

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19340152

研究課題名（和文）

地質時代のブライトレイヤーから読み解く地殻内流体の挙動

研究課題名（英文）

Fluid-rock interaction deduced from geological time bright-layer in the middle crust

研究代表者

寺林 優 (TERABAYASHI MASARU)

香川大学・工学部・准教授・

研究者番号：40243745

研究成果の概要（和文）：

地震波トモグラフィーによって、内陸地震の震源直上にコンピテントな領域、その直下に地震波速度が低くポアソン比が高い異常領域の存在が指摘され、その原因として流体の貯留が推定されている。地殻深部での流体挙動解明の鍵となるブライトレイヤーの実体、三次元的な分布および形成機構を低圧型変成帯において特定の変成度域にのみ珪化岩が出現することに着目し、その分布とそれを切る石英脈の特徴、それらの形成条件から明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

The geological time bright-layer was recognized in the low-P/T metamorphic rocks. We found that silicified rocks distribute as layers or lenticular bodies, and they are restricted in the greenschist facies conditions within structurally vertical thickness. Quartz veins crossing high-angles with schistosity were preferentially developed. The mode of occurrences of quartz veins indicates that silicified rocks are competent relative to underlying rocks. Rock boundary with high competence contrast is probably a good reflector of seismic waves. Seismic bright-layer reflections in the middle crust would be arisen from observed silicified rock layers in this study, if those are distributed in the deep crust to a considerable extent.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	8,600,000	2,580,000	11,180,000
2008年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	12,500,000	3,750,000	16,250,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：流体，地殻，内陸地震，変成岩，ブライトレイヤー

1. 研究開始当初の背景

自然地震観測と大規模反射法地震探査によ

って、世界各地の地殻の中深度付近からブライトレイヤーと呼ばれる音響インピーダンス

が逆転する強い反射面が相次いで発見され、そこでの流体の貯留が推測されている。Zhao et al. (1996) の地震波トモグラフィーでは、1995年兵庫県南部地震の本震の震源直上には余震が集中的に発生しているコンピテントな領域が存在し、その直下には地震波速度が低くポアソン比が高い異常領域が存在し、その高ポアソン比異常の原因として流体の貯留が推定されている。Hasegawa et al. (2000) は、東北日本弧におけるスラブ脱水によるマグマの生成、火山活動、深部低周波地震、地殻内反射面、活断層と内陸大地震の発生様式の統合モデルを提案している。

Sibson (1992) は、断層深部の過剰間隙水圧による水圧破壊が地震を引き起こし、過剰間隙水圧が解放されると断層深部が密封され、再び間隙水圧が上昇することによって間欠的に地震が発生するモデルを提案した。地下深部流体が引き起こした地震としては、1965年から2年半ほど激しく活動した松代群発地震がある。この地震の特徴は地盤のドーム状隆起と炭酸ガスを含む大量の温泉水の湧出を伴ったことである。湧出した温泉水は、マグマ固結時に放出された島弧マグマ水で、上昇中にCO₂等が放出され、ある深度でSiO₂等が析出して流路がシールされて不透水層が形成された。その後上昇してきた流体が不透水層の下に滞留してS波反射面を形成し、何らかの原因で不透水層が破れて大量の水が上部地殻に浸入すると地下のクラックを広げて、ドーム状隆起と群発地震発生が起きたと考えられている(塚原・吉田, 2005)。また、日本列島には非火山性の温泉が多数存在するが、近畿地方には多量の遊離CO₂を含み、海水の2倍以上もの高塩濃度の有馬型と呼ばれる深部熱水が広範囲に上昇している。その同位体組成からは、沈み込んだスラブの脱水による熱水起源であると推定されている(Morikawa et al., 2004)。

