

沿岸海域における活断層調査
黒松内低地断層帯(海域部)

成果報告書

平成 23 年 5 月

北海道立総合研究機構
産業技術総合研究所

目次

1. 黒松内低地断層帯の概要	1
2. 調査目標及び調査項目	2
2. 1 調査目標	2
2. 2 調査項目及び各項目の主な目標	2
3. ブーマー調査	2
3. 1 調査測線	2
3. 2 調査方法	3
3. 3 調査結果	4
3. 4 活構造の認定及び評価	12
3. 5 ブーマー調査のまとめ	17
4. 高分解能音波探査及び柱状採泥調査	19
4. 1 高分解能音波探査	19
4. 1. 1 調査海域および測線	19
4. 1. 2 調査方法	20
4. 1. 3 調査結果	21
4. 2 柱状採泥調査	27
4. 2. 1 調査地点及び調査方法	27
4. 2. 2 調査結果	27
4. 3 高分解能音波探査及び柱状採泥調査のまとめ	29
5. 精密海底地形調査	29
5. 1 調査海域および測線	30
5. 2 調査方法	30
5. 3 調査結果	30
6. まとめ	31
6. 1 背斜構造の形態・活動	31
6. 2 断層帯の位置・形態	31
6. 3 断層帯の過去の活動	32
6. 4 国縫沖断層の南方延長と八雲断層帯との関係	33
7. その他の資料	34
文献	35

1. 黒松内低地断層帯の概要

(1) 断層帯の概要及び研究史

黒松内低地断層帯は、渡島半島の基部をほぼ南北に横切る細長い黒松内低地帯（長尾・佐々、1933）に分布する活断層帯である。北海道の主要な活断層は、東からの太平洋プレートの沈み込み運動により東西圧縮の応力場にあることから、ほぼ南北方向の走向をもつ逆断層型が多くを占め、本断層帯にも段丘面上の逆向き崖や断層崖等からなるほぼ南北方向の変位地形が多数確認されている（寒川ほか、1982 など）。

黒松内低地帯の大局的な地質構造は、八幡・山岸（1986）や北海道鉱業振興委員会（1990）によれば、NW－SE方向の褶曲・撓曲構造と、その上位層に認められるN－S～NE－SW方向の褶曲及び撓曲構造で特徴づけられる。さらに、雁沢（1992）や小疇ほか（2003）によって明らかになった本低地帯の堆積環境から、現在みられる低地は堆積盆が東西圧縮を受け中軸部が一旦隆起域に転じ、それが河川により浸食された結果形成されたものと推定される。

本断層帯は、活断層研究会編（1980）によりその位置が示された。その後、山岸・木村（1981）は、本断層帯北方の白炭東断層の断層露頭の調査より、その形成について考察し逆断層であることを明らかにした。さらに、今泉・渡島半島活断層研究グループ（1982）は断層による変位地形調査から、平均変位速度を検討して本断層帯南方の長万部断層の海側（東側）に逆断層の潜在する可能性について論じ、奥村（1983）は、主に段丘面調査から長万部断層の東側にはほぼ南北方向の背斜構造が存在することを示唆した。このほか、本断層帯の詳細な断層分布が活断層研究会編（1991）、池田ほか編（2002）、中田・今泉編（2002）などにより示されている。

また、吾妻ほか（2003、2004）は本断層帯の活動履歴などを明らかにするため、北方の白炭東断層から中央付近に位置する蕨岱断層を経て、南側の長万部断層までを対象とした地形測量調査、トレンチ調査、ボーリング調査、反射法弾性波探査などの総合的な調査を実施している。

(2) 長期評価の概要

黒松内低地断層帯は渡島半島の基部に位置し、寿都湾南方から黒松内町・長万部町を経て内浦湾に至るまで、長さ約 32 km以上の断層帯であり、西側が相対的に隆起する逆断層である（図 1）。平均的な上下方向のずれの速度は 0.5～0.7m／千年程度で、最新活動時期は約 5,900～4,900 年前であった可能性がある。

また、経験則から求めた 1 回のずれの量（2.5m）と平均的なずれの速度に基づくと、平均活動間隔は 3,600～5,000 年程度以上の可能性があり、断層帯全体が 1 つの活動区間として活動する場合、M7.3 程度以上の地震が発生する可能性があるとされている（地震調査研究推進本部地震調査委員会、2005）。

(3) 残された主な課題

黒松内低地断層帯は東西圧縮の応力場にある褶曲地帯に位置しており、その活動様式は非常に複雑である。したがって断層の地下深部の形状や過去の活動履歴についてさらに調査を行い、活動区間や区間ごとの活動度など、本断層帯周辺で発生する地震の全体像を明らかにする必要がある。また、最新活動時期や平均活動間隔に関しても不明な点が多く、1 回の活動におけるずれの量や平均的なずれの速度に関する、精度

の良い資料をより多くの地点で求めるとともに、活動間隔を明らかにする必要がある。さらに、本断層帯は南方に延長する可能性があるため、内浦湾を含めた南方海域の調査を行い、断層の分布範囲を明らかにする必要がある。

2. 調査目的及び調査項目

2. 1 調査目的

前章で指摘した残された課題を踏まえ、本調査の目的を以下のように設定した。

- 1) 黒松内低地断層帯の南方延長が内浦湾内にまで延びているか否か明らかにする。
- 2) 海域に断層が存在した場合には、南方延長の位置及び深部形状を明らかにする。
- 3) さらに、沖積層（約 1.5 万年前以後の地層）に断層活動によるずれや変形が見い出された場合には、その平均変位速度、最新活動時期、平均活動間隔に関するデータを取得し、断層が活動した層準・時期を明らかにする。

2. 2 調査項目及び各項目の主な目標

本課題の目的達成のため、調査は以下の 4 項目とし、各調査項目の主な目標を以下のように設定した。

- 1) **ブーマー・シングル及びショートマルチチャンネル調査（産業技術総合研究所）**
内浦湾内の断層帯南方延長の浅部（深さ 100m～数 100m）の構造調査による断層の位置・変位の解明と南端の確認。
- 2) **パラメトリック方式高分解能シングルチャンネル調査（道立総合研究機構）**
内浦湾内の断層帯南方延長の極浅部（深さ数 10m 程度）の詳細構造調査による断層の詳細位置、浅部形状及び変位量の解明。
- 3) **ナローマルチビーム調査（道立総合研究機構）**
内浦湾内の断層帯南方延長域の海底地形調査による極浅部変形の存否解明。
- 4) **ピストンコアラー柱状採泥調査（道立総合研究機構）**
内浦湾内の断層帯南方延長の活動時期、活動間隔および変位量の解明。

3. ブーマー調査

3. 1 調査測線

(1) 黒松内低地断層帯南端部の概要と調査海域の設定

内浦湾北西岸の長万部付近の黒松内低地断層帯は、ほぼ南北に延びる長万部断層や中の沢断層からなり、中の沢断層の南端が黒松内低地断層帯の南端とされている（図 1）。しかし、中の沢断層の南端より南の内浦湾沿岸には、海成の高位段丘や中位段丘が分布し（寒川ほか、1982；奥村、1983；小池・町田編、2001 など）、この地域が継続的に隆起していることを示している（地震調査研究推進本部地震調査委員会、2005）。このため、地震調査研究推進本部地震調査委員会（2005）は、本断層帯が内浦湾西岸に沿って南へ延びている可能性を考慮し、断層帯南端の信頼度を「低い」とし、断層帯の長

