

# インドネシア東部のフローレス島で出土した新しい人類化石の考古学分析と測定年代

ニューイングランド大学、M J Morwood et al.

原文：Archaeology and age of a new hominin from Flores in eastern Indonesia Nature Vol.431(1087-1091)/28 October 2004; www.naturejpn.com/digest

東インドネシアのフローレス島にある石灰岩でできた大きな洞窟、リアン・ブア (Liang Bua) の発掘研究から、小柄なヒト族(Hominini)の化石人類集団がいたことを示す証拠が得られ、解剖学的見地からこの人類は独立種とするに十分な特徴を備えており、新しい種、*Homo floresiensis* (ホモ・フローレンシエンシス)に分類された<sup>1</sup>。見つかったのは、頭蓋と首から後方の一部の遺体化石が1体分、そして、それより古い堆積物中にあった別の個体由来の小白

歯1本である。今回我々は、これら遺体化石を取り巻く状況、意義、そして未だに残る考古学上の不確定部分について報告する。放射性炭素(<sup>14</sup>C)法やルミネッセンス法、ウラン系列法、電子スピン共鳴法(ESR)による年代測定では、*H. floresiensis*が存在したのは3万8,000年前より以前から少なくとも1万8,000年前までとなる。付随の堆積物には石器や、コモドオオトカゲやステゴドン類(化石ゾウ類)の小型固有種といった動物の遺体化

石が含まれている。*H. floresiensis*は、フローレス島に到達したホモ・エレクトゥスの初期分散集団(ホモ・エルガステルやホモ・ゲオルギクス [*Homo georgicus*] と呼ばれる化石標本を含む)<sup>1</sup>から生じ、この島が隠れ家となって比較的最近の年代まで生き延びた。*H. floresiensis*の生息年代はこの地域にいたホモ・サピエンスと有意に重なり合っている<sup>2,3</sup>が、両種が互いに影響を及ぼし合ったかどうかや、その内容については不明である。