このように地殻深部における流体の挙動が内陸地震の発生やテクトニクスに大きな影響を与えていると考えられ始めていが、その鍵となるブライトレイヤーの実体、三次元的な分布や形成機構は未だに明らかになっていない。石英が主要造岩鉱物の中で著しくポアソン比が低いことから、流体貯留層の上を覆っている高速度・低ポアソン比異常体の実体は石英濃集層である可能性が高い。実験と理論計算によるブライトレイヤーの研究は、大槻ほか(1998)などによって行われているが、本研究は、変成帯からブライトレイヤーの“化石”を探索することに主眼をおいている。

2. 研究の目的

ブライトレイヤーでの温度条件は地殻熱流量他の観測から350℃程度と見積もられている。その深度は最大でも20km程度であり、そ

の温度圧力での水に富む流体は亜臨界もしくは超臨界状態にある。地殻深部からの流体の上昇過程で、温度低下にともなって溶解度が低下し、溶融していた鉱物成分が析出して不透水層が形成されると考えられている。本研究では、様々な造構場で形成された変成帯において地質時代のブライトレイヤーとその面を破壊する震源断層の化石を探索することを目的とした研究を行う。詳細な地質調査と系統的な試料採取を行い、各種の室内実験によって、地質時代のブライトレイヤーの実体、三次元分布、物理条件、流体組成を明らかにし、さらにブライトレイヤーの形成機構、地殻内での流体の挙動を解明する。

3. 研究の方法

ブライトレイヤーでの温度は、地殻熱流量他の観測から350℃程度と見積もられている。この温度に対応する変成度は緑色片岩相から角閃岩相低温部であり、変成圧力は3~4キロバル程度である。したがって、低压型変成相系列に沿った一連の変成岩が観察される広域変成帯、国内では領家帯もしくは日高帯が研究対象としては最適である。現在までに両変成帯の調査と並行して、地質時代のブライトレイヤー研究のための世界のベストフィールドを選定し調査をした。ブライトレイヤーが観測される地域を造構場で分類すると、(a)島弧火山直下、(b)島弧海溝間隙、(c)大陸リフトあるいは縁海、(d)中央海嶺の4つになる。文献学と海外の研究者との情報交換によって、それぞれの造構場における世界のベストの造山帯を選んだ。

地質調査は、研究代表者と研究分担者の山本と岡本が中心になって行った。(1)石英脈の三次元分布、サイズ、形態を変成度との関係において捉え、(2)系統的な試料の採取を行う。それらの試料を用いて、(3)変成温度圧力を推定し、(4)石英脈や珪化岩中の鉱物中の流体包有物の均質化温度を顕微鏡用加熱冷却装置で測定し、(5)流体包有物中の化学種の同定を顕微ラマン分光装置で行い、(6)復元された流体組成の超臨界温度を熱力学的計算から求め、それらを総合化してブライトレイヤーの形成機構を解明する。

4. 研究成果

西南日本の岩国-柳井地域においては、白亜紀の低P/T型領家変成帯中にコンピテントな珪化岩が分布する領域があることを確認し、それが中部地殻での地震波反射面であるブライトレイヤーに相当するものであることを提案した。珪化岩は緑色片岩相の泥質変成岩の中に厚さ数メートルから15メートルほどの層状あるいはレンズ状岩体として露出する。珪化岩分布領域の構造上の厚さは約1キロメートルである。珪化岩層またはレン

ズのみかけの下側とその下位にある黒雲母片岩との境界は明瞭であるが、上位側の泥質片岩との境界は漸移的である。珪化岩を構成する鉱物は細粒の石英、少量の白雲母と黒雲母であり、有色鉱物の一部は変質して脱色している。このことは、珪化作用が泥質片岩の色を淡灰色や乳白色に変えたことを意味する。珪化岩中には片理面と高角度で交わる石英脈が発達するが、下位の黒雲母片岩中には流動変形を被った片理に平行な石英脈が認められる。このような石英脈の出現様式は、珪化岩が下位の黒雲母片岩に対してコンピテントであることを示している。このようなコンピテンスの大きな差は、地震波の明瞭な反射面となると考えられる。中部地殻に珪化岩層がある程度の頻度で存在していると、地震波を強く反射するブライトレイヤーとなる可能性がある。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 25 件)

