論 文

日高衝突帯—前縁褶曲・衝上断層帯の地殻構造*

伊 藤 谷 生**

(Received October 18, 1999; accepted January 25, 2000)

**Crustal structure of the Hidaka collision zone and its foreland
fold-and-thrust belt, Hokkaido, Japan**

Tanio Ito

Abstract: The collision of the Kuril arc against the Northeast Japan arc has made a conspicuous crustal structure from the Hidaka mountain range to the Ishikari-Tomakomai lowland, Hokkaido, Japan, since Miocene. Recent advance of deep seismic reflection studies has revealed that the Kuril arc lithosphere is delaminated at about 23km deep in the lower crust in the Hidaka collision zone. The upper half of the lithosphere (upper crust+upper portion of the lower crust) is thrust westward on the Northeast Japan arc, whereas the lower half (lower portion of the lower crust+upper mantle) descends down. The wedge of the Northeast Japan arc lithosphere intrudes eastward into the delaminated Kuril arc lithosphere. The structure is called as a "delamination-wedge structure". In the western foreland area of the Hidaka mountain range, the west-verging fold-and-thrust belt occurs more than 70km wide involving the pre-Tertiary strata. The activity of the belt has shifted westward since the initiation of the collision. The shortening length in the foreland fold-and-thrust belt is about 60km, which is nearly equal to the delamination-wedge length toward the colliding direction. The two lines of evidence mentioned above, the westward shift of the activity and the coincidence of both lengths, indicate that the fold-and-thrust belt has been growing associated directly with the formation of the delamination-wedge structure.

Key words: deep seismic reflection, Hidaka collision zone, delamination-wedge structure, fold-and-thrust belt, Hokkaido

1. はじめに

第2次世界大戦前, 石狩一帯炭田を調査した故大立目謙一郎(北大地質鉱物学科第1期(1933年)卒)が, 北海道炭鉱汽船株式会社勤務時代, 石狩一帯炭田から

日高山脈まで幅1kmで地質調査をしたと、会社に申し出たことがあったという。それは炭田地域で明らかになった西フェルゲンツの押し被せ構造の形成が日高山脈の構造と深く関連していると考えたからであろう。彼は秋田鉱山専門学校教授在職中に応召され、1944年中国大陸で戦死した。その業績は生前から多数発表されているが、死後も鈴木 醇北大教授の序文がつけられ遺稿として世に出されている(大立目, 1951)。かくて、彼がその夢を追求することは残念ながら実現されなかったのである。

戦後、炭田を含めて詳細な地質調査が続けられ、また、海陸両域での石油開発を目指した反射法地震探査や試掘削さらには採鉱が実施されてきた。これらによっ

*平成11年5月26日, 平成11年度石油技術協会春季講演会地質・探鉱部門シンポジウム「油田構造の形成とテクトニクス」にてコメントとして講演 This paper was presented at the 1999 JAPT Geology and Exploration Symposium entitled "Oil field structure and tectonics" held in Makuhari, Chiba, Japan, May 26, 1999.

**千葉大学理学部地球科学科 Department of Earth Sciences, Chiba University

て、日高地域から石狩一苦小牧低地帯に至るまで褶曲・衝上断層帯が発達しているという認識が広まっていった。一方、日高地域においては、とりわけ1970年代以降、岩石学的、構造地質学的研究が精力的に進められた結果、それまで支配的であった地向斜造山運動論に基づく日高造山運動論が退けられ、前期中新世末期に始まる千島弧衝突という新たな運動論（例えば、Kimura, 1986）が登場した。しかしながら、大立目の夢であった日高から炭田地域まで全体の構造を議論するのはまだ地殻深部のデータが不足していた。そこに1994年北大の在田一則らによってブレイクスルーがもたらされた（Arita *et al.*, 1998）。日高地殻深部構造をターゲットと

した反射法地震探査の開始である。そして、今、ようやく、日高衝突帯とその前縁の褶曲・衝上断層帯までを1つの断面として描くことへの挑戦が可能となってきたのである。この挑戦による成果は、道央の石油ガス田構造形成に関する議論にも寄与することとなろう。本小論は、挑戦作業の到達点を概略報告し、大方のご批判を賜ろうとするものである。