さを約 32km 以上としている。また、長万部断層の東側には、長万部の市街地に隣接して、海成中位段丘面が分布し、内陸側（西側）へ傾動低下している（今泉・渡島半島活断層研究グループ、1982；奥村、1983；池田ほか編、2002 など；図 2）。吾妻ほか（2004）は、長万部断層から、上述した内陸側へ傾動低下する段丘を横断する反射法地震探査を実施し、西傾斜の長万部断層及び西に傾動低下する段丘面と調和的な構造を示す反射断面を得ている（図 3、4）。反射断面には、長万部断層の地表位置付近を軸部とする向斜構造が認められ、向斜東翼に当たる段丘分布域では反射面群は西に傾斜する。反射面群の傾斜は東に向かって緩くなり、海岸付近では、深度約 400m 以下の浅部の反射面はほぼ水平となっている。このような長万部市街地付近の段丘面の傾動及び反射構造は、今泉・渡島半島活断層研究グループ（1982）や池田ほか編（2002）が指摘しているように、段丘の東側（内浦湾側）に、別の西傾斜の逆断層やこれと関連する活背斜構造が存在する可能性を示唆する。

以上のような既往調査研究の結果に鑑み、中の沢断層の南方延長から、別の逆断層や背斜構造が存在する可能性のある長万部川の河口付近までを含む、海岸沿いに約 20km、沖合約 10km までの範囲を調査対象海域とした（図 5）。

（2）調査測線の設定

内浦湾の北～西部では、海岸から約 1～5km の範囲に、ホタテ貝の養殖イカダが設置されている。このため、養殖イカダ設置域については、沖合に通じる航路のみが調査可能である。そこで、地元の長万部漁業協同組合と協議し、4 本の航路において、シングルチャンネル方式の音波探査（測線長 5.0～5.7km）を実施することについて同意を得た。養殖イカダ設置域より沖合では、航路沿いの 4 測線を延長する形で、測線長 3.7～5.4km のマルチチャンネル探査測線を設定した。更に、調査対象地域の南端にほぼ東西方向、長さ 6.0km の 1 測線を加え、これら計 5 本の測線を繋ぐ海岸とほぼ平行な 2 本のマルチチャンネル探査測線（長さは 16.6km と 15.2km）を設定した。海岸と養殖イカダの設置域に挟まれた沿岸部については、長さ 0.6～1.8km の 12 本のシングルチャンネル探査測線を設定した。調査測線の数量を表 1 に、調査測線の位置を図 5 に示す。なお、調査測線の総延長は 93km である。

3. 2 調査方法

（1）使用機器

音源には公称最大送振出力 300J の Applied Acoustics 社製 AA301 型ブーマーを用い、エネルギーソース（送信器）には同社製の CSP-1000 を使用した。

シングルチャンネル探査の受振には、4.5m 間に hidroフォン素子 20 個を封入した Applied Acoustics 社製ストリーマーを使用した。また、マルチチャンネル探査の受振には、チャンネル間隔 3.125m、1 チャンネル当たり 4 hidroフォン素子（0.5m 間隔）からなる Teledyne Technologies 社製のストリーマーを使用した。反射データはデジタルデータとして収録し、収録装置には、シングルチャンネル探査では Coda Octopus 社の 360P、マルチチャンネル探査では Seismic Source 社の DAQlink III を用いた。また調査中、反射データの船上モニター用として、EPC Laboratories 社製の EPC 1084 サ

ーマルチプロッターを使用して反射断面の出力を行った。このほか、音響測深には千本電気社製の PDR-1300、D-GPS による船位測定には Hemisphere 社製の R110 を用いた。

(2) 測定作業

1) 音響測深

調査船の舷側に送受波器をとりつけて測深を行った。測定された水深は用紙にアナログ出力するとともに、デジタルデータとしてログファイルに取り込んだ。

2) 船位測定・誘導

船位の測定は D-GPS を用いて行い、計画測線上を調査船が進むように誘導を行った。船位、ブーマーなどの曳航体の位置（船位と進行方向から計算）、時刻のデータはログファイルに記録した。また、100m 毎に、測位座標と音波探査データとを対応させる測位点（イベント点）を記録に挿入した。

3) 音波探査

調査中の事故の回避を最優先するとともに、調査船のエンジン音のノイズレベルテストの結果を参照して、ブーマー、シングルチャンネル探査の受振器、マルチチャンネル探査の第 1 チャンネルを船尾後方 22m に配置することにした（図 6）。

シングルチャンネル探査は発振間隔 0.35 秒、記録長 0.35 秒、サンプリング周波数 16kHz で実施した。マルチチャンネル探査は、12 チャンネル受振とし、発振間隔 1 秒、記録長 0.6 秒、サンプリング周波数 8kHz で実施した。

潮位補正は、調査域内の長万部港では潮位データが提供されていないため、森港のデータを用いて行った。潮位データは分単位であり、その間の潮位差は小さいことから、内挿は行わず、分単位の潮位をそのまま採用した。

以上の測定作業は、平成 22 年 7 月 27 日～8 月 1 日に実施した。

(3) データ処理

収録した音波探査データの処理は産業技術総合研究所が行った。使用したソフトウェアは Parallel GeoScience 社製 SPW である。シングルチャンネル及びマルチチャンネル探査データの両方とも、デコンボリューション処理、ゲイン回復、帯域通過フィルタ処理等を行った。また、マルチチャンネル探査データについては、速度解析を行った後、CMP 重合法により 12 重合の反射断面を得た。

3. 3 調査結果

(1) 調査結果の概要

1) 層序区分

海岸直交方向の A～E 測線、平行方向の F 及び G 測線について、交点を介して反射面群を追跡し、その特徴から推定される地質構造、堆積構造、海水準変動などに基づき、層序区分を行った。まず、水深 10m 程度の沿岸では海底下 10～20m、水深 75m 程度の沖合では海底下約 30m に達する顕著な不整合面を全測線にわたって追跡した。こ

の不整合面直上の反射面群は、少なくともシングルチャンネル測線では、陸側へのオンラップと沖側へのダウンラップからなるバックステップ構造を示すことから、後氷期海進に伴う堆積物に当たると判断し、この不整合面を沖積層（約1万3千年前の堆積物）の基底と見なした。なお、この不整合面の下位には、一部に埋没開析谷と推定される構造が認められた。また、C測線やD測線では海進期堆積物の上位に、最大海氾濫面と推定される反射面や高海面期のプログラデーションやアグラデーションパターンを示す堆積層が累重する。

沖積層基底より下位の反射面群については、b層とc層に2分した。c層は岸に近い海域に分布する5°ないし10°以上の傾斜に達し、縦横比20倍程度の断面では、かなり閉じた背斜構造を示す反射面群である。b層は、一部でc層を不整合に覆い、最大でも2~3°程度の傾斜を示す反射面群である。c層は、長万部付近のボーリング及び反射法地震探査結果（吾妻ほか、2004）及び陸域の地質情報（石田、1978、1981、1983；久保ほか、1983など）、さらに層序区分と生層序年代（能條ほか、1999など）から、下部更新統の瀬棚層に対比されると推定される（表2）。b層は更新統（第四紀層）と考えられるが、既存音波探査結果（桜井ほか、1975）から、調査海域は少なくとも後期更新世には隆起域となっていると推定されることから、下部~中部更新統を主体とする可能性が高い。

2) 地質構造

音波探査の結果、長万部市街地の沿岸から同町国縫の南東沖に、2つの背斜構造が確認された（図7、8）。これらの背斜は北北東-南南西方向に延び、左雁行配列する。より沖合に位置する背斜は、沖積層の基底（後氷期海進浸食面）を明瞭に持ち上げており、活背斜と判断される。また、陸寄りの背斜は、陸域の段丘面の内陸側への逆傾斜や陸上の反射法地震探査による地下構造と調和的であり、同様に活背斜の可能性が高い。

