

第一〇七回日本学士院受賞者略歴

恩賜
日本学士院賞

受賞者

はせがわ
長谷川

あきら
昭



専攻学科学目 地震学

生年 昭和二〇年 三月
略歴 昭和四二年 三月
昭和四四年 三月
同 四四年 三月
同 四六年 四月
同 五二年 六月
同 五二年 七月
同 五三年 六月
平成元年 四月
同 五年 四月
同 一〇年 四月
同 二〇年 四月

東北大学理学部地球物理学科卒業

東北大学大学院理学研究科修士課程修了

東北大学理学部助手

理学博士

東北大学理学部助教授

米国カーネギー研究所客員研究員（昭和五四年一二月まで）

東北大学理学部教授

京都市防災研究所客員教授（平成七年三月まで）

東北大学大学院理学研究科教授

東北大学名誉教授

理学博士長谷川 昭氏の「沈み込み帯の
テクトニクスに関する地震学的研究」に
対する授賞審査要旨

地球表面を移動する海洋プレートがマントル中に沈み込む場所（沈み込み帯）では地震や火山の活動が極めて活発である。沈み込み帯では、主に、プレート境界地震、スラブ内地震、内陸地震の三つのタイプの地震が発生する（スラブとは海洋プレートのマントル中に沈み込んだ部分を指す）。長谷川昭氏は典型的な沈み込み帯である東北日本に高感度・高精度の地震観測網を構築し、高品質データに見合う緻密な解析手法を開発することにより、沈み込み帯の地殻・マントル構造と地震活動を世界のどこよりも高い解像度と精度でもって明らかにしてきた。ここで明らかになった現象が、その後の検証によって、世界の沈み込み帯に共通する現象であることが確認された例は数多い。また地震・火山現象と島弧地殻・マントル構造との関連を「沈み込みに伴って移動する水」をキーワードにして理解する途を開くなど、この分野の重要課題の解明に傑出した業績をあげた。

スラブ内地震の研究

長谷川氏の独自の研究スタイルの最初の成果が二重深発地震面の発見である。それまでは、スラブの中のどこでも地震が起こるように見えていたが、長谷川氏らは地震がスラブ内で上下二面に分かれることを初めて見出し、その後、上面の地震はスラブの地殻内で、下面の地震はスラブのマントル中央部で発生していることを明らかにした。この発見をきっかけに、世界中の沈み込み帯で二重地震面探しが始まり、現在では二重地震面の形成が普遍的な現象であり、上面・下面の間隔が沈み込むプレートの年齢に比例することまで分かっている。更に長谷川氏らは、スラブ内の含水鉱物の脱水分解が起こると実験的及び理論的に推定される深さで地震波速度が変化し、そこに地震の集中帯が形成されていることを見出した。これら一連の研究は、スラブ内地震の発生にはスラブから吐き出された水が重要な役割を担っていることを示す決定的な観測的証拠を提示するものとなった。

島弧火山の生成に関する研究

長谷川氏らは、沈み込むスラブに引きずられて上盤側（マントルウェッジ）に生じる上昇流を、火山フロントに向かうスラブにほぼ平行する地震波低速度層として初めて検出した。その後、こうした上昇流の存在は世界の沈み込み帯の多くで地震学的に確認され、そ

の普遍性が明らかになった。長谷川氏らは、上昇流が火山フロント直下のモホ面に達し、その中の溶融体が地殻を通って地表の火山に至る様子を明らかにするとともに、溶融体の量を推定し、それがスラブから吐き出された水の付加による加水融解であることを示した。これらを総合し、スラブから吐き出された水の一部がスラブ上盤側に上昇し、マントルウェッジ内の上昇流に取り込まれて部分溶融域を生じ、それが最終的に地表の火山にまで達するとする、島弧火山の生成モデルを提案した。

内陸地震の研究

また、スラブから吐き出された水は島弧地殻にまで達し、一方で地殻を軟化させて歪集中帯を形成するとともに、他方で地殻に過剰な間隙圧をもたらし摩擦強度を下げて内陸地震の原因となっているとする、内陸地震の発生モデルを提案した。内陸大地震の発生に伴って断層近傍の小地震のメカニズムが本震前と比べてわずかに変化することを見出し、地震発生直前の摩擦強度が従来信じられていたよりもはるかに小さいことを明らかにし、ここにも水が関与していることを指摘した。