1. Yamamoto, H., Nakamori, N., Terabayashi, M., Rehman, H.U., Ishikawa, M., Kaneko, Y. and Matsui, T., Subhorizontal tectonic framework of the Horoman peridotite complex and enveloping crustal rocks, south-central Hokkaido, Japan. *Island Arc*, 19 (3), 2010. (印刷中)
2. Aoki, K., Kitajima, K., Masago, H., Nishizawa, M., Terabayashi, M., Omori, S., Yokoyama, T., Takahata, N., Sano, Y. and Maruyama, S., Reply to "Comment on 'Metamorphic P-T-time history of the Sanbagawa belt in central Shikoku, Japan and implications for retrograde metamorphism during exhumation' by S. R. Wallis and S. Endo" *Lithos*, 116 (1-2), 197-199, 2010.
3. Terabayashi, M., Okamoto, K., Yamamoto, H. and Chan, Y.-C., Fluid-rock interaction in the bottom of the inland seismogenic zone. *Island Arc*, 19 (1), 1-3, 2010.
4. Terabayashi, M., Yamamoto, H., Hiwatashi, E. and Kitajima, K., Silicification of pelitic schist in the Ryoike low-pressure/temperature metamorphic belt, Southwest Japan: Origin of competent layers in the middle crust. *Island Arc*, 19 (1), 17-29, 2010.
5. Matsumoto, Y., Ishikawa, M., Terabayashi, M. and Arima, M., Simultaneous measurements of compressional wave and shear wave velocities, Poisson's ratio, V_p/V_s under deep crustal pressure and temperature conditions: Examples of silicified polycrystalline quartz sample from Ryoike belt. *Island Arc*, 19 (1), 30-39, 2010.
6. 岡本和明・青木一勝・丸山茂徳, 四国中央部三波川変成帯のテクトニクス. *地質学雑誌*. 第115巻, 補遺, vii (37-49), 2009.
7. Usuki, T., Lan, C.Y., Yui, T.F., Iizuka, Y., Vu, V.T., Tran, T.A., Okamoto, K., Wooden, J.L., Liou, J.G., Early Paleozoic medium-pressure metamorphism in central Vietnam: evidence from SHRIMP U-Pb zircon ages. *Geosciences Journal*, 13, 245-256, 2009.
8. Lan, C.Y., Usuki, T., Wang, K.L., Yui, T.F., Okamoto, K., Lee, Y.H., Hirata, T., Kon, Y., Orihashi, Y., Liou, J.G. and Lee C.S., Detrital zircon evidence for the antiquity of Taiwan. *Geosciences Journal*, 13, 233-243, 2009.
9. Yui, T.F., Okamoto, K., Usuki, T., Lan, C.Y., Chu, H.T. and Liou, J.G., Late Triassic-Late Cretaceous accretion/subduction in the Taiwan region along the eastern margin of South China: evidence from zircon SHRIMP dating. *International Geology Review*, 51, 304-328, 2009.
10. 巽 隆有・吉田秀典・藤原真澄・森本亮司, 不連続性岩盤のクリープ挙動に関する数値解析的研究. *応用力学論文集*, 12, 255-264, 2009.
11. 巽 隆有・吉田秀典・藤原真澄, 不連続性岩盤中の地下空洞における周辺岩盤のクリープ解析. *計算数理工学論文集*, 9, 13-18, 2009.
12. Tatsumi, T. and Yoshida, H., Numerical Study on Shear Behavior of Discontinuity of Rock Mass, *Theoretical and Applied Mechanics Japan*, 57, 67-72, 2009.
13. Aoki, K., Kitajima, K., Masago, H., Nishizawa, M., Terabayashi, M., Omori, S., Yokoyama, T., Takahata, N., Sano, Y. and Maruyama, S., Metamorphic P-T-time history of the Sanbagawa belt in central Shikoku, Japan and implications for retrograde metamorphism during exhumation.