これら2つの背斜構造の東翼部（背斜軸の1~3km東側）に、それぞれ1条の西側上がりの断層~撓曲が確認された（図7、8）。これら2つの断層~撓曲は、沖積層の基底及び沖積層中~下部に累積的な変位・変形を及ぼしていることから、約1万3千年前の後氷期海進の開始以後、繰り返し活動している活断層と判断される。

(2) 各測線の調査結果

1) A測線（図9、10）

i) 沖積層の基底形状と層厚

沖積層の基底は、測線西端のA1測線/測位点56では往復走時40ミリ秒（概略深度30m；海底下約23m）に位置し、概ね、現海底に平行に沖合に向かって深くなっている。A1測線東端付近の測位点10付近では、往復走時100ミリ秒（概略深度75m）、測線東端のA2測線/測位点1では往復走時140ミリ秒（概略深度105m）となる。A1測線とA2測線との接合部付近には、埋没開析谷と推定される構造が認められる。

A測線の岸に近い部分の沖積層の厚さは20~25mに達し、B測線やC測線よりもかなり厚い。これは、すぐ北側のS2測線（後述）でも同様に沖積層が厚いことを考慮すると、両測線が長万部川の河口部に位置し、碎屑物の供給量が多いためと考えられる。測線東端（海底の深度約75m）における沖積層の厚さは約30mである。

ii) 沖積層の主な堆積構造

A1 測線の沖積層中～下部には、海進期堆積物に特徴的な、陸側へのオンラップと沖側へのダウンラップを示す反射面群からなるバックステップ（荒戸・高野、1995 など）が認められる。A2 測線ではバックステップは明瞭ではないが、沖積層の基底に陸側へのオンラップが認められる。

iii) 沖積層の変形構造

本測線の沖積層の基底には、後述する B～E 測線に認められるような活断層や活褶曲による変位・変形を強く示唆する顕著な起伏や崖地形は認められない。

しかし、A1 測線／測位点 15～10 付近では、初生的な沖側へのダウンラップが発達するため、堆積構造との判別が難しいが、沖積層全体が盛上っているように見える。また、A1 測線と A2 測線の接合部付近から、A2 測線／測位点 27 にかけての部分も、沖積層がその基底を含めて盛上っているように見える。

iv) b 層

A1 測線／測位点 50～10 付近に、b 層とした反射面群が認められ、1°前後の傾斜で沖へ傾き下がっている。

2) B 測線 (図 11、12)

i) 沖積層の基底形状と層厚

本測線における沖積層の基底は、陸に近い B1 測線／測位点 1～33 間では、現海底にほぼ平行に沖に向かって深くなり、測位点 33～34 間に認められる埋没崖部で 9m 程度、急に深さを増している。これに伴い沖積層の厚さも、測位点 25～30 付近の約 11～12m から、測位点 35～40 付近の約 19～21m と、増大している。その海側の B1 測線／測位点 44 から B2 測線／測位点 45 付近にかけては、沖積層基底の傾斜が緩くなり、プラトー状を呈する。この部分では、沖積層の厚さがその陸側及び海側よりも薄くなっている。さらに沖側の B2 測線／測位点 45～20 間では、沖積層は現海底よりも大きな勾配で基底深度を増し、層厚も増大している。同測線の測位点 20 より沖側では、沖積層の基底はほぼ現海底と平行に深くなっており、測線東端では往復走時 155 ミリ秒（概略深度 116m）に達する。測位点 20 より沖側の沖積層の厚さは約 32～34m である。

ii) 沖積層の主な堆積構造

B1 測線の沖積層中～下部には、海進期堆積物に特徴的な、陸側へのオンラップが明徴に認められるが、沖側へのダウンラップはあまり明瞭ではなく、平行な反射面が積層するアグラデーションパターンが発達する。

iii) 沖積層の変形構造

B1 測線に見られる埋没崖の基部（測位点 34 付近）には、沖積層中部の反射面にまで東側低下（沖側下がり）を示す撓曲変形が認められる。測位点 34 付近で撓曲変形を被った反射面は、その西側の測位点 33 付近において、殆ど変形することなく、埋没崖にアバットしながら、陸側へオンラップしている。従って、B1 測線の測位点 33～34 間の埋没崖は、最終氷期以前に形成された断層～撓曲崖が後氷期海進に伴う浸食によって緩傾斜化し、崖の上縁が陸側へ後退したものと考えられる。この断層～撓曲崖の前面（沖側）の、B1 測線／測位点 35 から同 45 間の沖積層下部～中部には、圧縮によると推定される褶曲状の変形が認められる。

B1 測線／測位点 44 から B2 測線／測位点 45 付近にかけての、沖積層基底の傾斜が緩く、沖積層の厚さが薄い部分は、その西側（陸側）に比べてやや盛り上がっているように見える。

iv) b 層及び c 層

本測線西端部には、B1 測線／測位点 6 付近を軸部とする、見かけ上、非対称な背斜構造が認められる。西翼の緩い傾斜を示す反射面を b 層、東翼のより急傾斜を示す反射面を c 層とした。背斜西翼の b 層は、 1° 以下の傾斜で軸部から陸側へ傾き下がり、測位点 2 付近から陸側では海側に傾斜を転じ、翼の開いた向斜状を呈する。一方、東翼の c 層は、背斜軸近傍では 5° 前後の傾斜、軸から離れた B1 測線／測位点 30 付近では 2° 程度の傾斜を示す。B1 測線／測位点 34 付近の断層～撓曲崖より沖では、沖積層基底より下位の地質構造を示す反射面は殆ど認められない。

3) C 測線 (図 13、14)

i) 沖積層の基底形状と層厚

本測線における沖積層の基底は、C1 測線／測位点 25 付近を基部とする埋没崖部で 5m 程度、急激に深さを増している。その海側の C1 測線／測位点 25～9 では、凹凸を伴いながら、全体としては、埋没崖より陸側の部分と同程度の勾配で海側へ深くなっている。一方、C1 測線／測位点 9 から C3 測線／測位点 43 付近にかけての部分では、沖積層基底の傾斜が非常に緩く（ほぼ水平に）なっている。その沖では、C3 測線／測位点 12 付近までは現海底よりやや急な傾斜で深さを増し、深度 112m に達する。これより沖側では、沖積層の基底はほぼ水平である。

沖積層の厚さは、陸側測線端(C2測線／測位点 15)では約 10m と薄いのが、沖側へ徐々に厚くなり、埋没崖の陸側の C1 測線／測位点 33 付近では約 21m に達する。埋没崖上部の測位点 26～25 付近では約 17m と一旦薄くなり、埋没崖の基部から、測位点 9 付近までは約 21～23m 程度の厚さである。沖積層基底の傾斜が緩くなる C1 測線／測位点 9 ～C3 測線／測位点 43 付近では、沖積層の厚さが薄くなり、測線 C1 と C3 の接合部付近では 15m 程度となる。その沖側では層厚を次第に増し、C3 測線／測位点 12 付近で 36m に達し、測線東端部の測位点 10～1 では 32～34m 程度の厚さである。

ii) 沖積層の主な堆積構造

C1 測線及びその陸側の C2 測線の沖積層中～下部には、A1 測線と同様に、陸側へのオンラップと沖側へのダウンラップを示す反射面群からなるバックステップが認められる。また、両測線の沖積層の上部には、これらの反射面が沖側へ“apparent truncation” (Vail, 1987) する連続性のよい反射面（最大海氾濫面（例えば酒井ほか、1995）に相当）が認められ、これより上位の反射面はほぼ平行なアグラデーションパターンを示す。このような反射面の特徴から、沖積層の中～下部は主に後氷期海進に伴う堆積物、沖積層上部は約 6 千年前の海進ピーク期以後（現在に至る高海面期）の堆積物と考えられる。

iii) 沖積層の変形構造

C1 測線／測位点 25 付近の埋没崖の位置では、沖積層中部の反射面にまで、シャープな東側（沖側）下がりの断層変位～撓曲が認められる。従って、この埋没崖は断層～撓