プレート境界地震の研究

二〇一一年東北沖巨大地震に伴ってプレート境界沿いの小地震のメカニズムが本震前と比べて系統的に変化していることから、巨大

地震発生直後にプレート境界の摩擦強度がほぼゼロになるまで低下していることを示し、水の関与を指摘した。プレート境界面の小さなアスペリティの繰り返し滑りと理解される小繰り返し地震を多数発見し、その解析に基づいて、非地震性滑りがアスペリティへの応力集中を引き起こし、地震が繰り返し発生するとするプレート境界地震の発生モデルを提唱した。このモデルに基づいて、釜石沖のマグニチュード5の繰り返し地震の発生を予測した。これは物理モデルに基づいて行われた予測が初めて成功した例である。

以上、沈み込み帯の地震が発生するメカニズムを明らかにするとともに、いずれのタイプの地震もその発生に水が決定的に重要な役割を果たしていることを示し、沈み込み帯における地震の発生機構の理解を進展させた。さらに、沈み込んだスラブから吐き出された水が島弧地殻にまで至る上昇経路を示し、水が重要な役割を果たしているとする島弧火山の生成モデルを提案した。これらの研究は、地球内部の物質循環、とりわけ水の循環を理解する上でも重要な貢献をした。そのインパクトの大きさから、Thomson Reuters, Science Watch は長谷川氏を二〇一〇年に The 7th of Top 20 Authors in 10 years (Citation in seismology) に認定している。また同氏は、これらの業績によりアメリカ地球物理学連合及び日本地球惑星科学連合

のそれぞれフェローに選出されている。

牛島雄次リヌム

(一) ステンパの発展の研究

Hasegawa, A., N. Umino and A. Takagi, Double-planed structure of the deep seismic zone in the northeastern Japan arc, *Tectonophysics*, 47, 43–58, 1978.

Hasegawa, A., N. Umino and A. Takagi, Double-planed deep seismic zone and upper-mantle structure in the northeastern Japan arc, *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, 54, 281–296, 1978.

Hasegawa, A. and I. S. Sacks, Subduction of the Nazca plate beneath Peru as determined from seismic observations, *J. Geophys. Res.*, 86(B6), 4971–4980, 1981.

Matsuzawa, T., N. Umino, A. Hasegawa and A. Takagi, Upper mantle velocity structure estimated from *PS*-converted wave beneath the northeastern Japan arc, *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, 86, 767–787, 1986.

Matsuzawa, T., T. Kono, A. Hasegawa and A. Takagi, Subducting plate boundary beneath the northeastern Japan arc estimated from *SP* converted waves, *Tectonophysics*, 181, 123–133, 1990.

Zhao, D., A. Hasegawa and S. Horiuchi, Tomographic imaging of *P* and *S* wave velocity structure beneath northeastern Japan, *J. Geophys. Res.*, 97(B13), 19909–19928, 1992.

Zhao, D., A. Hasegawa and H. Kanamori, Deep structure of Japan subduction zone as derived from local, regional, and teleseismic events, *J. Geophys. Res.*, 99(B11), 22313–22329, 1994.

Kita, S., T. Okada, J. Nakajima, T. Matsuzawa and A. Hasegawa, Existence of a seismic belt in the upper plane of the double seismic zone extending in the along-arc direction at depths of 70–100 km beneath NE Japan, *Geophys. Res.*

Lett., 33, L24310, 2006.

Hasegawa, A., J. Nakajima, S. Kita, T. Okada, T. Matsuzawa and S. H. Kirby, Anomalous deepening of a belt of intraslab earthquakes in the Pacific slab crust under Kanto, central Japan: Possible anomalous thermal shielding, dehydration reactions, and seismicity caused by shallower cold slab material, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L09305, 2007.

Nakajima, J., Y. Tsuji and A. Hasegawa, Seismic evidence for thermally-controlled dehydration reaction in subducting oceanic crust, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L03303, 2009.

(二) 島根半島の構造と地質的研究

Hasegawa, A., A. Yamamoto, D. Zhao, S. Hori and S. Horiuchi, Deep structure of arc volcanoes as inferred from seismic observations, *Phil. Trans. Roy. Soc. London A*, 342, 167–178, 1993.