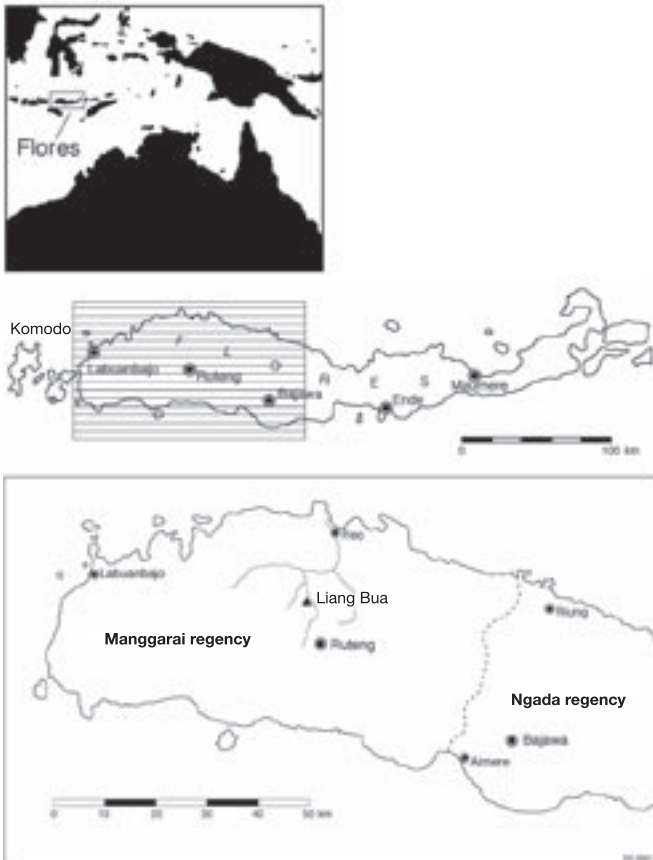


図1 インドネシア東部にあるフローレス島、およびフローレス島西部にある Liang Bua 洞窟のおよその位置関係。

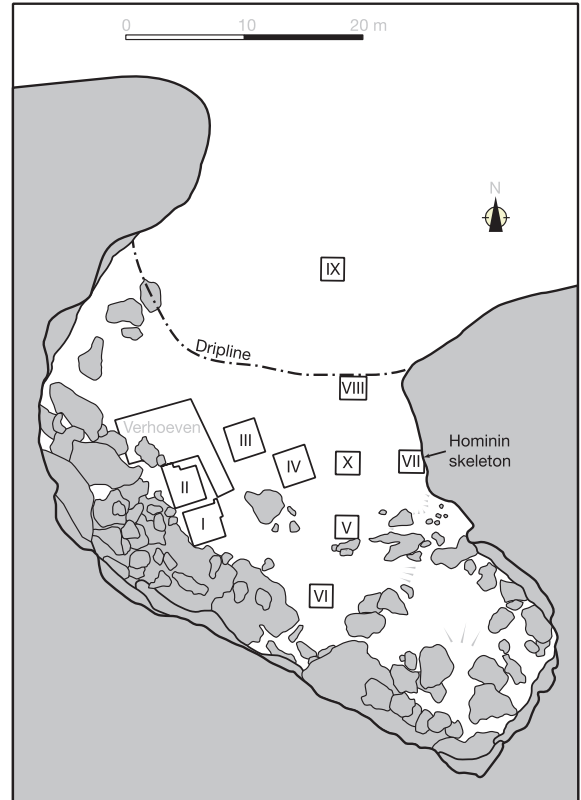


図2 発掘された領域(セクターと呼ぶ)と人骨(セクターVII)の位置関係を示す Liang Bua の図。この遺跡は1965年にTheodor Verhoeven 神父により初めて大規模な調査が行われ、1978～1989年にはR P Soejono が10のセクターを発掘した。我々は、2001年の初めにセクターI、III、IV、VIIを掘り進めた。

Liang Bua は中新世の石灰岩でできた洞窟であり、インドネシア東部のアジア大陸とオーストラリア大陸の中間に位置するフローレス島にある(図1)。洞窟はルテン(Ruteng)の北14 km、北側の海岸から25 km、海拔500 m にあってワエ・ラチャン(Wae Racang)川の渓谷を見下ろしている(南緯08°31'50.4"、東経120°26'36.9")。入り口は幅30 m、高さ25 mで奥行きは最大で40 mである(図2)。カルスト形成の溶解作用で地下洞窟として形成されたのち、北側の端がWae Racang川の侵入により開口した。この川は現在、Liang Buaから200 m離れて30 m下を流れているが、渓谷には5段の河岸段丘があることから、相当な期間にわたって複雑な穿入作用を受けたとみられる。

Liang Buaにおける我々の調査の目的は、フローレス島での人類の進化や分散、文化や環境の変化の歴史を知る手がかりを掘り起こすことにある。この島では、84万年前の更新世前期までに人類が居住していたことを示す証拠が得られている<sup>4,5</sup>。調査にあたっては発掘すみの4つのセクター(I、III、IV、VII)から埋め戻しの土を除去したのち、発掘を進めた。我々は、岩盤に突き当たらずに最大で11 mの深さまで掘り進んだ。

ここまでの段階でLiang Buaでの最大の発見は、東側の壁に近いセクターVIIで見つかったヒト族の人骨1体である。遺体化石に含まれていたのは頭骨、下顎、骨盤、足の骨で、こ

れらのいくつかは発見時にまだ関節がつながっており(図3)、ヒト族の化石人類新種として*H. floresiensis*と命名するのに十分な独自の特徴を備えていた<sup>1</sup>。

セクターVIIでは2 m×2 mの範囲を7.2 mの深さまで掘り進み、水流で丸められた巨礫の混じる赤粘土に達した(図4)。人骨は動物の遺体化石や石器と一緒に見つかり、深さ5.9 mにある濃茶色のシルト質粘土でできた緩やかな傾斜面に堆積している、その上を斜面雨洗堆積物におおわれていた。意図的な埋葬を示すような層序や人工遺物の証拠はなかった。上に重なる粘土やシルト、落石類の層から、この傾斜は、セクターVIIのもっと下の北側部分に明るい茶色および灰色の(「白っぽい」)凝灰質シルトが積もるまで維持されたことがわかる。これらの凝灰質シルトは火山噴火に由来したもので、洞窟内の他の場所にもあることから層序の目安になる有用な層準となり、その年代は一緒に見つかった木炭からABOX-SC(acid-base wet oxidation, stepped-combustion)<sup>14</sup>C法を使って(参考文献6,7と補足情報)、1万3,000年前と1万1,000年前との測定年代が得られた(補足情報のTable 1a参照)。深さ4 mから地表面まで、堆積物は水平に積もり、同一の層序が洞窟の床全面に広がっていることから、堆積物の積もり方には一致したパターンがあることがわかる。