曲崖と判断され、測線Bで認められる崖と異なり、浸食による陸側への後退が少ない。

この断層～撓曲崖前面の、C1 測線／測位点 25～9 では、沖積層基底の凹凸と調和した形で、沖積層中～下部が波打っており、沖積層が褶曲変形を被っていると判断される。

C1 測線／測位点 9～C3 測線／測位点 43 付近では、上述のように、沖積層基底の傾斜が陸側及び沖側よりも緩くなり、C 測線全体を見通すと、この部分が背斜状に盛り上がり、その部分で沖積層が薄くなっている。このような構造は、沖積層がその堆積中に褶曲変形を被っていることを示唆する。

iv) b 層及び c 層

本測線西端部には、C2 測線／測位点 11～12 付近を軸部とする背斜が認められる。背斜の東翼には、1°前後の傾斜で東に傾き下がる反射面の下位に、より大きな傾斜（最大 7°程度）を示す反射面が認められる。上位の緩い傾斜を示す反射面を b 層、より急傾斜を示す下位の反射面を c 層とした。

また、沖合の C3 測線では、沖積層基底の背斜状盛り上がりの直下に当たる測位点 44～47、概略深度 150～165m に、背斜構造を示す反射面が認められる。

4) D 測線 (図 15、16)

i) 沖積層の基底形状と層厚

本測線では、B 測線及び C 測線の海岸から約 3km 沖合に認められた沖積層基底の断層～撓曲崖は認められない。一方、その海側の沖積層基底の盛り上がりはより顕著に認められる。沖積層の基底は D1 測線の西端から、沖合ほど勾配を減じながら深くなり、D1 測線／測位点 10 付近から、D2 測線／測位点 45 付近までは、ほぼ水平になっている。ここから、D2 測線／測位点 20 付近までは、海底よりやや急な勾配で深さを増しているが、その途中の測位点 32 付近で沖積層基底に約 6m 海側落ちの高度差が生じており、この部分に埋没崖があると考えられる。D2 測線／測位点 20 より沖では、ほぼ現海底と同じ傾斜で深くなり、D2 測線の東端での沖積層基底の深さは、約 105m である。

沖積層の厚さは、陸側の測線端では約 11m と薄いのが、沖へ厚くなり、沖積層上部が最も厚い測位点 20 (海底の傾斜変換点) 付近では約 32m に達する。この沖合では、沖積層の厚さは沖に向かって薄くなり、D2 測線／測位点 48～45 付近では 10～11m となる。更にその沖側の測位点 45～33 間では、一転して沖側へ層厚が微増し、D2 測線／測位点 32 付近の急崖部で、崖上 (測位点 33) の約 12m から、崖下 (測位点 31) の約 21m へ、層厚が急激に大きくなっている。この沖合では、測位点 20 付近まで沖積層の厚さが微増して約 30m に達し、それより沖では同程度の厚さを有する。

ii) 沖積層の主な堆積構造

本測線の沖積層中～下部も海進期堆積物と推定されるが、D1 測線では多重反射及び音波散乱層の影響で、部分的に陸側へのオンラップが認められるものの、全体としては、オンラップは明瞭ではない。沖積層上部には、C 測線と同じく、下位の反射面群が沖側へ“apparent truncation”する反射面 (最大海氾濫面に相当) が認められ、D1 測線／測位点 25～15 付近では、これより上位の反射面はプログラデーションパターンを示す。海底直下の構造はリングングのため不明であるが、測位点 20 付近の海底にはプロ

グラデーションにより形成されたと考えられる shelf break 様の傾斜変換点が見られる。

iii) b 層及び沖積層の変形構造

測線 D2 の西端付近～測位点 33 間では、b 層とした反射面群が明瞭な背斜構造を示す。既述のように、D1 測線／測位点 10 付近から、D2 測線／測位点 32 間の沖積層とその基底は、この背斜構造と調和的に盛り上がり、その部分で沖積層が薄くなっている。従って、この背斜は沖積層の堆積中にも成長している活背斜と判断される。なお、D1 測線／測位点 10 付近では、B 層中に緩い向斜状の変形が見られ、その上位の沖積層基底及び沖積層下部にも調和的な反射面の撓み下がりが認められる。

更にその沖合の D2 測線／測位点 32 付近の埋没崖の位置では、沖積層中部の反射面にまで、東側（沖側）下がりの断層変位～撓曲が認められる。また、海底下約 6～9m には、“乱堆積層”あるいは“イベント堆積物”を示唆する反射波構造が認められる。従って、この埋没崖は、沖積層の堆積中にも活動している活断層～活撓曲崖と判断される。

5) E 測線 (図 17、18)

i) 沖積層の基底形状と層厚

本測線の西端は海岸から約 5km 沖合に位置し、ここでの海底の深度は約 40m、沖積層基底の深度は約 56m である。沖積層の基底は、ここから沖に向かってごく緩やかに高まり、測位点 55～52 付近での深度は約 54m となる。これより海側では、測位点 32 付近までは上に凸、これよりも沖では下に凸の形状を示しながら深さを増し、測線の東端では約 103m となる。また、測位点 32～10 付近では現海底よりもやや急勾配、これよりも海側では海底とほぼ平行な傾斜を示す。

沖積層の厚さは本測線の西端（海底深度 40m）では約 16m であるが、沖側へ薄くなり、測位点 50～42 付近では約 10m となる。測位点 42 以東では沖へ厚くなるが、沖積層基底の勾配が大きな測位点 32～28 間での厚さの変化が大きく、約 13m から約 21m となる。測位点 10 付近より沖（海底深度約 72～77m）では 28m 前後の厚さがある。

ii) 沖積層の主な堆積構造

本測線の沖積層には、反射面がほぼ平行に積層するアグラデーションパターンが認められ、陸側へのオンラップは明瞭ではない。沖積層の層厚が陸側へ減少する測位点 27～30 付近では、陸側への反射面の尖滅が認められる。

測線西端に近い測位点 55 付近では、下位の幾分波打った反射面が上位の海底面にほぼ平行な反射面にトランケートされている。

iii) b 層及び沖積層の変形構造

本測線西部の b 層とした反射面群は、測位点 53 付近を軸部とする背斜構造をなしている。本測線西部では、既述のように、沖積層の基底がこの背斜と調和的に盛り上がっている。背斜頂部のやや西翼寄りには、上述のように沖積層中にトランケーションパターンが認められ、背斜頂部～東翼の測位点 50～42 付近で沖積層が最も薄くなっている。これらの変形及び堆積学的特徴は、この背斜が沖積層の堆積中にも成長している活背斜であることを示唆する。

本測線の沖積層基底は、測位点 33 付近に曲率の変換点があり、この沖側の測位点 32

～28 付近の傾斜がその両側よりやや大きく、沖積層の厚さの変化が大きい。このような特徴は、沖積層が測位点 28 付近を下端とする陸側上がりの緩い撓曲変形を受けていることを示唆する。

6) F 測線 (図 19)

i) 沖積層の基底形状と層厚

本測線の沖積層基底は、測線南端の測位点 162 (海底深度約 49m) では深度約 57m にあり、測位点 157 付近まではほぼ平坦である。ここから北へ向かって海底面よりやや大きな傾斜で緩やかに深度を増し、D2 測線との交点(測位点 119)では約 74m となる。その北側の測位点 118～117 間では、沖積層の基底が 5m ほど北落ちに急に深くなる。ここから北へ基底深度は漸増し、測位点 79 (海底深度約 67m) 付近で本測線における最大深度である約 99m に達する。これより北では緩やかな起伏を繰り返す、測位点 22 付近までは 90m 以上の深度がある。測位点 22 より北では緩やかに浅くなり、測線北端 (海底深度約 62m) では約 75m となる。

