

理学博士深尾良夫氏の「マントル ダイナミクスに関する

地震学的研究」に対する授賞審査要旨

地球の内部構造に関わる第一級の観測情報は地震波の伝播の様子を解析して得られる。高速計算機の発達普及によって可能になった地震波トモグラフィは、従来球対称として取り扱ってきた地球内部構造に水平方向の不均質を考慮した解析を可能にし、全マントルの地震波速度分布の決定からマントル全体に関わるダイナミクスが論じられるようになってきた。我が国を代表する世界的地震学者として、深尾良夫氏のこの分野の研究発展に対する貢献は著大である。

深尾氏の率いるグループは近年独自の地球自由振動解析法を開発し、地震波減衰の水平不均質構造を求め、下部マントルの上昇流は上部マントル側にまで入り込んでいることを示唆した。さらに、コア・マントル境界に敏感な自由振動モードを用いてマントル最下部の地震波速度の不均質構造を求め、下部マントルの上昇流の起源がコア・マントル熱境界層にあることを示唆した。

深尾氏らは一方、全世界の地震波初動到達時刻データを独自に開発したトモグラフィ法を用いて地球内部に逆投影し、世界で初めて全マントルの三次元P波速度構造を求めた。次にその手法を発展させて、西太平洋で特に分解能の高い全マントル三次元P波速度構造を求め、その結果にもとづいてスタグナントスラブの概念を提唱した。スタグ

ナントスラブとは海溝から沈み込んだプレート（スラブ）が上部マントルと下部マントルとの境界付近に滞留している状態を指す。このスタグナントスラブの概念は、高圧高温におけるマントル物質の相転移実験やその実験データを用いたマントル対流の大規模シミュレーションの結果とも驚くほど調和的で、今やマントルダイナミクスの基本概念の一つとなりつつある。

深尾氏はさらに、スタグナントスラブが大規模に滞留する地域にはコア直上にそれと対応する大きな速度異常のあることを見出し、それを滞留物質が下部マントルへと崩落しコア直上に堆積したものと考えた。この考えも最近、上部・下部マントル境界の相転移を考慮したマントル対流のシミュレーションによって支持されている。スタグナントスラブの崩落は、マントル下降流が時間的にも空間的にも従来考えられていたよりはるかに局在化した強い流れであることを意味するが、深尾氏らはこれをコールドプルームと呼んでその特別な意義を強調した。これらの考えはブルームテクトニクスとして総合化され、次世代地球観につながる作業仮説として注目されている。

深尾氏はまた、マントルに沈み込むプレート（スラブ）のダイナミクスに関しても著しい業績をあげている。海溝付近にはプレートの沈み込みに伴って、津波地震や低周波地震などの特異な地震が発生するが、深尾氏はこうした地震の震源解析から、その特異な性質が海溝付近の厚い堆積物に由来するものであることを初めて指摘した。また、沈み込んだプレート内で発生する地震に見られる特殊な波を解析し、プレート上面の海洋地殻は深さ六〇kmまでは玄武岩のままに留まりエクロジャイトに転移しないことを示した。これはプレート沈み込みの力学問題にも関わる第一級の重要な発見である。

より深くまで沈み込んだプレート（スラブ）内部で起こる地震は深発地震と呼ばれる。深尾氏は特に大きな深発地震を選んで記録を解析し、スラブ内の応力状態や断層分布を見積もり、深発地震も浅発地震と同じく地球内部の断層破壊現象であることを示した。ここで深尾氏の用いた解析手法はその後長く深発地震解析の手法とされた。深尾氏らはまた、深発地震面の形状に合わせてアクリル樹脂の球殻を折り曲げるといふ奇抜な方法を用いてスラブの変形特性を明らかにし、世界の深発地震面の多様な形状が球殻の変形として統一的に説明できることを示した。さらに、沈み込むスラブが島弧から島弧に連なる現象が、球殻のバックリング現象として定量的に説明できることを示した。これらは、プレートが板ではなく球殻であるという単純な幾何学的理由だけで、プレート沈み込みの謎のいくつかが解決されたものであり、結果の意外さにおいて多大の反響を呼んだ。

深尾氏は地震学者であるが、より基本的には地震学の枠を越えた第一級の地球学者といえることができる。事実、その研究は固体地球科学の広い領域にわたり、地球内部での放射熱伝導の実験的研究、日本アルプスやアンデス山脈の重力測定、それに基づく造山作用論の展開、球殻テクトニクスの提唱、反ニュートリノによる地球探査の理論、電子スピンを利用した年代測定法の改良、珪化木による地質時代の火山活動の追跡、等きわめて多岐におよんでいる。これらの研究を通じて多くの優れた若手研究者を育成してきた功績も大きい。