2. 日高衝突帯・前縁褶曲・衝上断層帯の基本構造

現在までに得られたデータや知見を基に、日高衝突帯・前縁褶曲・衝上断層帯の地質概略を図1に、その断面

図1 日高衝突帯ならびに前縁褶曲・衝上断層帯の地質概略と主な反射法地震探査測線図。X—X'は図2の断面位置を示す。伊藤ら（1999）を改変。

【地質】主として、地質調査所（1982, 1996）による。Nk：中の川層群，Hm：日高変成岩類（主帯），Po：ポロシリ・オフィオライト（西帯），Id：イドンナップ帯，Yz：蝦夷層群，Sr：空知層群，Km：神威古潭変成岩類，Sn：沙流川層—ニセウ層，Pg：古第三系，N1～N3：地質調査所（1982）に同じ。Qv：第四紀火山岩類。HMT：日高主衝上断層，WBT：西縁衝上断層，WHT：日高西部断層群

【測線】94・96・97：日高深部構造反射法探査，85NG・86TK：浅野ら（1990），Y97：佐藤ら（1998），その他の測線は石油公団（1973, 1987, 1993, 1996）。

図2 日高衝突帯ならびに前縁褶曲・衝上断層帯の地下構造断面図。

断面線の位置は図1のX-X'。断面図下に主要な出典を示した。略称は図1に同じ。Ito *et al.* (1998) および伊藤ら (1999) を改変。

を図2に示す。以下、これら2図を基に基本構造を説明する。

2.1 デラミネーション-ウェッジ構造

東北日本弧と千島弧という2つの島弧の衝突-接合形態をリソスフェア規模で解明する端緒を開いたのは、1994年の在田らによる日高衝突帯深部構造探査である(井川ら, 1997; Arita *et al.*, 1998)。この成果は、1996～1997年の探査に引き継がれ、概略以下のような構造が明らかになりつつある(図2右端)。すなわち、千島弧はその下部地殻内(往復走時で7.5秒=およそ深度23 km)で上下に裂けて分離(デラミネーション)するとともに、上部地殻を含めて上半分は日高主衝上断層(Hidaka Main Thrust=HMT)によって西側に衝上し、上部マントルを含めて下半分は下降する。一方、東北日本弧側はデラミネーションした千島弧のなかに楔(ウェッジ)状に突入する。こうした構造は97年探査の直後の予備的处理で浮かび上がり急ぎ報告したが(伊藤ら, 1998; Ito *et al.*, 1998), その後、94年探査結果(Arita *et al.*, 1998)との結合(Tsumura *et al.* 1999), 全探査結果一体処理の試み(阿部ら, 1999)によっていっそう鮮明となった。図3に、その試みの途中経過(井川ら, 1999)を紹介しておく。同図には、下部地殻に特徴的な seismic lamination が深度23 km で大きく上下に裂けているようすがよく示されている。下部地殻の上半分(同図で、Upper portion of lower crust と表

記されている)の底面がHMT相当となるが、その底面と地表のHMTをつなぐと東傾斜70°弱となり、露頭における観察結果とほぼ一致する。ウェッジ側上部はR1, R2, R3によって区切られるが、地表地質から推定すると、R1より浅部はイドンナップメランジェ、R2とR3の間のリフレクティブな部分の少なくとも上部は蝦夷層群と考えられる。R3より下位では反射イベントは激減することから、R3が明瞭な物質境界である可能性が指摘されよう。

ところで、HMTによって衝上される日高変成岩の形成深度はおよそ23 km であり(Osanai *et al.*, 1986), それより下位の下部地殻と上部マントルは、反射法地震探査実施までは事実上「行方不明」であった。このデラミネーション-ウェッジ構造はその「行方」にも合理的解答を与えている。

