

日本学士院賞 受賞者 阿部彩子



略歴	生年	専攻学科学目
昭和三八年	四月	地球物理学・気候学・地球惑星科学
昭和六〇年	三月	東京大学理学部地球物理学科卒業
同六二年	三月	東京大学理学部地球物理学科卒業
平成元年	三月	東京大学大学院理学系研究科修士課程修了
同四年	九月	東京大学大学院理学系研究科博士課程中途退学
同五年	七月	スイス連邦工科大学 (ETH) 地球科学科博士課程修了
同五年	七月	Dr. sc. nat.
同七年	九月	日本学術振興会特別研究員
同〇年	三月	東京大学気候システム研究センター助手
同〇年	四月	地球フロンティア研究システム地球温暖化予測研究領域古気候研究グループリーダー(兼業)
同一年	九月	東京大学気候システム研究センター助教
同二年	四月	東京大学気候システム研究センター准教授
同二年	四月	東京大学大気海洋研究所准教授(組織改編による)
同二年	一月	東京大学大気海洋研究所教授(現在に至る)
同二年	一月	東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻地球惑星システム科学協力講座教授(現在に至る)
同二年	一月	国立極地研究所客員教授(現在に至る)
令和三年	四月	東京大学大気海洋研究所地球表層圏変動研究センター長(令和四年三月まで)

Dr. sc. nat. 阿部彩子氏の「氷期―間氷期
サイクル一〇万年周期の機構の解明」に
対する授賞審査要旨

地球の歴史において最近の数十万年の間、ユーラシアと北アメリカ大陸上では周期一〇万年で氷床が成長・減衰する氷期―間氷期のサイクルが繰り返されてきた。このことは氷河地形などより一九世紀から知られていたが、その原因・機構は長く不明の“Open question”であった。重要な中間ステップとなったのは一九四一年発表のミランコビッチの研究である。

地球表面の広い領域で温度が変化する原因としては太陽からの放射エネルギー量の変化が考えられる。地球上各地の受ける日射量は、太陽光の強度が一定であっても、公転軌道や自転軸の変動によって変化する。ミランコビッチは氷床の生成・消滅の鍵となる北半球高緯度域の夏至の日射量の変動を、天体力学による地球の公転・自転の変動に基づいて計算した。その結果によると日射量変動の幅は平均値の一〇%を超える大きさになるが、ほとんどは二・三万年と四・一万年の周期（自転軸の傾きの向きと大きさの変化によ

る）で、周期一〇万年の変動（公転軌道離心率の変化による）は小さく日射量の時系列では短周期成分に比べ僅かにしか過ぎない。ミランコビッチの論文発表以来、その結果に基づいて氷期―間氷期サイクル一〇万年周期を説明しようとする試みがなされて来たが納得できる解答は得られていなかった。

阿部彩子氏の研究は考え方としてはこれまでの研究と同じく、氷河時代の日射量変動をもとに氷床の変動を説明しようとするものである。大きく違う点は、出発点の日射量と最終結果の氷床量を扱い、それぞれを一個の数値として関係づけるのではなく、地域的に異なる変動をする氷河時代の日射量分布をもとに気候モデル MIROC（気象庁の協力のもと日本の大学共同で開発・阿部氏は若手の中核として参加）によってその時代の地球の気候変動全体を再現し、そこから氷床モデル ICE5（東京大学において阿部氏が中心となり開発）に必要なデータを求め、ICE5に入力して氷床の生成・消滅の状況を調べようとするものである。

この問題解法は実際に起こった気候と氷床の変動状態を、エネルギー源である日射の変動をもとに二つの数値モデルを順に用いて現実の氷床変動を再現しようとするもので、それが可能となった現代においては直接的で正しい方法と言える。実際、この前の間氷期（二二万年前）から最終氷期を経て現在の間氷期に至る氷床の変化

をこの方法で計算したところ地学的に推定された実際とよく合う結果が得られることが分かった。

しかし一〇万年周期の数サイクルどころか一サイクルですら、地球全体の気候と氷床の変化を気候モデルと氷床モデルの二つを用いて計算する事はそのままで計算量的に不可能である。阿部氏は、この困難を避けて氷床モデルへの周辺気候状態の入力データを求めるため次のような方法をとった。あらかじめ氷床量と入射日射量という二つのパラメーターについて選ばれた値の組み合わせを作り、それに対応する気候分布をMIROCで計算し、各気候のもとで氷床モデルに必要とされる入力量（降雪量など）を求めて置く。この事前で求めた結果を用いて氷床成長の計算を効率的に進めるという方法である。