F 測線の沖積層の厚さは測線南端付近では約 8m、D2 測線との交点付近では約 15m であるが、測位点 118～117 間で急激に 5m 程度厚さを増し、測位点 115 では約 20m となる。ここから北へ層厚は増大し、沖積着基底が最も深い測位点 79 付近では約 33m に達する。ここから測位点 22 付近までは 30～25m 程度の厚さがあり、これより北では厚さを次第に減じ、測線北端では約 13m となる。

ii) 沖積層の主な堆積構造

F 測線の沖積層には、反射面がほぼ平行に累重するアグラデーションパターンが認められる。また、沖積層の基底が浅くなると共に、その層厚が減少している測線南部と同北端部では、部分的にオンラップが認められる。

iii) b 層及び沖積層の変形構造

F 測線では、上述のように、測位点 118～117 間で、沖積層の基底が約 5m 急激に北側に深くなっており、南側が相対的に上昇する活断層～活撓曲の存在が示唆される。沖積層基底よりも下位には、測位点 130 付近から同 117 にかけて、1°程度の傾斜で北へ傾き下がる反射面群 (b 層に対比) が認められ、測位点 120 付近が背斜状に盛り上がっている。このような変形は、断層上盤側の変形と考えられる。一方、沖積層中の反射面には明瞭な断層変位や変形は認められない。なお、F 測線の反射断面には、海底面にまで微弱な褶曲ないし波曲が及んでいるようにみえるところがある (例えば測位点 75 付近)。これは探査時の荒れた海況のため、調査船の進行方向がしばしば予定測線から逸れ、蛇行状の航跡 (図 7 参照) となった影響であり、地質構造を反映したものではない。

7) G 測線 (図 20)

i) 沖積層の基底形状と層厚

本測線では、測線北部を除いて、沖積層の基底深度は 100m 以上に達する。測線南端の測位点 1 (海底深度約 74m) では沖積層基底深度は約 100m であり、北に向かって緩やかに深くなり、測位点 25 付近で約 105m に達する。その北側の測位点 25～70 間では

110m 前後で推移し、測位点 70~80 間で最も深い深度（約 112~113m）に達する。測位点 80~100 間では 110m 前後、測位点 100~120 間では 110~105m の深度を示す。測位点 120 以北では海底面の傾斜よりもやや急な勾配で浅くなり、測位点 125 付近で 100m を切り、測位点 135 付近で約 90m、測線北端では約 82m となる。なお、測位点 40~45（~49）間、同 70~75 間には、埋没開析谷が存在する可能性がある。

G 測線における沖積層の厚さは、測線南端で約 27m あり、北に向かって厚さを増し、測位点 33 付近で約 30m に達し、沖積層基底が最も深い測位点 70~80 付近で最大 35m に達する。その北側では 34~30m の厚さで推移するが、測位点 120 付近で 30m を切り、北方への薄化が顕著になり、測線北端では約 15m となる。

ii) 沖積層の主な堆積構造

G 測線の沖積層には、反射面がほぼ平行に積層するアグラデーションパターンが認められる。また、北へ向かって沖積層の基底が浅くなると共に、沖積層の層厚が減少している測位点 120 以北の測線北部では、オンラップパターンが明瞭に認められる。

iii) 沖積層の変形構造

本測線の沖積層には、断層運動に起因すると推定される変形構造は認められない。

8) S1~S9 及び SA~SC 測線 (図 21、22)

i) 沖積層の基底形状と層厚

これらの 12 測線では、S6 測線を除いて、沖へ深くなる基底をもつ沖積層が認められる。また、調査地域北部の S1 測線と南部の SB 測線では、顕著な埋没谷が認められる。

S1 測線の埋没谷は 15°程度の急な谷壁をもち、谷の深さは約 10m である。S2 測線の岸寄りの部分では、沖積層の厚さが約 28m に達し、北側の S1 測線及び南側の S3~S5 測線の岸寄りの沖積層の厚さ（約 14m 及び約 7~8m）の 2 倍以上になっている。このような厚い沖積層や埋没谷の存在は長万部川の影響と考えられる。S6 測線では、リングングと明確に区別され、明らかに沖積層に対応すると判断できる反射面が認められず、沖積層は欠如あるいは数 m 以下の厚さと推定される。B1 測線では岸寄りの沖積層は再び約 7m の厚さとなり、その南の S7~SA 測線間では、南側へ沖積層の厚さが漸増する傾向が認められる。SB 測線にみられる谷壁の高さは約 17m であり、谷壁前面（谷底）の沖積層の厚さは約 25m に達する。このような埋没谷と厚い沖積層は国縫川の影響と考えられる。

ii) 沖積層の主な堆積構造

これらの測線の沖積層下部は、陸側へのオンラップを示す。沖積層上部の構造はリングングのため、不明瞭な測線が多いが、S2 測線西半部の沖積層上部には、プログラデーションパターンが認められる。

iii) 沖積層の変形構造

S1~S9 及び SA~SC の 12 測線の沖積層には、断層運動に起因すると推定される変形構造は認められない。

iv) b 層及び c 層

S1~S4 測線では、各測線の東部（沖合部）に、b 層とした 1~2°程度の傾斜で沖側に

傾き下がる反射面が認められる。また、S3～S5 測線では、c 層とした 3～10°程度の、より急な傾斜の反射面が見られる。このうち、S4 測線では、両者の傾斜不整合状の関係が認められる。また、S5 測線では、c 層とした反射面群に、測線の陸側に背斜軸、海側に向斜軸が存在することを示唆する傾斜変化パターンが見られる。

その南の S6 測線では、b 層とした反射面が測線中央部で盛り上がり、背斜構造を示唆する。同様に背斜構造が認められる B1 測線を挟んで、その南側の S8、C2、S9 の各測線でも、b 層とした反射面が緩やかに盛り上がる背斜状変形が認められる。なお、S7 測線の西半部は反射記録の S/N 比が低く、沖積層下の地質構造は不明である。

その南の SA 測線では背斜状の変形は認められなくなり、沖積層の基底にトランケートされるほぼ水平な反射面 (b 層に対比) が見られる。SB 測線と SC 測線では、最大 30°程度の傾斜を示す反射面群 (c 層に対比) が認められ、その沖側に傾斜の緩い反射面 (b 層に対比) が見られる。

3. 4 活構造の認定及び評価

(1) 長万部沖背斜

i) 位置及び北方への連続

3. 3 (2) で述べたように、北側から、S6、B (B1)、S8、C (C2)、S9 の 5 測線において、反射面の背斜状変形が認められ、S6 測線の北側の S5 測線では、測線西端より陸側に背斜軸の存在が示唆される (図 23 右)。各測線で認められる背斜状の変形は、測線西半部の反射波構造が不明な S7 測線を挟んで、陸上の長万部断層、中の沢断層と平行に、南北から北北西-南南東に連なる (図 23 左)。以上のことから、長万部の海岸付近から、中の沢の沖約 1km にかけて、5km にわたって、背斜構造が存在すると判断される。この背斜を「長万部沖背斜」と呼ぶ。

長万部市街地付近で実施された反射法地震探査 (測線の東端はほぼ海岸に到達) の結果 (吾妻ほか、2004) とその沖合近傍で得られた S5 測線の記録を同一の縦横比 (2 倍) にし、接合した図を図 24 に示す。海・陸の反射記録はスムーズに繋がり、海岸付近を軸部とする緩やかな背斜構造 (長万部沖背斜の北方延長) の存在を示している。