2.2 前縁褶曲・衝上断層帯

石油公団(1973, 1987, 1993, 1996)による基礎物理調査、石狩-夕張炭田地域の詳細な地質調査(地質調査所, 1973)とほぼ全域を覆う地質調査所、北海道立地下資源調査所、北海道開発庁の図幅調査などの結果を総合すると、そこでの基本構造が、先第三系の蝦夷層群、空知層群、イドンナップメランジェ、神威古潭変成岩を巻き込んだ西フェルゲンツの褶曲・衝上断層帯であると理解するのが自然である。1970年代後半以降の反射法地震探査と結合して発展した褶曲・衝上断層帯に関する基本

図3 日高深部構造反射法探査結果一括処理結果。

井川ら (1999) による。一括処理のための仮想測線はほぼ国道236号線に沿って浦河町西倉から大樹町石坂まで設定されている。Idon'nappu: イドンナップ・メランジュ, Yezo: 蝦夷層群, R1~R3: 本文参照。

的な理論 (例えば, Mitra and Fisher (1992) の教科書参照) に基づいて, 従来のデータを1つの断面にまとめたものが図2である (Ito *et al.* (1998), 伊藤ら (1999) を改変)。主要な衝上断層群を陸域において東より列举すると, 日高主衝上断層 (HMT), 西縁衝上断層 (WBT), 日高西部断層群 (WHT), 夕張岳断層群, 大夕張断層群, 馬追断層の6つとなる (HMT, WBTと馬追断層以外, いずれも地域ごとに個別の断層名がついているが, ここでは簡便のために一括して暫定的に断層群の名称を与えている)。これらの断層群のうち WHT と大夕張断層群は前方で低角化するため, それぞれの西方にクリッペを作っている。さらに馬追断層の西方には地表に現れないが, 伏在衝上断層 (blind thrust) が活断層として存在し, 地表に撓曲を与えている (佐藤ら, 1998; 佐藤, 1998)。

2.3 デラミネーション量と前縁帯の短縮量

図2から千島弧下部地殻におけるデラミネーションの総量を計測すると, 断面方向でおおよそ50 km となる。Arita *et al.* (1993) は, 下部地殻を構成していた日高変成岩類の K-Ar 年代測定結果から19~16 Ma にはすでに千島弧の衝突によって日高変成岩類の面構造は高角化しており, 現在地表面に到達している岩石の上には10 km 程度の地殻がさらに存在していたと述べている。その量を考慮すれば, デラミネーションの総量はおよそ60 km に達する。一方, 図2から計測した前縁褶曲・衝上断層帯における短縮量はおよそ同程度となる。デラミネーションの量は東北日本弧側のウェッジ形成量であるから, 60 km のウェッジ形成量が褶曲・衝上断層帯における短縮量と一致するということは, デラミネーション・ウェッジ構造と前縁褶曲・衝上断層帯とは同時に成長し

ていることを強く示唆している。

2.4 衝上断層活動時期の西進

主要な衝上断層群の活動時期を議論するためには断層周辺に新第三紀ならびにそれ以降の地層が存在することが有効であるが、そのような条件に恵まれているところは少ない。また、例えば、浦河北東域に発達する上杵臼層のように軟体動物化石から川端期と推定されてきた地層 (Suzuki *et al.*, 1983) が、浮遊性微化石である珪藻によって、少なくとも基底部は滝ノ上期の *Crucidenticula Kanayae* Zone (16.9~16.7Ma) であることが判明する (芳賀ら, 1999) など、新第三紀層下部には時代論に関する未解明問題が残っていると考えられる。そこで、基本的には堆積が連続している海域での反射法地震探査記録によって議論するほうが、データの均質性からも妥当であろう。幸い、図1のように、日高沖には石油公団の基礎物理探査の測線が多数走っており、そこには、(2)で示した主要衝上断層群の延長が確認できる。HMT・WBT・WHTは衝上断層群Iに、夕張岳断層群はIIに、大夕張断層群はIIIに、馬追断層はIVに、それぞれ対応する。ただし、Vについては陸域の対応断層群は今のところ不明である。西端の陸域伏在断層群は海域の伏在衝上断層に接続する。ここで、とりあえず、石油公団 (1987) の層序 (図4) を用いて、その活動時期を特定すると表1 (伊藤ら, 1999) のようになり、衝上断層群の活動時期が前期中新世末期のEから前期更新世のAに向って明らかに西方に移動していることが読み取れる。