もう一つ重要な点として基盤岩の応答を考慮に入れたことがある。測地データによれば、現在スカンディナヴィア半島はゆっくりと隆起しつつある。かつて氷床におおわれ、その重みで沈んでいた岩盤が氷床消滅の後アイソスタシーに向けてゆっくりと浮上している結果と解釈される。基盤岩変動にはこのアイソスタシーに向かう効果を取り入れた。

こうして全氷床量（地球上の固体の水の量）の拡大・縮小を一〇万年周期がはっきりしている過去四〇万年の期間にわたって計算し

たところ（酸素同位体比の変化から推定された）全氷床量の変化と極めてよく一致する結果が得られた。変化幅の最も大きい一〇万年周期の鋸歯状の変化を中心に歳差運動などによる二万年、四万年周期の変動も含めて実際の変化のグラフを完璧と言っているほど再現しているのには驚くばかりである。

北米大陸では低温期に北極に近い陸域で生まれた氷床が寒冷の度が強まるとともに上下に厚みを増すと同時に低緯度側に広がって面積が拡大する。氷床の発達に際しては基盤岩が沈降するので頂上の高度が下がって「頂上」の降雪量が増してさらに厚さ（高度）を増す。

南に広がりまた厚くなった氷床が（軌道・傾斜角変動による日射量変化で）一旦融解のフェイズになった時、岩盤はすぐには戻らないから氷床の下端は低高度にとどまり、底部の融解によって上部の水も高度を下げ次々と高温の大气に触れて急速に融解が進むという正のフィードバック・メカニズムがあることがわかった。

氷期一問氷期サイクルに関して一〇万年という周期とともに大きな特色は氷床の成長と減衰の非対称性である。成長はゆっくりで周期一〇万年の大きな部分が成長に費やされるのに対し減衰は極めて速く氷床量の時間変化のグラフは鋸歯状になっている。計算結果はこの特色を正しく再現しているが、これは基盤岩の変動を正しく取

り入れた結果と理解できる。

また論文においては一〇万年周期の卓越の原因として氷床変動がヒステリシス効果を持つ非線形振動(「鹿威し」のような緩和振動)であることが明らかにされ、単純な線形力学系における共鳴ではないことが示された点も重要である。

以上の通り、阿部氏は地球科学の最重要課題の一つでありながら長い間未解決であった氷期-間氷期サイクル一〇万年周期の謎に決定的と言える解答を与えた。地球の自転・公転の微小な変動で生じる日射分布の変動から、その結果生じる地球全体の気候の変動とそれに伴う氷床の拡大・縮小が正しく(観測から推定されたように)計算されたのである。加えて同氏は上記の問題を含む雪氷学、古環境学の研究に重点を置きつつその成果を応用して気候変動問題に貴重な貢献をするなど一九四篇に上る研究論文を発表している。

このように優れた業績を上げていることから、阿部彩子氏は日本学士院賞を授賞するにふさわしい研究者である。

主要論文目録 (総数一九四篇から二一篇選抜)

1. Abe-Ouchi A. and Blatter H. (1993) On the initiation of ice sheets. *Annals Glaciol.* **18**, 203–207.
2. Abe-Ouchi A., Blatter H. and Ohmura A. (1994) How does the Greenland ice-sheet geometry remember the ice-age? *Glob. Planet. Change* **9**, 133–142.