この反射法地震探査測線より北の地域では、長万部沖背斜の北方延長に関する明確なデータはない。しかし、奥村 (1983)、北海道電力 (2000)、池田ほか編 (2002) 及び吾妻ほか (2004) は、長万部川下流右岸の地形面 (M2 面相当) の西への傾動を指摘している。また、奥村 (1983) 及び池田ほか編 (2002) は、長万部川河口右岸に分布する段丘面の東 (海) 側への傾動ないし撓曲を指摘している。更に奥村 (1983) は、上述した東西両側への段丘面の傾動から、長万部川河口付近から北へ延びる活背斜 (長万部背斜) の存在を指摘している。

以上の既往研究結果に基づくと、長万部沖背斜は、奥村 (1983) の長万部背斜に連続する可能性がある。

ii) 活動性

3. 1 (1) で述べたように、今泉・渡島半島活断層研究グループ (1982) や池田ほか編 (2002) は、長万部市街地背後の段丘面の傾動から、内浦湾側に西傾斜の逆断層やこれと関連する活背斜構造が存在する可能性を指摘した。今回の調査結果はこの指摘

を実証したものであり、長万部沖背斜の活動に伴い、その西翼に位置する後期更新世の海成段丘が西（陸）側へ傾動したと考えられる。

長万部市街地付近の海成段丘面の形成年代については、図 3 の M2 面が約 10 万年前または約 13 万年前、M3 面が約 8 万年前と推定されている（奥村、1983；北海道電力、2000；小池・町田編、2001；池田ほか編、2002；小疇ほか、2003；吾妻ほか、2004 など）。傾動前の段丘面は現在の海岸から沖合 1km とほぼ同じ勾配（海側へ $5\sim 10\times 10^{-3}$ ）であったと仮定した場合、長万部市街地付近における長万部沖背斜西翼の傾動速度は、千年当たり $2.3\sim 3.5\times 10^{-4}$ （基準：図 3 の M2 面）及び $1.9\sim 2.5\times 10^{-4}$ （基準：図 3 の M3 面）と算出される。この値は、貝塚ほか（1977）による傾動の活動性区分では、B クラス（千年当たりの傾動速度が 10^{-4} のオーダー）に当たる。

（2）国縫沖背斜

i）位置及び北方・南方への連続

3. 3（2）で述べたように、北側から、C（C3）、D（D2）、E の 3 測線において、反射面の背斜状変形が認められる。これら 3 測線で認められる背斜状の変形は、海岸線及び陸上の新第三系～下部更新統の地質構造（石田、1983）と平行に、北北西－南南東にほぼ一直線状に連なる（図 23 左）。従って、中の沢～国縫～ルコツ川河口の約 5km 沖合に、約 9km にわたって、背斜構造が存在すると判断される。この背斜を「国縫沖背斜」と呼ぶ。

B1 測線／測位点 44 から B2 測線／測位点 45 付近にかけては、3. 3（2）で述べたように、沖積層基底の傾斜が緩く、沖積層の厚さが薄くなっている。これは、C、D、E 各測線の国縫沖背斜直上に分布する沖積層の特徴と同じであり、国縫沖背斜が B 測線まで直線的に延びていることを示唆する。また、A1 測線／測位点 15～10 付近、及び A1・A2 測線の接合部付近から A2 測線／測位点 27 にかけての部分では、沖積層全体が盛り上がっているように見える。これは、国縫沖背斜の北方延長が A 測線にまで延びている可能性を示唆する。

国縫沖背斜の E 測線より南の海域への延長については、既存の音波探査記録を利用して検討を行った。内浦湾北部から西部で実施された音波探査としては、北海道開発庁が 1965 年度に実施した探査（丸山ほか、1968）、海上保安庁水路部が 1972 年度に実施した探査（桜井ほか、1975）、地質調査所が 1978 年度に実施した探査（大嶋ほか、1979）がある。このうち、北海道開発庁が実施した音波探査の記録を検討した結果、次のことが明らかになった。ルコツ川の沖合から八雲町山崎の沖合にかけての No. 5～No. 11 の 7 測線では、海岸から約 4km 沖合を境として、西側（陸側）では沖積層の基底と同層下部が東（沖側）へ傾斜するのに対して、東側（沖側）ではほぼ水平ないし西（陸側）へ傾斜する（図 25、26）。また、境界より東側の沖積層は東（沖側）へ向かって薄くなる。このような傾斜と層厚の変化は、D 測線の国縫沖背斜西翼部に見られる沖積層の傾斜及び層厚の変化と同じであり、国縫沖背斜が山崎の沖合まで延びていることを示唆する（図 29）。また、海上保安庁水路部が実施した音波探査の記録のうち、測線 8～9 間の南北方向の測線北部に、反射面が撓曲状に南へ傾き下がる構造が認められる（図 27、28）。この構造は、国縫沖背斜の東翼に対応する可能性がある（図 29）。

山崎から八雲市街西方の、海岸から約2~3km内陸の丘陵には、南北に延びる八雲断層帯が存在する（寒川ほか、1982；山岸、1986；中田・今泉、2002など）。国縫沖背斜と八雲断層帯とは右ステップの関係にあり、上述した国縫沖背斜西翼端部と八雲断層帯との隔離距離は6~7kmである（図29）。国縫沖背斜は後述する国縫沖断層と関連する褶曲と考えられることから、地下深部の国縫沖断層の傾斜が低角度であった場合には、両断層の3次元的な隔離距離は5km以下の可能性がある。

ii) 活動性

上述のように、国縫沖背斜の直上に分布する沖積層の基底と同層下部は盛り上がるような変形を被り、沖積層の層厚は薄くなっている。これらのことは国縫沖背斜が完新世にも活動した活背斜であることを示している。

D測線の国縫沖背斜西翼部の沖積層基底が12,000~13,000年前に、D1測線の測位点11~25間と同じ勾配(6×10^{-3})で形成されたと仮定すると、背斜西翼の陸側への傾動速度は千年当たり $4 \sim 5 \times 10^{-4}$ となる。この値は、長万部市街地付近の長万部沖背斜西翼の傾動速度よりもやや大きい、同じ 10^{-4} のオーダー（貝塚ほか、1977のBクラス）である。

(3) 長万部沖断層

i) 位置及び規模

3.3(2)で述べたように、B測線とC測線では、長万部沖背斜の東翼（背斜軸から約3km東側）に、沖積層にまで変位・変形を及ぼしている断層~撓曲が確認された。この活断層~撓曲を「長万部沖断層」と呼ぶ（図23左）。北側のA測線及び南側のD測線では、長万部沖断層の延長は認められない。従って、現時点で確認されている長万部沖断層の長さは約1.4kmであり、断層が確認された2地点を結んだ走向はN33°Eである（図7,8）。

ii) 活動性及び活動履歴

C測線とB測線における長万部断層周辺の拡大した反射断面を図30と図31に示す。

a) 累積変位量

C測線では、沖積層基底の断層~撓曲崖の下端・上端が沖積層中~下部に認められる撓曲変形の上端・下端と一致している。このことは、沖積層基底の断層~撓曲崖の比高が海進時の外浜浸食面（以下、海進浸食面）形成以後の断層運動によるものであることを示唆する。従って、崖の陸側（隆起側）は、図30の層準bの堆積時に若干浸食された可能性があるものの、沖積層基底の崖の比高は、概ね海進浸食面形成以後の累積上下変位量を示していると考えられる。このように考えた場合、海進浸食面形成以後のC測線における長万部断層の累積上下変位量は、西上がり4~5mと推定される。