3. 今後の課題

3.1 マスターデタッチメントの位置と形状

Jolivet (1986), Jolivet and Huchon (1989) も地殻最上部だけ見ると図2と同じような断面図を想定しているが、変位の定量的解析、断層運動時期移動極性への検討に至っていないため、実際の構造を説明できない右横ずれフラワーモデルを提出している。さて上記2.4節に示された衝上断層運動時期の西方への移動は、褶曲・衝上断層帯で普遍的に認められるように、衝上断層群全体の変位を規定するマスターデタッチメントが地下に存在することを要請している。そのマスターデタッチメント上の変位とデラミネーション量は、上記2.3節に示されたように対応関係になければならない。では、そうしたデタッチメントがどの位置にどのような形状で存在するのか、現段階では情報が不足している。図3のR3を図2上に落としてそのまま上方に延長すると夕張岳断層付近に到達すること、またR3が重要な物質境界という可能性があることを考慮し、図2上にデタッチメントを網

時代		陸域		海域
		地質図	反射断面図	
(Ma)	Pleistocene		門別(Mn) 鶴川(Mk) 萌別(Mb)	A
1.86	Pliocene	N ₃	荷葉(Nn)	B
5.25		N ₂	平取(Bt) 軽舞(Kr)	C
10.0	Miocene		振老(Fr)	D
15.0		N ₁	滝の上(Tk) 慶能舞(Kn)	E
23.0	Paleogene	Pg	Pg	F (音響基盤)
65.0	Cretaceous	Yz	蝦夷(Yz)	

図4 層序表 (主として、石油公団 (1987) による)。

陸域地質図の部分は地質調査所 (1982) に基づき、図1と対応する。

線で描き入れておいたが、この位置や形状があくまで推定の域を出るものでないことはいうまでもない。いずれにしても、この課題を解決することなしには、日高衝突帯・前縁褶曲・衝上断層帯の基本構造解明作業に区切りをつけることはできない。日高衝突帯で行ったような深部をターゲットする反射法地震探査の実施がここでも求められている。

3.2 未解明地質体の原位置

実は、層序の位置や堆積場について未解明のニセウ層や沙流川層という地質体が、図1で夕張岳断層の東に存在する (Snと表記)。従来、前者はイドンナップ層に相当すると見られてきたが、近年、その時代が始新世であること (熊谷ら, 1995)、砂岩層が卓越していることなどから、別の地質体であることが判明した。また、後者は空知層群に属すると考えられてきたが、不確定要素を含みながらも白亜紀後期のコニアシアン〜サントニアンあるいはそれより若い緑色岩卓越層である可能性が強まっている (加藤ら, 1998)。砂岩層のモードは両者と

表1 衝上断層群の活動時期。A～Eの時期は図4を参照。～は「以降」を意味する。伊藤ら(1999)を改変。

	衝上断層		活動期間	文献, 該当する測線
	陸域	海域		
West ↓	HMT WBT WHT	I	E～?	芳賀ら(1999)
	夕張岳	II	E?～C	H72-12 (JNOC) H72-11 (JNOC) H72-10 (JNOC)
	大夕張	III	C	H72-10 (JNOC)
	馬追	IV	B～	D86-8+H72-7(JNOC)
	?	V	B～	H91-2 (JNOC) H91-3 (JNOC) D86-8+H72-7(JNOC)
	伏在 衝上断層	伏在 衝上断層	A～	SI95-B (JNOC) H91-3 (JNOC) Y97 (佐藤ら, 1998) 86TK (浅野ら, 1990)

も類似しており、沙流川層からニセウ層までは一連のサクセッションであることも考えられる(香東ら, 1999)。では、いったいこれらの地質体の原位置はどこか。このことは、衝上断層による原位置からの移動量評価にも直接関係するので解明が急がれる。