A. Mantle Dynamics

1. Fukao, Y., Source process of a large deep-focus earthquake and its tectonic implications: The Western Brazil earthquake of 1963, *Phys. Earth planet Inter.*, 5, 61-76, 1971.
2. Fukao, Y., Seismological evidence for selectivity in slip planes under downslip extension or compression, *Geophysical International*, 13, 223-242, 1973.
3. Fukao, Y. and M. Furumoto, Mechanism of large earthquakes along the eastern margin of the Japan Sea, *Tectonophysics*, 25, 247-266, 1975.
4. Fukao, Y., K. Kanjo and I. Nakamura, Deep seismic zone as an upper mantle reflector, *Nature*, 272, 606-608, 1978.
5. Fukao, Y., Tsunami earthquakes and subduction processes near deep-sea trenches, *J. geophys. Res.*, 84, 2303-2314, 1979.
6. Fukao, Y. and K. Kanjo, A zone of low-frequency earthquakes beneath the inner wall of the Japan trench, *Tectonophysics*, 67, 153-162, 1980.
7. Fukao, Y., S. Hori and M. Ukawa, A seismological constraint on the depth of basalt-eclogite transition in a subducting oceanic crust, *Nature*, 303, 413-415, 1983.
8. Fukao, Y. and K. Yamaoka, Stress estimate for the highest mountain system in Japan, *Tectonics*, 2, 453-471, 1983.
9. Hori, S., H. Inoue, Y. Fukao and M. Ukawa, Seismic detection of the untransformed basaltic oceanic crust subducting into the mantle, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 83a, 169-197, 1985.

10. Yamaoka, K., Y. Fukao and M. Kumazawa, Spherical shell tectonics-effects of sphericity and inextensibility on the geometry of the descending lithosphere, *Rev. Geophys. Space Phys.*, **24**, 27-53, 1986.
11. Yamaoka, K. and Y. Fukao, Why do island arcs form cusps at their junctions? *Geology*, **15**, 34-36, 1987.
12. Fukao, Y., K. Yamaoka and T. Sakurai, Spherical shell tectonics-Buckling of subducting lithosphere, *Phys. Earth planet. Inter.*, **45**, 59-67, 1987.
13. Inoue, H., Y. Fukao, K. Tanabe and Y. Ogata, Whole mantle P-wave travel time tomography, *Phys. Earth planet. Inter.*, **59**, 294-328, 1990.
14. Shibata, N., N. Suda and Y. Fukao, Use of apparent complex frequencies of free oscillations to estimate aspherical structure of the Earth, *Geophys. Res. Lett.*, **18**, 905-908, 1991.
15. Suda, N., N. Shibata and Y. Fukao, Degree-2 pattern of attenuation structure in the upper mantle from apparent complex frequency measurements of fundamental spheroidal modes, *Geophys. Res. Lett.*, **18**, 1119-1122, 1991.
16. Fukao, Y., M. Obayashi, H. Inoue and M. Nishii, Subducting slabs stagnant in the mantle transition zone, *J. geophys. Res.*, **97**, 4804-4822, 1992.
17. Kumagai, H., Y. Fukao, N. Suda and N. Kobayashi, Structure of the D" layer inferred from the Earth's free oscillations, *Phys. Earth planet. Inter.*, **73**, 38-52, 1992.
18. Fukao, Y., Seismic tomogram of the Earth's mantle: Geodynamic implications, *Science*, **258**, 625-630, 1992.
19. Fukao, Y., S. Maruyama, M. Obayashi and H. Inoue, Geologic implication of the whole mantle P-wave

tomography, *Jour. Geol. Soc. Japan*, **100**, 1, 4-23, 1994.

20. Obayashi, M., Y. Fukao and H. Inoue, Seismic heterogeneity of the anticrustal layer at the core-mantle boundary, *J. geophys. Res.*, (submitted), 1994.

B. Earth Structure

21. Fukao, Y., Upper mantle P structure on the oceanic side of the Japan-Kurile Arc, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **50**, 621-642, 1977.
22. Ukawa, M. and Y. Fukao, Poisson's ratios of the upper and lower crust and the sub-Moho mantle beneath central Honshu, Japan, *Tectonophysics*, **77**, 233-256, 1981.
23. Fukao, Y., T. Nagahashi and S. Mori, Shear wave velocity in the mantle transition zone, *Advances in Earth and Planetary Sciences*, **12**, 285-300, 1982.
24. Fukao, Y. and M. Kobayashi, Phase and group velocities and Q of mantle Love and Rayleigh waves of the first two modes and their azimuthal dependence for the 1963 Kurile Islands earthquake, *Phys. Earth planet. Inter.*, **32**, 4-35, 1983.
25. Fukao, Y., Evidence from core-reflected shear waves for anisotropy in the Earth's mantle, *Nature*, **309**, 695-698, 1984.
26. Hori, S., Y. Fukao and M. Kumazawa, A new method of spectral analysis and its application to the Earth's free oscillation —The Sonpi method—, *J. geophys. Res.*, **94**, 7535-7553, 1989.
27. Fukao, Y. and N. Suda, Core modes of the Earth's free oscillations and structure of the inner core, *Geophys. Res. Lett.*, **16**, 401-404, 1989.
28. Shibata, N., N. Suda and Y. Fukao, The matrix element for a transversely isotropic Earth model, *Geo-*