B測線の沖積層基底の崖は、3.3で述べたように、最終氷期以前に形成された断層崖が後氷期海進に伴う浸食によって緩傾斜化し、崖の上縁が陸側へ後退したものと考えられる。従って、この崖の比高（7~8m）の全てを海進浸食面形成以後の累積上下変位量とみなすことはできない。図31の層準b'より下位の沖積層下部の上下変位量は2m程度と読み取れることから、B測線における海進浸食面形成以後の長万部沖断層の累積上下変位量は2m程度と推定され、C測線における値より小さい。

b) 平均変位速度

C 測線の断層低下側（沖側）の沖積層基底深度は約 55~60m であることから、日本近海の最終氷期以後の海水準変化（例えば Saito, 1994 ; 図 32）を参照すると、同測線の長万部沖断層付近に海進が及んだのは、おおよそ 11,000~12,000 年前と推定される。よって、C 測線上における長万部沖断層の 11,000~12,000 年前以後の平均上下変位速度は、0.3~0.5m/千年と見積もられる。B 測線における長万部沖断層の平均上下変位速度はこれよりも小さく、大雑把に 0.1~0.2m/千年程度と見積られる。

c) 活動イベント層準

C 測線の長万部断層による沖積層の上下変位量と変形は、図 30 の層準 b の上・下で異なっている。層準 b より下位の反射面群は、この層準でランケートされており、この層準が不整合面であることを示している。下位の反射面群の上下変位量はこの不整合のため、隆起側では反射面が浸食されていることから明らかではないが、断層による引きずりの状況から、2.5m を超えると読み取れる。これに対して、層準 b より上位、層準 a より下位の反射面群の変位量は、おおよそ 2m と読み取れる。層準 a より上位の反射面には断層変位は認められない。以上より、C 測線では、層準 a と層準 b が長万部断層の活動イベント層準として認定でき、前者が最新イベント層準と考えられる。

B 測線においても、C 測線と同様に、層準 b' に明瞭な不整合が認められ、その上・下で沖積層の上下変位量と変形に違いが見られる（図 31）。層準 b' より下位の反射面の上下変位量は 2m 程度、上位の反射面の上下変位量は 1m 程度と読み取れる。層準 a' より上位には変位・変形は及んでいないと判断される。従って、B 測線においても、a' 及び b' の 2 つの層準に活動イベントがあったと考えられる。

d) イベントの発生時期と発生間隔

C 測線における最新活動イベントの層準は、概ね 3. 3 で述べた最大海氾濫面の層準ないしその直下に当たる。従って、最新活動イベントの発生時期は、約 6,000 年前の海進ピーク期頃か、その直前である可能性が高い。1 つ前の活動イベントの発生時期は、海進が C 測線の断層付近に及んだ時期（約 11,000~12,000 年前）より後である。従って、これら 2 回の活動イベントの発生間隔は、5,000~6,000 年ないしこれより若干短いと推定される。B 測線で認定された 2 つの活動イベントの発生時期は、B、C 両測線の反射断面の対比から、上述した C 測線での 2 つのイベント発生時期に対応すると考えられる。

e) 1 回の活動に伴う変位量

C 測線では、上述した沖積層基底の累積上下変位量と層準 b の上・下の反射面の上下変位量から、長万部沖断層の最新活動イベントに伴う上下変位量は約 2m、一つ前の活動に伴う上下変位量は 2~3m 程度と推定される。B 測線における長万部沖断層について認定された 2 回の活動に伴う上下変位量は、いずれも 1m 程度であったと推定される。

(4) 国縫沖断層

i) 位置及び規模

3. 3 (2) で述べたように、D 測線では、国縫沖背斜の東翼（背斜軸から約 1.5km

東側)に、沖積層にまで変位・変形を及ぼす断層～撓曲が確認された。この活断層～撓曲を「国縫沖断層」と呼ぶ(図 23 左)。国縫沖断層は F 測線の測位点 117 付近でも確認され、D 測線と F 測線の交点付近における同断層の走向は北北西－南南東である(図 7, 8)。E 測線では、既述のように、国縫沖背斜の背斜軸から約 2.5km 東側(測位点 28 付近)に、国縫沖断層の南方延長と考えられる緩い撓曲が認められる。D 測線～E 測線間の国縫沖断層の走向はほぼ南北であり、F 測線の測位点 117 から E 測線の測位点 28 までの国縫沖断層の長さは約 4.2km である(図 7)。

ii) 活動性及び活動履歴

D 測線における国縫沖断層周辺の拡大した反射断面を図 33 に示す。以下では、D 測線で得られたデータに基づいて、国縫沖断層の活動性と活動履歴についてまとめる。

a) 累積変位量

国縫沖断層の断層～撓曲崖の上縁は沖積層の撓曲変形部の上縁よりも陸側に位置しており、崖の比高には、後氷期海進によって浸食しきれなかった最終氷期以前の断層活動による上下変位が含まれている可能性がある。従って、海進浸食面形成以後の国縫沖断層の累積上下変位量は、西上がりに最大 5～6m であり、この値よりも小さい可能性がある。

b) 平均変位速度

D 測線の断層低下側(沖側)の沖積層基底深度は約 80～85m であることから、同測線の国縫沖断層付近に海進が及んだのは、おおよそ 12,000～13,000 年前と推定される。よって、D 測線における国縫沖断層の 12,000～13,000 年前以後の平均上下変位速度は、0.4～0.5m/千年ないしこれより小さい値と推定される。

c) 活動イベント層準

図 33 の層準 b”と沖積層基底に挟まれた沖積層下部の厚さは、国縫沖断層の両側で大きく異なっている。このことは、海進浸食後、層準 b”の形成以前に、国縫沖断層の活動があった可能性を示唆する。但し、海進浸食が削り残した崖にアバットする形で、沖積層下部が堆積した可能性を完全には否定できないことから、この活動イベントの確実性は、上述した長万部沖断層の一つ前の活動に比べて低い。

層準 a”直下の国縫沖断層の位置には、“乱堆積層”あるいは“イベント堆積物”の存在を示唆する反射構造が認められ、層準 a”がこの堆積物を被覆しているように見える。また、断層隆起側では、層準 a”が盛り上がるように変形した同堆積物を浸食しているように見える。これらのことから、層準 a”はイベント層準と考えられる。

層準 a”は、国縫沖断層の位置で 1m に満たない高度差を示す。この高度差については、1) 断層活動に伴って生じた海底の高度差(後述するように約 2m と推定される)を完全には埋積できなかった、2) 層準 a”自体がより新しい時期の断層活動によって 1m 未満の断層変位を被っている、の 2 つの可能性が考えられる。1) の場合には、層準 a”が国縫沖断層の最新イベント層準となる。2) の場合には、層準 a”より上位に最新イベント層準があることになるが、本調査の解像度ではその層準を特定することは困難である。