3. Huybrechts P., Payne T., Abe-Ouchi A. and the EISMINT Intercomparison Group (1996) The EISMINT benchmarks for testing ice sheet models. *Annals Glaciol.* **23**, 1–12.
4. Payne A. J., Huybrechts P., Abe-Ouchi A., Calov R., Fastook J. L., Greve R., Marshall S. J., Marsiat I., Ritz C., Tarasov L. and Thomassen M. P. A. (2000) Results from the EISMINT model intercomparison: the effects of thermomechanical coupling. *J. Glaciol.* **46**, 227–238.
5. Saito F., Abe-Ouchi A. and Blatter H. (2003) Effects of first-order stress gradients in an ice-sheet evaluated by a three-dimensional coupled model. *Annals Glaciol.* **37**, 166–172.
6. Saito F. and Abe-Ouchi A. (2005) Sensitivity of Greenland Ice sheet simulation to the numerical procedure employed for ice-sheet dynamics. *Annals Glaciol.* **42**, 331–336.
7. Abe-Ouchi A., Segawa T. and Saito F. (2007) Climatic conditions for modeling the Northern Hemisphere ice-sheets throughout the ice age cycle. *Clim. Past* **3**, 439–451.
8. Murakami S., Ohgaito R., Abe-Ouchi A., Cricifix M. and Otto-Bliesner B. L. (2008) Global-scale energy and fresh water balance in glacial climate: A comparison of three PMIP2 LGM simulations. *J. Clim.* **21**, 5008–5033.
9. Blatter H., Greve R. and Abe-Ouchi A. (2010) A short history of the thermomechanical theory and modeling of glaciers and ice sheets. *J. Glaciol.* **58**, 1087–1094.
10. Timmermann A., Knies J., Tim O. E., Abe-Ouchi A. and Friedrich T. (2010) Promotion of glacial ice sheet build up 60–115 kyr B. P. by precessionary paced Northern Hemispheric meltwater pulses. *Paleoceanography* **25**, PA4208.
11. Blatter H., Greve R. and Abe-Ouchi A. (2011) Present state and prospect of ice-sheet and glacier modelling. *Surveys Geophys.* **32**, 555–583.
12. Bracomot P., Harrison S. P., Kageyama M., Bertlein B. J., Masson-Delmotte V.,

- Abe-Ouchi A., Otto-Blesner B. and Zhao Y. (2012) Evaluation of climate models using paleoclimatic data. *Nature Clim. Change* **2**, 417–424.
13. Bindshadler R. A., Nowicki S., Abe-Ouchi A., Aeschwanden A., Choi H., Fasbender J., Granzow G., Greve R., Gutowski G., Herzfeld U., Jackson C., Johnson J., Khroulev C., Levemann A., Lipscomb W. H., Martin M. A., Moorhagen M., Parizek B. R., Pollard D., Price S. F., Ren D., Saito F., Sato T., Seddik H., Seroussi H., Takahashi K., Walker R. and Wang W. L. (2013) Ice-sheet model sensitivities to environmental forcing and their use in projecting future sea level (the SeaRISE project). *J. Glaciol.* **59**, 195–224.
14. Hargreaves J. C., Amann J. D., Ohgaito R., Paul A., and Abe-Ouchi A. (2013) Skill and reliability of climate model ensembles at the Last Glacial Maximum and mid-Holocene. *Clim. Past* **9**, 811–823.
15. Abe-Ouchi A., Saito F., Kawamura K., Raymo M. E., Okuno J., Takahashi K. and Blatter H. (2013) Insolation-driven 100,000-year glacial cycles and hysteresis of ice-sheet volume. *Nature* **500**, 190–193.
16. Timmermann A., Friedrich T., Timm O. E., Chikamoto M. O., Abe-Ouchi A. and Ganopolski A. (2014) Modelling obliquity and CO₂ effects on Southern hemisphere climate during the past 408 ka. *J. Clim.* **27**, 1863–1875.
17. Koenig S. J., Dolan A. M., de Boer B., Stone E. J., Hill D. J., DeConto R. M., Abe-Ouchi A., Lunt D. J., Quiquet A., Saito F., Savage J. and van de Wal R. (2015) Ice sheet in the mid-Pliocene. *Clim. Past* **11**, 369–381.
18. Abe-Ouchi A., Saito F., Kageyama M., Braconnot P., Harrison S. P., Lambeck K., Otto-Blesner B. L., Peltier W. R., Tarasov L., Peterschmitt J.-Y. and Takahashi K. (2015) Ice-sheet configuration in the CMIP5/PMIP3 Last Glacial Maximum experiments. *Geosci. Model Dev.* **8**, 3621–3637.
19. Schmidt G. A., Severinghaus J., Abe-Ouchi A., Alley R. B., Broecker W., Brook E., Etheridge D., Kawamura K., Keeling R. F., Leinen M., Marvel K. and Stocker T. F. (2017) Overestimate of committed warming. *Nature* **547**, E16–E17.
20. Ohgaito R., Abe-Ouchi A., Oishi R., Takemura T., Ito A., Hajima T., Watanabe S. and Kawamiya M. (2018) Effect of high dust amount on surface temperature during the Last Glacial Maximum: a modelling study using MIROC-ESM. *Clim. Past* **14**, 1565–1581.
21. Chan W. and Abe-Ouchi A. (2020) Pliocene Model Intercomparison Project (PlioMIP2) simulations using the Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC4m). *Clim. Past* **16**, 1523–1545.