- phys. J., **100**, 315–318, 1990.
29. Suda N. and Y. Fukao, Structure of the inner core inferred from observations of seismic core modes, *Geophys. J. Int.*, **103**, 403–413, 1990.
 30. Suda N. and Y. Fukao, Observation of quasi-core modes: Further evidence of high Q in the inner core, *J. Phys. Earth*, **38**, 391–397, 1990.
- C. Earthquake Mechanism
31. Fukao, Y., Seismic body waves from surface faults, *J. Phys. Earth*, **19**, 271–281, 1971.
 32. Fukao, Y., Thrust faulting at a lithospheric plate boundary: The Portugal earthquake of 1969, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **18**, 205–216, 1973.
 33. Fukao, Y. and M. Furumoto, Foreshocks and multiple shocks of large earthquakes, *Phys. Earth planet. Inter.*, **10**, 355–368, 1975.
 34. Fukao, Y. and M. Furumoto, Stress drops, wave spectra and recurrence intervals of great earthquakes — Implications of the Etorof earthquake of Nov. 6, 1958—, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **57**, 23–40, 1979.
 35. Fukao, Y. and M. Furumoto, Hierarchy in earthquake size distribution, *Phys. Earth planet. Inter.*, **37**, 149–168, 1985.
 36. Kikuchi, M. and Y. Fukao, Iterative deconvolution of complex body waves from great earthquakes —the Tokachi—Oki earthquake of 1968, *Phys. Earth planet. Inter.*, **37**, 235–248, 1985.
 37. Kikuchi, M. and Y. Fukao, Inversion of long-period P waves from great earthquakes along subduction zones, *Tectonophysics*, **144**, 231–247, 1987.
 38. Fukao, Y. and M. Kikuchi, Source retrieval from mantle earthquakes by iterative deconvolution of long-

- period P waves, *Tectonophysics*, **144**, 249-269, 1987.
39. Ishihara, Y., Y. Fukao, I. Yamada and H. Aoki, Rising slope of moment rate function: The 1989 earthquakes off east coast of Honshu, *Geophys. Res. Lett.*, **19**, 873-876, 1992.
40. Moequet, A. and Y. Fukao, On the recovery of seismic source parameters at low frequencies, *Phys. Earth planet. Inter.*, **83**, 41-56, 1994.

D. Other Topics

41. Fukao, Y., H. Mizutani and S. Uyeda, Optical absorption spectra at high temperatures and radiative thermal conductivity of olivines, *Phys. Earth planet. Inter.*, **1**, 57-62, 1968.
42. Fukao, Y., On the radiative heat transfer and the thermal conductivity in the upper mantle, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, Tokyo Univ., **47**, 549-569, 1969.
43. Fukao, Y., A. Yamamoto and K. Nozaki, A method of density determination for gravity correction, *J. Phys. Earth*, **29**, 163-166, 1981.
44. Fukao, Y., A. Yamamoto and M. Kono, Gravity anomaly across the Peruvian Andes, *J. geophys. Res.*, **94**, 3867-3890, 1989.
45. Kono, M., Y. Fukao and A. Yamamoto, Mountain building in the central Andes, *J. geophys. Res.*, **94**, 3891-3905, 1989.
46. Kumagai, H. and Y. Fukao, Resolving volcanic activity of 20Ma ago with relative accuracy of 1yr from tree rings of petrified woods, *Geophys. Res. Lett.*, **19**, 1859-1862, 1992.
47. Kobayashi, S., Y. Abe and Y. Fukao, Fluid motion induced by gravitational differentiation of immiscible two phases: Basic equations and linear analyses, *J. Geomag. Geoelectr.*, **45**, 1467-1480, 1993.

48. Takano, M., I. Yamada and Y. Fukao, Anomalous electrical resistivity of almost dry marble and granite under axial compression, *J. Phys. Earth*, 41, 6, 337–346, 1993.
49. Takano, M. and Y. Fukao, ESR dating of pleistocene fossil shells of the Atsumi group, central Honshu, Japan: on the discrepancy in TD value among different ESR peaks, *Appl. Radiat. Isot.*, 45, 49–56, 1994.