Lithos, 113 (3-4), 393-407, 2009.

14. Aoki, K., Itaya, T., Shibuya, T., Masago, H., Kon, Y., Terabayashi, M., Kaneko, Y., Kawai, T. and Maruyama, S., The youngest blueschist belt in SW Japan: Implication for the exhumation of the Cretaceous Sanbagawa high-P/T metamorphic belt. *Journal of Metamorphic Geology*, 26 (5), 583-602, 2008.

15. Kawai, T., Windley, B. F., Terabayashi, M., Yamamoto, H., Isozaki, Y. and Maruyama, S., Neoproterozoic glaciation in the mid-oceanic realm: An example from hemi-pelagic mudstones on Llanddwyn Island, Anglesey, UK. *Gondwana Research*, 14 (1-2), 105-114, 2008.

16. 吉田秀典・山崎卓哉・井上純哉, 岩盤の透水-応力連成挙動の把握を目的とした試験装置の開発と連成挙動の解明に関する研究. *土木学会論文集C*, 64 (4), 843-855, 2008.

17. 巽 隆有・吉田秀典, 不連続面を有する材料の変形挙動に関する実験的および数値解析的研究. *応用力学論文集*, 11, 339-350, 2008.

18. Yamamoto, H., Yamamoto, S., Kaneko, Y., Terabayashi, M., Komiya, T., Katayama, I. and Iizuka, T., Imbricate structure of Luobusa ophiolite and surrounding rocks, southern Tibet. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29 (2-3), 296-304, 2007.

19. Kawai, T., Windley, B. F., Terabayashi, M., Yamamoto, H., Maruyama, S., Omori, S., Shibuya, T., Sawaki, Y. and Isozaki Y., Geotectonic framework of the blueschist unit on Anglesey-Llyn, UK, and its role in the development of a Neoproterozoic accretionary orogen. *Precambrian Research*, 153 (1-2), 11-28, 2007.

20. Kawai, T., Windley, B. F., Terabayashi, M., Yamamoto, H., Maruyama, S. and Isozaki Y., Metamorphic zones in the Anglesey blueschist belt and implications for the development of a Neoproterozoic subduction-accretion complex: reply. *Journal of Metamorphic Geology*, 25 (5), 509-510, 2007.

21. 吉田秀典・乗金悠里・森本亮司・井上純哉, 亀裂性岩盤における透水-変形連成挙動に関する研究. *応用力学論文集*, 10,

311-322, 2007.

22. 吉田秀典・井上純哉・森本亮司, 不連続面の変形を考慮に入れた不連続性材料のクリープモデル. *計算数理工学論文集*, 7 (1), 19-24, 2007.

23. Aoki, K., Iizuka, T., Hirata, T., Maruyama, S. and Terabayashi, M., Tectonic boundary between the Sanbagawa belt and the Shimanto belt in central Shikoku, Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*, 113 (5), 171-183, 2007.

24. Shibuya, T., Kitajima, K., Komiya, T., Terabayashi, M. and Maruyama, S., Middle Archaean ocean ridge hydrothermal metamorphism and alteration recorded in the Cleaverville area, Pilbara Craton, Western Australia. *Journal of Metamorphic Geology*, 25 (5), 751-767, 2007.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺林 優 (TERABAYASHI MASARU)
香川大学・工学部・准教授
研究者番号: 40243745

(2) 研究分担者

山本 啓司 (YAMAMOTO HIROSHI)
鹿児島大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号: 60244224

岡本 和明 (OKAMOTO KAZUAKI)
埼玉大学・教育学部・准教授
研究者番号: 60456001

ハフィーズ ウル レーマン (HAFIZ UR REHMAN)
鹿児島大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 60505410

吉田 秀典 (YOSHIDA HIDENORI)
香川大学・工学部・教授
研究者番号: 80265470

