部省および国立科学博物館の資金で中部ジャワにおける野外調査と形態学的研究を続けてきた。1994年からは海部も参加している。
- ・ インドネシア・日本共同調査チームは、インドネシアと日本が同等の資格のもと、調査研究を進めてきた。
- ・ 調査隊は、1997年にサンギランのブ克蘭（Bukuran）村の発掘で、ホモ・エレクトスの下顎切歯を発見した。顔面を含めた頭蓋としては最も保存の良いサンギラン17号頭蓋化石標本についての研究も共同でおこなっている。また、下顎骨と歯を含む多数の標本に関する研究を進めている。これらの研究には、ガジャマダ大学のヤコブ教授やインドリアティ講師も協力している。
- ・ 1999年には、サンブンマチャン3号の不法持ち出し事件があったが、ヤコブ・馬場・アジズ、そしてアメリカ自然史博物館のタッターソル（I. Tattersall）の協力で返還させた。
- ・ 今回、東京大学総合研究博物館との共同研究として、CT撮影とその後の形態解析を行った。

### CTの開発史

- ・ マイクロCTを用いた応用研究は、歯のエナメル質の厚さの研究を中心に諏訪と河野が1999年からおこなっており、今回は東京大学総合研究博物館の最新のマイクロCT装置を用いて、ジャワ島の化石の高精度のデジタル化に成功した。
- ・ マイクロCTは、従来は主として産業界において製品検査などに使用されているもので、医療用CTの10倍以上の解像度をもつ。ただし、頭蓋化石のような硬くて大きいものの全体を精度よく連続撮影するのは容易でない。今回これを可能としたのは、2000年以来、東京大学総合研究博物館とテスコ株式会社との連携で、アーテファクトの少ない高精度の連続撮影方法を開発してきたことによる。

## 調査研究資金援助団体

文部科学省 (Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology)

日本学術振興会 (Japan Society for the Promotion of Science)

国立科学博物館 (National Science Museum, Tokyo)

東京大学総合研究博物館 (The University Museum, The University of Tokyo)

日本国際協力事業団 (Japan International Cooperation Agency JICA)

## 研究者のリスト

馬場 悠男 (Hisao Baba) 国立科学博物館人類研究部長・東京大学大学院教授

Fachroel Aziz バンドン地質研究開発センター

海部 陽介 (Yousuke Kaifu) 国立科学博物館人類研究部研究官

諏訪 元 (Gen Suwa) 東京大学総合研究博物館助教授

河野 礼子 (Reiko T. Kono) 国立科学博物館人類研究部研究官

Teuku Jacob ガジャマダ大学