3.3 伏在衝上断層下の正断層群

石狩一苦小牧低地帯における伏在衝上断層の下盤の中には正断層群が存在する。本号掲載の栗田・横井(2000)によれば、この正断層群の主要な活動時期は後期漸新世～前期中新世であるが、滝ノ上層堆積時まで続いている。滝ノ上層堆積時にはすでに東方では千島弧の衝突が始まっており、この正断層の意味を解明することは、衝突前から衝突初期のテクトニクスを考えるうえで重要であろう。

4. 終わりに

島弧と島弧の衝突帯である日高衝突帯は、伊藤ら(1999)でも予察したように大陸地殻形成の面からも重要なアイデアを提供するなど、世界の地質学に貢献するフィールドであるが、未解明な部分がおおきく横たわっている。大立目謙一郎の夢を引き継ぐ作業は始まったばかりである。

謝辞

日ごろから日高衝突帯について議論をしていただい

ている北海道大学大学院理学研究科在田一則助教授、反射法深部探査について指揮してこられた株式会社地球科学総合研究所常務取締役研究部長井川 猛氏に心から感謝する。石油公団には、同公団が実施した基礎物理調査の諸結果の閲覧と引用について、ご許可いただいた。同公団に対して深い謝意を表する。石油資源開発株式会社高橋明久氏には査読過程で貴重なコメントを頂き、本小論を改善するうえで大変参考になった。同社栗田裕司氏には伏在衝上断層下の正断層の意義について議論していただいた。両氏に厚く御礼申し上げたい。また、本小論作成はジャパンエナジー石油開発株式会社小鷹 長氏の叱咤激励によって初めて可能となったものである。あわせて同氏に感謝の意を表したい。

引用文献

- 阿部 進・井川 猛, 1999: 大標高差・屈曲測線における深部反射法データ処理法の改善. 日本地震学会講演予稿集, p.119.
- Asano, H., Kanagawa, K. and Ito, T., 1999: Geological structures of the Idon'napu belt. In *Field Excursion Guidebook "Hidaka Collision Zone", 2nd Joint Meeting of Korean and Japanese Structure and Tectonic Research Groups*, 45-58.
- 浅野周三・島 悦三・松田時彦・吉井敏尅・齊藤正徳・岡田 広・小林啓美・瀬尾和夫・入倉孝次郎・羽鳥武文・朝倉夏雄・田村八洲夫・井川 猛・高橋明久・森谷武男・笹谷 努・松島 健・梅戸在明・岩田知孝, 1990: 地震動予測精密化のための地下深部構造の研究. 文部省科学研究費自然災害特別研究成果 (No. A-63-3), 163p.
- Arita, K., Shingu, H. and Itaya, T., 1993: K-Ar geochronological constraints on tectonics and exhumation of the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido, northern Japan. *J. Min. Pet. Econ. Geol.*, **88** (3), 101-113.
- Arita, K., Ikawa, T., Ito, T., Yamamoto, A., Saito, M., Nishida, Y., Satoh, H., Kimura, G., Watanabe, T., Ikawa, T. and Kuroda, T., 1998: Crustal structure and tectonics of the Hidaka Collision Zone, Hokkaido (Japan), revealed by vibroseis seismic reflection and gravity surveys. *Tectonophysics*, **290**, 197-210.
- 地質調査所, 1973: 日本炭田図Ⅺ.
- 地質調査所, 1982: 100万分の1日本地質図.
- 地質調査所, 1996: 20万分の1地質図幅「夕張岳」.
- 芳賀正和・黒田智子・浅野裕史・金川久一・伊藤谷生, 1999: 北海道中央部, 中新統上杵臼層の珪藻化石年代(前期中新世末期)とその意義. *地質雑*, **105** (8), 589-592.
- 井川 崇・在田一則・伊藤谷生・木村 学・渡辺輝夫・井川 猛・黒田 徹・前田卓哉, 1997: 日高衝突帯の