この遺体化石の年代(補足情報のTable

1a, b)を推定するために、放射性炭素法とルミネッセンス法を使った。骨格の完全さや関節結合の程度を考えると、この遺体は死後すぐに、まだ部分的に肉がついている状態で細かい堆積物でおおわれたに違いない。セクターVIIの一番奥深くにあった堆積物から見つかった3つの木炭標本を、前もって処理したのちABOX-SC法を使って黒鉛化した。そして、この最も信頼性のある成分の<sup>14</sup>C含有量を、加速器質量分析で測定した。人骨とともにあった2つの標本(ANUA-27116とANUA-27117)の較正暦年代(実年代)は中央値が1万8,000年前となり、統計的に区別できなかった(68%の信頼区間:それぞれ較正暦年代にして1万8,700~1万7,900年前と1万8,200~1万7,400年前)。

これらの<sup>14</sup>C年代の有効性を確かめるため、堆積物にルミネッセンス年代測定法を使った。とくに、「無限に古い」木炭が完新世の放射性炭素に汚染され、そのためにこれほど多くの原始的形質を備えた人骨に対して予想を超えた新しい年代が出てしまうことがないように確かめた。赤外線誘起ルミネッセンス(IRSL)法を使った、カリウムに富む長石粒の光学生年代測定<sup>8,9</sup>では、人骨の上および横で採集された試料について、それぞれ1万4,000±2,000年前(LBS7-40a)と6,800±800年前(LBS7-42a)という値が得られた。どちらの試料も、測定年代が新しくなりすぎると有意の変動的フェーディングを示す(補足情報を参照のこと)が、利用可能なフェーディング修正モデル<sup>10</sup>を用いても、我々はこの測定されたフェーディング率を信頼性をもって地質学的時間スケールまで拡張することはできなかった。したがって、どちらのIRSL年代測定値も、堆積物が最後に日光にさらされてからの経過時間の最小推定値と見るべきだろう。

堆積物の年代を示す最大値は、光感受性赤色熱ルミネッセンス(TL)法を使って石英粒から得られた<sup>11,12</sup>。TLのシグナルはIRSLのシグナルよりもあせにくい、変動的フェーディングには損なわれない。2つの試料、つまり3万8,000±8,000年前(LBS7-40b)と3万5,000±4,000年前(LBS7-42b)についてのTL年代は統計的にみても弁別不可能であり、このことから人骨の持ち主は死後すぐに短時間で埋められたとする我々の主張が裏づけられる。TL年代とIRSL年代から、この人骨を含む堆積物

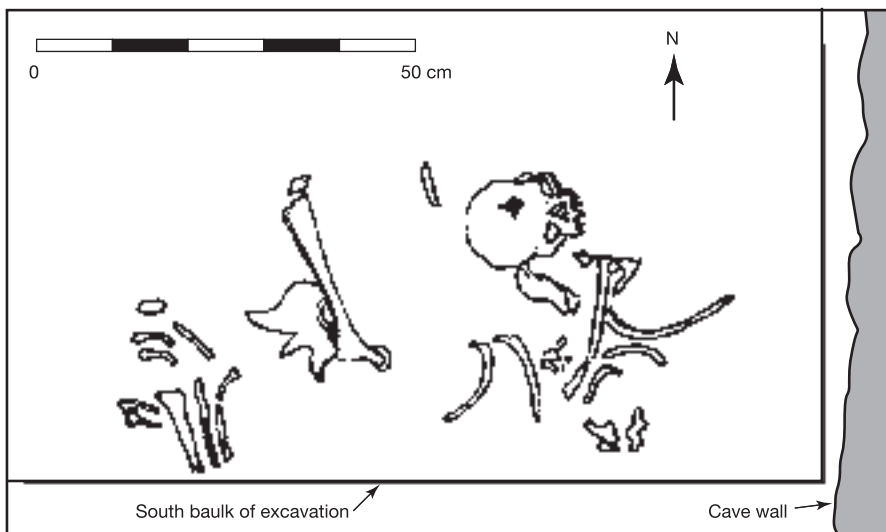


図3 Liang BuaのセクターVIIを発掘中に見つかった際の人骨の平面図。骨格の構成要素どうしの関係性と東および南の発掘境界線との位置関係を示してある。右の脛骨と腓骨は、右の大腿骨と膝蓋骨の下に隠れていた。腕など追加の骨格部分は南の境界線に隣接する未発掘の堆積物中に埋まっている可能性がある。