Nakajima, J., T. Matsuzawa, A. Hasegawa and D. Zhao, Three-dimensional structure of V_p , V_s , and V_p/V_s beneath northeastern Japan: Implications for arc magmatism and fluids, *J. Geophys. Res.*, 106(B10), 21843–21857, 2001.

Nakajima, J. and A. Hasegawa, Estimation of thermal structure in the mantle wedge of northeastern Japan from seismic attenuation data, *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1760, 2003.

Hasegawa, A. and J. Nakajima, Geophysical constraints on slab subduction and arc magmatism, in *The State of the Planet: Frontiers and Challenges in Geophysics* (Eds. R. S. J. Sparks and C. J. Hawkesworth), *Geophys. Monogr. Ser.*, 150, 81–93, American Geophysical Union, Washington, D. C., 2004.

Nakajima, J., Y. Takei and A. Hasegawa, Quantitative analysis of the inclined low-velocity zone in the mantle wedge of northeastern Japan: A systematic change of melt-filled pore shapes with depth and its implications for melt migration, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 234, 59–70, 2005.

Tsuiji, Y., I. Nakajima and A. Hasegawa, Tomographic evidence for hydrated oceanic crust of the Pacific slab beneath northeastern Japan: Implications for water transportation in subduction zones, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L14308, 2008.

Zhao, D., T. Yamada, A. Hasegawa, N. Umino and W. Wei, Imaging the subducting slabs and mantle upwelling under the Japan Islands, *Geophys. J. Int.*, 190, 816–828, 2012.

(3) 広域地震の研究

Hasegawa, A., D. Zhao, S. Hori, A. Yamamoto and S. Horiuchi, Deep structure of the northeastern Japan arc and its relationship to seismic and volcanic activity, *Nature*, 352, 683–689, 1991.

Hasegawa, A. and A. Yamamoto, Deep, low-frequency microearthquakes in or around seismic low-velocity zones beneath active volcanoes in northeastern Japan, *Tectonophysics*, 233, 233–252, 1994.

Hasegawa, A., A. Yamamoto, N. Umino, S. Miura, S. Horiuchi, D. Zhao and H. Sato, Seismic activity and deformation process of the overriding plate in the northeastern Japan subduction zone, *Tectonophysics*, 319, 225–239, 2000.

Hasegawa, A., J. Nakajima, N. Umino and S. Miura, Deep structure of the northeastern Japan arc and its implications for crustal deformation and shallow seismic activity, *Tectonophysics*, 403, 59–75, 2005.

(4) プレート境界地震の研究

Matsuzawa, T., T. Igarashi and A. Hasegawa, Characteristic small-earthquake sequence off Sanriku, northeastern Honshu, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 29, 1543, 2002.

Igarashi, T., T. Matsuzawa and A. Hasegawa, Repeating earthquakes and interplate aseismic slip in the northeastern Japan subduction zone, *J. Geophys. Res.*, 108(B5), 2249, 2003.

Okada, T., T. Matsuzawa and A. Hasegawa, Comparison of source areas of $M_{4.8} \pm 0.1$ repeating earthquakes off Kamaishi, NE Japan: are asperities persistent features?, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 213, 361–374, 2003.

Matsuzawa, T., N. Uchida, T. Igarashi, T. Okada and A. Hasegawa, Repeating earthquakes and quasi-static slip on the plate boundary east off northern Honshu, Japan, *Earth Planets Space*, 56, 803–811, 2004.

Uchida, N., T. Matsuzawa, W. L. Ellsworth, K. Imanishi, T. Okada and A. Hasegawa, Source parameters of a $M_{4.8}$ and its accompanying repeating earthquakes off Kamaishi, NE Japan: Implications for the hierarchical structure of asperities and earthquake cycle, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L20313, 2007.

Hasegawa, A., K. Yoshida and T. Okada, Nearly complete stress drop in the 2011 $M_{w} 9.0$ off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, *Earth Planets Space*, 63, 703–707, 2011.

Zhao, D., Z. Huang, N. Umino, A. Hasegawa and H. Kanamori, Structural heterogeneity in the megathrust zone and mechanism of the 2011 Tohoku-oki earthquake ($M_{w} 9.0$), *Geophys. Res. Lett.*, 38, L17308, 2011.

Hasegawa, A., K. Yoshida, Y. Asano, T. Okada, T. Jinuma and Y. Ito, Change in stress field after the 2011 great Tohoku-Oki earthquake, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 355–356, 231–243, 2012.