- パイプロサイス反射断面. 構造地質, **42**, 3-13.
- 井川 猛・清水信之・阿部 進・井川秀雅・津村紀子・伊藤谷生・在田一則・井川 崇, 1999: 日高衝突帯における深部反射法調査データの再処理結果について. 日本地震学会講演予稿集, p091.
- 伊藤谷生・在田一則・井川 崇, 1998: 日高山脈に島弧の衝突をみる. 科学, **68** (1), 72-78.
- Ito, T., Tsumura, N., Arita, K., Ikawa, H., Ikawa, T., Shimizu, N. and Ikawa, T., 1998: Delamination-wedge structure beneath the Hidaka arc-arc collision zone, central Hokkaido, Japan. *Abstracts of 8th International Symposium on Deep Seismic Profiling of the Continents and their Margins*, 34.
- 伊藤谷生・森谷武男・井川秀雅・井川 崇・在田一則・津村紀子・篠原雅尚・宮内崇裕・木村 学・奥池司郎・清水信之・井川 猛, 1999: 日高衝突帯におけるデラミネーションウェッジ構造. 地球, **21** (3), 130-136.
- Jolivet, L., 1986: A tectonic model for the evolution of the Hokkaido Central Belt: Late Jurassic collision of Okhotsk with Eurasia. *Monograph Assoc. Geol. Collab. Japan*, **31**, 355-377.
- Jolivet, L. and Huchon, P., 1989: Crustal-scale strike-slip deformation in Hokkaido, northern Japan. *J. Struct. Geol.*, **11** (5), 509-522.
- 香束卓郎・伊藤谷生, 1999: 北海道古第三系ニセウ層西縁境界断層. 日本地質学会第106回学術大会講演要旨, 156.
- 加藤孝幸・植田勇人・鴈澤好博・中川 充・木崎健治・山崎 誠・樋掛鉄也, 1998: 空知一エソ帯におけるアルビアン以降の火成活動. 日本地質学会1998年北海道支部総会演旨, 5-8.
- Kimura, G., 1986: Oblique subduction and collision: forearc tectonics of the Kuril Arc. *Geology*, **14**, 404-407.
- 熊谷琢磨・紀藤典夫・鴈澤好博, 1995: 北海道中軸帯ニセウ層から産出した始新世放射虫化石とフィッシュン・トラック年代. 地質雑, **101** (12), 965-969.
- 栗田裕司・横井 悟, 2000: 中央北海道南部における新生代テクトニクスの変遷と油田構造成. 石枝誌, **65** (1), 58-70.
- Mitra, S. and Fisher, G., 1992: *Structural Geology of Fold and Thrust Belts*. The Johns Hopkins University Press. 254.
- Osanai, Y., Arita, K. and Bamba, M., 1986: P-T conditions of granulite-facies rocks from the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido, Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **92**, 793-808.
- 大立目謙一郎, 1951: 夕張炭田夕張地方の地質構造, 特に其の押し被せ構造に就て. 北地要報, **18**, 1-30.
- 佐藤比呂志, 1998: 地震発生層における震源断層の形状について—とくに中部〜北日本を例として—. 平成7〜9年度科学研究費補助金(基盤研究A)研究成果報告書「日本列島における完新世活断層の活動度評価に関する研究=課題番号07308007」(代表: 池田安隆), 52-86.
- 佐藤比呂志・平川一臣・池田安隆・折戸雅幸・井川 猛, 1998: 苫小牧市勇弘の伏在活断層. 石枝誌, **63** (4), 323-324.
- 石油公団, 1973: 基礎物理探査「日高一渡島」調査報告書.
- 石油公団, 1987: 海上基礎物理探査「道南一下北沖」調査報告書.
- 石油公団, 1993: 陸上基礎物理探査「日高地域」調査報告書.
- 石油公団, 1996: 海上基礎物理探査「胆振沖浅海域」調査報告書.
- Suzuki, S., Sakai, A. and Uozumi, S., 1983: Molluscan fossils from the Neogene deposits scattered along the western wing of the Hidaka Mountains, Hokkaido. *J. Fac. Sc., Hokkaido Univ., Ser. IV*, **20** (2-3), 225-248.
- Tsumura, N., Ikawa, H., Ikawa, T., Shinohara, M., Ito, T., Arita, K., Moriya, T., Kimura, G. and Ikawa, T., 1999: Delamination-wedge structure beneath the Hidaka collision zone, central Hokkaido, Japan inferred from seismic reflection profiling. *Geophys. Res. Lett.*, **26** (8), 1057-1060.