の堆積した時期は3万5,000 ± 4,000年前と1万4,000 ± 2,000年前の間に入り、この範囲は1万8,000年前に中央値がくる<sup>14</sup>C年代と矛盾しない。

Liang Bua 洞窟内のもっと古い年代の堆積物中にも *H. floresiensis* のものと判断される証拠が見つかったことから、我々の調査対象が異常な1個体なのではなく、長年にわたって存在した集団だとわかる。セクターⅣの深さ4.3 mで、層序的な不整合面の下にある堆積物から下顎の左小臼歯が見つかったが、これはセクターⅦで出土した完全な人骨下顎

にある小臼歯と同一の特徴的形態を備えていた。この不整合面の上に層序的に重なる流れ石は、熱イオン化質量分析(TIMS)ウラン系列年代測定では3万7,700 ± 200年前(試料LB-JR-6A/13-23、補足情報のTable 1c)という値になり、これは *H. floresiensis* の生息期間をさかのぼり拡大するための最小値となる。

加えて、単独で見つかった人類の小臼歯の真下にあたる深さ4.5 mで出てきたステゴドンの子どもの臼歯は、ESR/ウラン系列年代測定法で7万4,000 + 1万4,000年前から-1万2,000年前と出た(試料LB-JR-8a、補足情報の

Table 1e)。この年代測定値の地層と、TL年代測定で得られた最古の堆積物年代値9万5,000 ± 1万3,000年前にあたる深さ7.5 mの間で出た遺体化石(試料LBS4-32a、補足情報のTable 1b)は、まだ種の診断がなされていない。しかし、これらの遺物には、深さ5.8 mにあった推定身長およそ1 m(参考文献1)の成人の<sup>とう</sup>焼骨が含まれ、大きさから我々はこれを暫定的に *H. floresiensis* に分類した。ただし、ホロタイプ(完模式標本)には直接比較するための腕の部分が欠けている。もし確認できていれば、この種同定により *H. floresiensis*

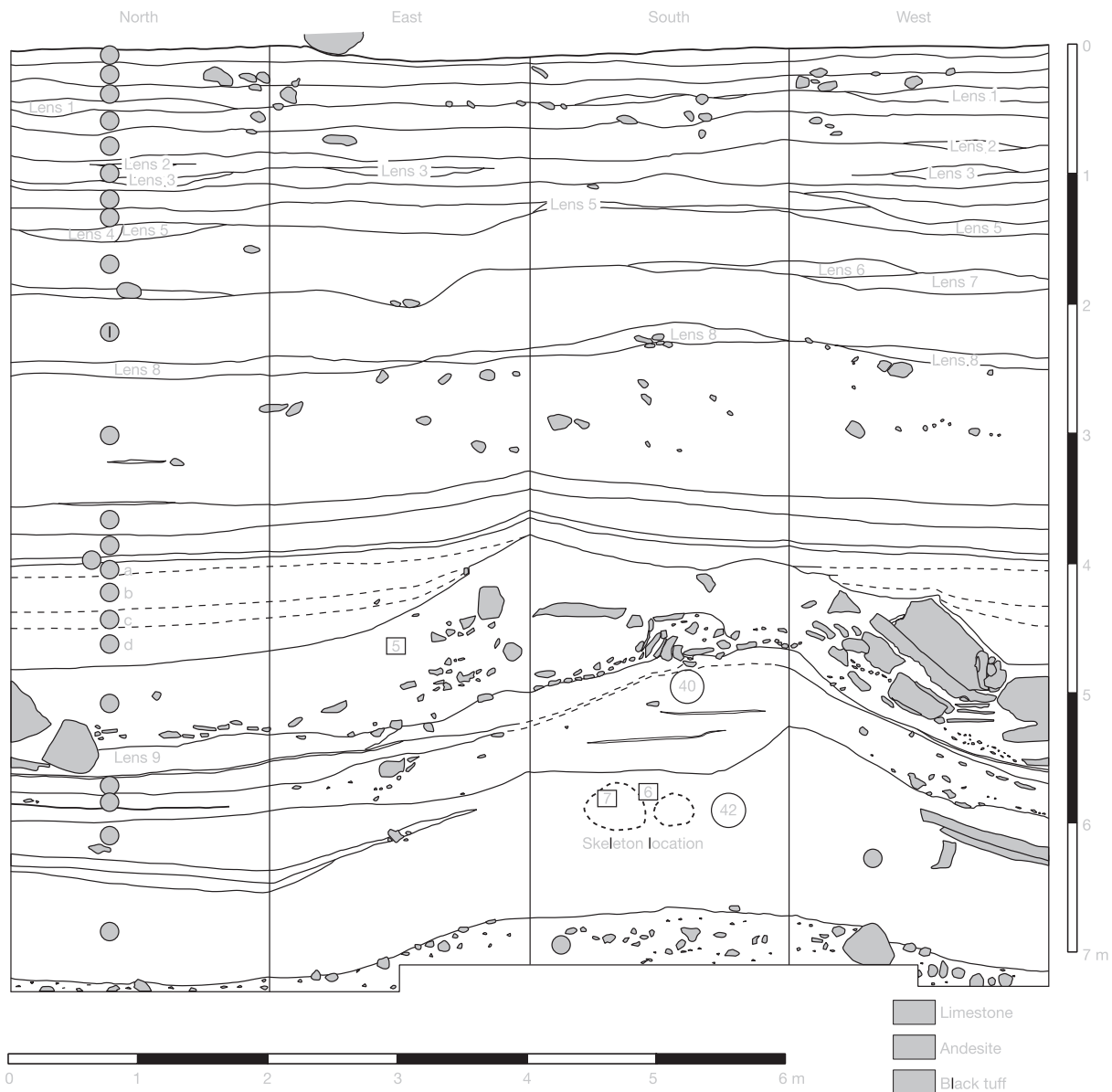


図4 Liang BuaのセクターⅦの発掘層序断面。人骨の位置も示してある。A、粗粒シルト；B、シルト；C-K、粗粒シルト；L、凝灰質シルト；M、粘土；N(a-d)、「白っぽい」凝灰質シルト；O、粘土と角礫；P、粘土；Q、シルト質粘土；R、砂質粘土；S、水作用を受けた火山性巨礫を伴う粘土。40と42の丸つき数字はそれぞれルミネッセンス試料LBS7-40とLBS7-42の位置を示し、5、6、7の四角つき数字はそれぞれ<sup>14</sup>C試料のANUA-27115、ANUA-27116、ANUA-27117の位置を示す。



▶ は少なくともおよそ7万4,000年前には生息していたことになる。

*H. floresiensis*の行動に関係するものとして、共に出土した小規模な動物遺骨化石群には魚類やカエル、ヘビ、カメ、オオトカゲ、鳥類、齧歯類、コウモリなどが含まれる。多くは自然の作用で集まったものとみられるが、一部の骨は黒焦げになっていて、これは何も無い洞窟の床で自然にできたとは思われない。

この更新世堆積物の中で見つかった大型動物は、コモドオオトカゲともっと大きな別のオオトカゲ類、そして固有種の矮小型ステゴドン類だけである。ステゴドン類のうち少なくとも17個体はセクターIVに集まっており、少なくとも9個体がセクターVIIで見ついている。ステゴドンの臼歯にある歯のすり減り具合からも、大部分の個体が子どもであって(参考文献13の年齢グループ1)、セクターIVでは30%(5個体)が生まれたての赤ん坊だったことを示している。成体の遺物は、保存状態のよくない首より後ろの化石が2つと臼歯の隆起部分の破片1個のみである。マカクザルやシカ、ブタ、ヤマアラシといった他の大型哺乳類は、その上に重なる完新世堆積物内に初めて現れ、ここには*H. floresiensis*の存在を示す証拠は見られない。これらの動物は、ホモ・サピエンスによってフローレス島に持ち込まれたことがほぼ確実である。

セクターVIIの更新世堆積物に含まれる石器の数は比較的少ない。今回の人骨と同じ地層で見つかったのは32個のみである。ところがセクターIVでは、*H. floresiensis*と同じ水準で石器が集中して多数見つかり、1m<sup>3</sup>あたり最大5,500個にもなった。目立つのは単純な剥片石器で、小さい放射型石核の両面を打ち剥がしたものであり、主に火山岩やチャート(硬い堆積岩)でできている。しかし、尖頭器や穴あけ器、石刃、細石刃(おそらく「かえし」の部分として柄に装着された)といった、もっと形式の整った石器類が、ステゴドンの証拠を伴ってのみ見つかった(図5)。この「大きな獲物」を狩るための石器製作技術は、一番古い文化的な証拠が見つかった堆積物の年代である約9万5,000~7万4,000万年前から、ステゴドン類が消えるおよそ1万2,000年前まで、発掘されたセクターすべてで続いて見られる。ステゴドン類が見当たらなくなる層のすぐ上には、この化石ゾウ種の

絶滅と時を同じくして起こった火山噴火の噴出物に由来する「白っぽい」凝灰質シルトがある。これらの独自の石器類がステゴドン類化石のすぐ近くにあったことからみて、更新世後期にこの遺跡にいた人類は子どものステゴドンを選択的に狩猟していたようだ。

セクターIVとVIIの年代解析から、この遺跡に*H. floresiensis*がいたのは、この地域にホモ・サピエンスが到来した5万5,000~3万5,000年前<sup>2,3,7,14-18</sup>から相当あとの、3万8,000年前から少なくとも1万8,000年前までとなる。しかし、更新世堆積物で見つかった遺体化石のうち、ホモ・サピエンスに属するとみられるものは皆無だった。こうした証拠がないことから、我々は、付随して出土したこれらの石器を製作したのは*H. floresiensis*

だという結論に達した。

Liang Bua 洞窟のもっと年代の古い堆積物の中からは、より強い力で打ちつけて製作された石器も出ている。たとえば洞窟の後部には川に堆積した礫岩に混じって、大きくて重いチョッパーなどの石器が含まれている。上に堆積している流れ石のTIMS ウラン系列年代測定からすると、これらの人工遺物は10万2,400 ± 600年前よりも古いことになる(試料LB-JR-10B/3-8、補足情報のTable 1c)が、ヒト族のどの種がこれらの石器を製作したのかは不明である。

Liang Bua から東 50 km にあるソア(Soa)盆地には、更新世の前期および中期の遺跡があり、単純な剥片石器といっしょにコモドオオトカゲやステゴドンの遺体化石が出てくる<sup>4,5</sup>。▶

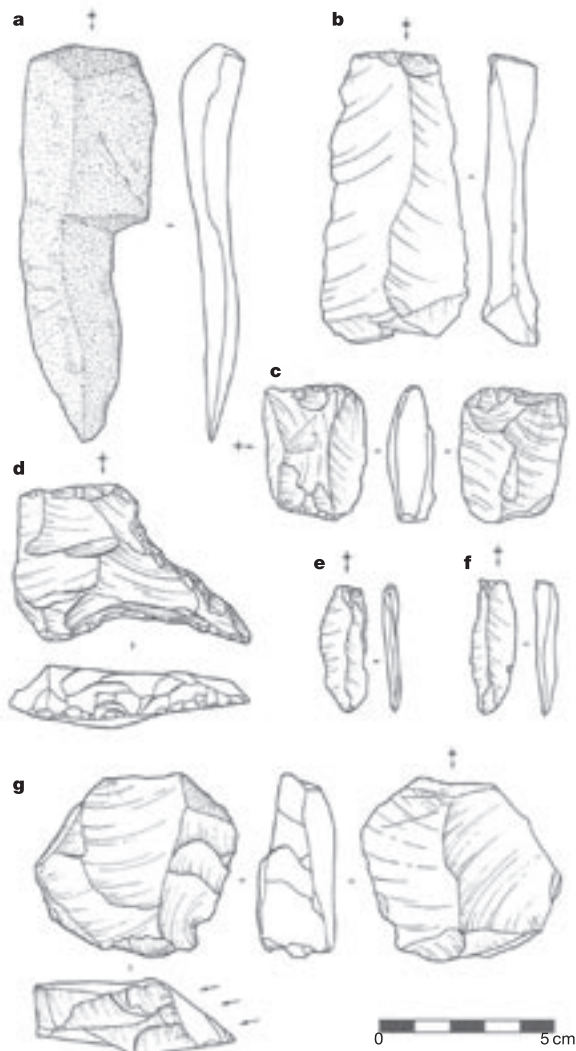


図5 *H. floresiensis* およびステゴドン類の遺体化石と共に見つかった石器の種類。a, b、大型細石刃；c、両面に刃がある石核；d、穴あけ器；e, f、細石刃；g、細石刃を製作するための彫刻刀形石核。矢印は打ち剥がしのプラットフォーム、つまり石器製作者が石のハンマーで直接、石核から剥片を打ちがした場所と向きをさす。

▶ これまではホモ・エレクトゥスがこれらの石器類を作ったと考えられてきた<sup>19-21</sup>。Liang Buaの*H. floresiensis*の形態形質は祖先種の候補とみられるホモ・エレクトゥスと矛盾しないが、フローレス島に人類が居住していた年代の可能性の幅を考えると、今の段階では、どの種がSoa盆地の石器類を製作したのかは推測の域を出ない。

Liang Bua洞窟で得られた証拠は、少なくとも1万8,000年前まで生き延びていた祖先種的なホモ・エレクトゥス集団から別の人類が現れ、その生息年代がホモ・サピエンスとある時期有意に重なっていたことを示すものだ。更新世のフローレス島で人類以外の唯一の大型陸生哺乳類だったステゴドン類は、フローレス島を隠れ家に生き延びたが、我々の解釈では、*H. floresiensis*もそれとまったく同様に、ウォーレス線(生物分布境界線)上近くの島という隠れ家に到達して保存された残存系統である。これらの動物集団は隔離されて長期にわたり独自の変化をとげた。フローレス島は、知られるうちで最小のヒト属の種<sup>1</sup>とステゴドン属の種<sup>13</sup>の生息地だったのだ。

現在の証拠からすると、フローレス島の遺伝的および文化的な隔離は、航海術をもったホモ・サピエンスが東アジアに現れて初めて崩れたことになる。その後、小柄で脳の小さい人類の集団がどうやってホモ・サピエンスとともに何万年の間生き延びたかは不明である。というのも、両者の相互作用がどんなものだったかを知る手がかりが現在のところ皆無だからである。直接的な接触や共同生活、競争や捕食といった関係はほとんどないか、まったくなかったのかもしれない。

しかし、初期のヒト族の認知能力を過小評価すべきではないだろう。Liang Bua洞窟で*H. floresiensis*と一緒に見つかった石器の製作技術がそれを物語っている。人類が更新世前期までにフローレス島に移住できたこと<sup>4,5</sup>も重大な意味をもっており、これに必要な海を渡る能力は、たとえ氷期の最中で海水面が低下していたとしても、他の多くの陸生動物の分散能力を上回るものだった。

フローレス島(と他のウォーレス線に近い島々も暗に含めて)での人類の居住や進化、文化の変化などの歴史が、これまで考えられていたよりもはるかに複雑なことは明らかである。たとえばロンボク島やスンパワ島は、人

類がアジア大陸やジャワ島からフローレス島に移住する足がかりとなった。もし初期の人類集団がこれらの島々で長期間生き延びたとすると、*H. floresiensis*に顕著に見られるのと同じような島の種分化圧を受けたことだろう。体の小型化は進化の傾向として予測できるが、他の傾向は島に特異的な適応や人口変動、火山噴火などの大災害の影響を反映したもののだろう。 ■

Received 3 March; accepted 18 August 2004; doi: 10.1038/nature02956.

1. Brown, P. *et al.* A new small bodied hominin from the Late Pleistocene of Flores, Indonesia. *Nature* (submitted).
2. Barker, G. *et al.* The Niah Cave project: the second (2001) season of fieldwork. *SarawakMus. J.* **56** (new ser. 77), 37–119 (2001).
3. Bowler, J. M. *et al.* New ages for human occupation and climatic change at Lake Mungo, Australia. *Nature* **421**, 837–840 (2003).
4. Morwood, M. J., O'Sullivan, P. B., Aziz, F. & Raza, A. Fission-track ages of stone tools and fossils on the east Indonesian island of Flores. *Nature* **392**, 173–176 (1998).
5. Morwood, M. J. *et al.* Archaeological and palaeontological research in central Flores, east Indonesia: results of fieldwork, 1997–98. *Antiquity* **73**, 273–286 (1999).
6. Bird, M. I. *et al.* Radiocarbon dating of "old" charcoal using a wet oxidation, stepped-combustion procedure. *Radiocarbon* **41**, 127–140 (1999).
7. Turney, C. S. M. *et al.* Early human occupation at Devil's Lair, southwestern Australia 50,000 years ago. *Quaternary Research* **55**, 3–13 (2001).
8. Aitken, M. J. *An Introduction to Optical Dating* (Oxford Univ. Press, Oxford, 1998).
9. Botter-Jensen, L., McKeever, S. W. S. & Wintle, A. G. *Optically Stimulated Luminescence Dosimetry* (Elsevier Science, Amsterdam, 2003).
10. Huntley, D. J. & Lamothe, M. Ubiquity of anomalous fading in K-feldspars and the measurement and correction for it in optical dating. *Can. J. Earth Sci.* **38**, 1093–1106 (2001).
11. Franklin, A. D., Prescott, J. R. & Robertson, G. B. Comparison of blue and red TL from quartz. *Radiat. Meas.* **32**, 633–639 (2000).
12. Stokes, S. & Fattahi, M. Red emission luminescence from quartz and feldspar for dating applications: an overview. *Radiat. Meas.* **37**, 383–395 (2003).
13. van den Bergh, G. D. The Late Neogene elephantoid-bearing faunas of Indonesia and their palaeozoogeographic implications. A study of the terrestrial faunal succession of Sulawesi, Flores and Java, including evidence for early hominin dispersal east of Wallace's Line. *Scripta Geologica* **117**, 1–419 (1999).
14. Roberts, R. G., Jones, R. & Smith, M. A. Thermoluminescence dating of a 50,000 year-old human occupation site in northern Australia. *Nature* **345**, 153–156 (1990).
15. Roberts, R. G. *et al.* The human colonisation of Australia: optical dates of 53,000 and 60,000 years bracket human arrival at Deaf Adder Gorge, Northern Territory. *Quaternary Sci. Rev.* **13**, 575–583 (1994).

16. Gillespie, R. Dating the first Australians. *Radiocarbon* **44**, 455–472 (2002).
17. O'Connor, S., Spriggs, M. & Veth, P. Excavation at Lene Hara Cave establishes occupation in East Timor at least 30,000–35,000 years ago. *Antiquity* **76**, 45–49 (2002).
18. O'Connell, J. F. & Allen, J. Dating the colonization of Sahul (Pleistocene Australia–New Guinea): a review of recent research. *J. Archaeol. Sci.* **31**, 835–853 (2004).
19. Maringer, J. & Verhoeven, Th. Die steinartefakte aus der Stegodon-fossilschicht von Mengeruda auf Flores, Indonesien. *Anthropos* **65**, 229–247 (1970).
20. Sondaar, P. Y. *et al.* Middle Pleistocene faunal turnover and colonisation of Flores (Indonesia) by *Homo erectus*. *C. R. Acad. Sci. Paris (Série II)* **319**, 1255–1262 (1994).
21. O'Sullivan, P. B. *et al.* Archaeological implications of the geology and chronology of the Soa Basin, Flores, Indonesia. *Geology* **29**, 607–610 (2001).

補足情報 (Supplementary Information) は [www.nature.com/nature](http://www.nature.com/nature) に掲載されています。

**Acknowledgements** Our work is funded by a Discovery Project grant to M.J.M. from the Australian Research Council (ARC), and by grants from the University of New England (M.J.M.) and the University of Wollongong (R.G.R.). R.G.R. holds an ARC Senior Research Fellowship, and C.S.M.T. and J.-x.Z. hold ARC Queen Elizabeth II Fellowships. C.S.M.T. also acknowledges the support of the Australian Academy of Science (J. G. Russell Award), the Natural Environment Research Council and Queen's University Belfast. The 2003 excavations at Liang Bua were undertaken under Indonesian Centre for Archaeology Permit Number 1178/SB/PUS/BD/24.VI/2003. Other participants included Jatmiko, E. Wahyu Saptomo, S. Wasisto, A. Gampar, C. Lentfer, N. Polhaupessy, K. Grant, B. Walker, A. Brumm, Rikus, Deus, Leo, Ansel, Agus, Seus, Camellus, Gaba, Rius, Beni and Piet. H. Yoshida and J. Abrantes assisted with IRSI and TL analyses, J. Olley made the high-resolution gamma spectrometry measurements, D. Huntley and O. Lian provided advice on anomalous fading, and R. Bailey suggested the isothermal measurement of red TL. Wasisto, M. Roach and K. Morwood assisted with the stratigraphic sections, plans and stone artefact drawings, and P. Brown and P. Jordan commented on earlier drafts of this paper.

**Author contributions** M.J.M., R.P.S. and R.G.R. planned and now co-ordinate the research program funded by the ARC Discovery Project grant, which includes the Liang Bua project. T.S. directed aspects of the excavations and analyses. Ages were provided by R.G.R. and K.E.W. (luminescence); C.S.M.T., M.I.B. and L.K.E. (14C); W.J.R. (ESR); and J.-x.Z. (uranium-series). R.A.D. and G.D.v.d.B. analysed the faunal remains, and M.W.M. the stone artefacts. D.R.H. supervised the stratigraphic section drawings and other aspects of the project.

**Competing interests statement** The authors declare that they have no competing financial interests.

**Correspondence** and requests for materials should be addressed to M.J.M. (mmorwood@pobox.une.edu.au) and R.G.R. (rgrob@uow.edu.au).