なお、層準 a”の活動イベントが生じた時期は、次の d) で述べるように、最大海氾濫面の層準にほぼ相当し、沖合への碎屑物の供給が最小になった時期である。このこと

を考慮すると、上記 2 つの可能性のうち、1) の可能性がより高いと思われる。しかし、2004 年新潟県中越地震に伴う地震断層のトレンチ調査 (Maruyama et al., 2007) で明らかになったように、地表における断層変位量は活動イベント毎に変化し、断層の規模から推定される変位量 (例えば松田、1975) よりも著しく小さい場合があり得る。従って、2) の可能性を完全に否定することはできない。

d) イベントの発生時期と発生間隔

層準 a”は、3. 3 で述べた最大海氾濫面の層準に概ね相当する。従って、層準 a”の活動イベントの発生時期は、長万部沖断層の最新活動イベントと同時期の、約 6,000 年前の海進ピーク期頃か、その直前の可能性が高い。層準 b”あるいはその下位に存在する可能性がある活動イベントの発生時期は、海進が D 測線の国縫沖断層付近に及んだ時期 (約 12,000~13,000 年前) より後である。従って、これら 2 回の活動イベントの発生間隔は、6,000~7,000 年ないしこれより短いと推定される。

c) で述べたように、層準 a”より上位に別の活動イベントが存在すると考えた場合には、このイベントの発生時期は約 6,000 年前の海進ピーク期以後と考えられる。

e) 1 回の活動に伴う変位量

層準 b”及びその上位の反射面の上下変位量から、層準 a”を国縫沖断層の最新イベント層準とみなした場合には、これに伴う上下変位量は約 2m と見積もられる。一方、層準 a”より上位に最新イベント層準があると考えた場合には、この活動イベントに伴う上下変位量はおおよそ 0.6~0.8m、層準 a”の活動イベントに伴う上下変位量はおおよそ 1.2~1.4m と推定される。層準 b”あるいはその下位に存在する可能性がある活動イベントに伴う上下変位量は、沖積層基底の崖の比高 (5~6m) を考慮すると、最大で 3~4m と推定される。

3. 5 ブーマー調査のまとめ

本調査の結果は、以下のようにまとめられる。

(1) 活背斜の発見

長万部市街地の沿岸から同町国縫の南東沖に、北北東-南南西方向に延び、左雁行配列する 2 つの背斜が発見された。陸側の背斜を長万部沖背斜、沖側の背斜を国縫沖背斜と呼ぶ。これら 2 つの背斜は、それぞれ、後期更新世の海成段丘と沖積層に変位・変形を及ぼしており、活背斜と判断される。

(2) 活断層の発見

これら 2 つの背斜の東翼部 (背斜軸の 1~3km 東側) に、それぞれ 1 条の西側上がりの断層~撓曲が確認された。陸側の断層~撓曲を長万部沖断層、沖側の断層~撓曲を国縫沖断層と呼ぶ。これら 2 つの活断層は沖積層の基底及び沖積層中~下部に累積的な変位・変形を及ぼしており、約 13,000 年前に後氷期海進が内浦湾内の本調査海域に及んで以後、繰り返し活動している活断層と判断される。

(3) 長万部沖背斜

・位置及び規模：長万部沖背斜は、長万部の海岸付近から中の沢の沖約 1km にかけて、S6、B、S8、C、S9 の 5 測線で確認された。陸上の長万部断層及び中の沢断層と平行に、

南北から北北西－南南東方向に、5km にわたって追跡された。

- ・ **北方への連続**： S5 測線の記録は既存の陸上地震探査記録にスムーズに繋がり、海岸付近を軸部とする緩やかな背斜の存在を示す。更に、既存文献の検討によると、長万部沖背斜は、長万部川東岸の長万部背斜（奥村、1983）に連続する可能性がある。

- ・ **活動性**：長万部市街地背後の後期更新世海成段丘の陸側への傾動は、長万部沖背斜西翼の変形と考えられる。長万部市街地付近における背斜西翼の傾動速度は、 $2\sim 3.5\times 10^{-4}$ / 千年（Bクラスの活傾動）と推定される。

（4）国縫沖背斜

- ・ **位置及び北方・南方への連続**：国縫沖背斜は C、D、E の 3 測線で確認された。沖積層の基底及び沖積層中の反射構造の特徴から、北側の B 測線へ延びていると考えられ、更に北の A 測線にまで達している可能性がある。また、その南方延長を既往の音波探査記録により検討した結果、国縫沖背斜は八雲町山崎の沖合まで延びている可能性があることが分かった。

- ・ **規模**：C、B、A の各測線から E 測線までの長さは、それぞれ約 9、10、14km であり、E 測線から既存資料の検討から推定される山崎沖の南端までの長さは約 7km である。

- ・ **活動性**：背斜直上に分布する沖積層基底と同層下部は盛り上がるような変形を被り、沖積層の層厚は薄くなっていることから、完新世にも活動したと判断される。D 測線における背斜西翼の傾動速度は、 $4\sim 5\times 10^{-4}$ / 千年（Bクラスの活傾動）と推定される。

（5）長万部沖断層

- ・ **位置及び規模**：長万部沖断層は B 測線と C 測線で確認され、断層確認地点を結んだ走向は N33°E、その間の長さは約 1.4km である。

- ・ **累積変位量及び平均変位速度**：活動性がより高い C 測線における 11,000～12,000 年前と推定される海進浸食面形成以後の累積上下変位量は西上がり 4～5m、平均上下変位速度は $0.3\sim 0.5\text{m}$ / 千年と見積もられる。

- ・ **活動時期及び活動間隔**：最新活動イベントの発生時期は約 6,000 年前の海進ピーク期頃かその直前である可能性が高い。1 つ前の活動イベントの発生時期は、海進が断層付近に及んだ 11,000～12,000 年前頃より後である。これら 2 回の活動イベントの発生間隔は、5,000～6,000 年ないしこれより若干短いと推定される。

- ・ **1 回の活動に伴う変位量**：最新活動イベントに伴う上下変位量は約 2m、一つ前の活動に伴う上下変位量は 2～3m 程度と推定される。

（6）国縫沖断層

- ・ **位置及び規模**：国縫沖断層は D、E、F の 3 測線で確認され、全体としてほぼ南北の走向、確認された長さは約 4.2km である。

- ・ **累積変位量と平均変位速度**：活動性がより高い D 測線における 12,000～13,000 年前と推定される海進浸食面形成以後の累積上下変位量は西上がりに最大 5～6m であり、この値よりも小さい可能性がある。また、12,000～13,000 年前以後の平均上下変位速度は $0.4\sim 0.5\text{m}$ / 千年ないしこれより小さい値と推定される。

- ・ **活動時期及び活動間隔**：約 6,000 年前の海進ピーク期頃かその直前に、1 回の活動イベントが発生したと推定される。この活動が国縫沖断層の最新活動イベントであった可能性と、これより後に別の活動イベントが生じた可能性がある。また、海進が D 測

線の国縫沖断層付近に及んだ約 12,000～13,000 年前より後に、この活動に先立つ活動イベントがあった可能性がある。これら 2 回の活動イベントの発生間隔は、6,000～7,000 年ないしこれより短いと推定される。

・ 1 回の活動に伴う変位量：約 6,000 年前の海進ピーク期頃かその直前に発生したと推定される活動イベントを最新イベントと考えた場合には、これに伴う上下変位量は約 2m と見積もられる。一方、これより後に最新イベントが発生したと考えた場合には、最新イベントに伴う上下変位量が 0.6～0.8m 程度、約 6,000 年前の海進ピーク期頃かその直前の活動イベントに伴う上下変位量が 1.2～1.4m 程度と推定される。また、約 12,000～13,000 年前より後に起きた可能性がある先行イベントに伴う上下変位量は、最大 3～4m と推定される。

(7) 黒松内低地断層帯及び八雲断層帯との関係

長万部沖背斜は、黒松内低地断層帯の構成要素とされる長万部市街地背後の海成段丘面の傾動や長万部背斜と一続きの構造と考えられることから、今回の調査で発見された 2 つの活背斜と 2 条の活断層は黒松内低地断層帯の南方延長と位置づけられる。

このように考えた場合、黒松内低地断層帯の南端は、中の沢断層の南端から、E 測線で確認された国縫沖背斜の位置となる。断層帯の長さは約 10km 長くなり、約 32km 以上から、約 43km 以上となる。

また、既存音波探査の検討結果から推定される国縫沖背斜の南方延長までを黒松内低地断層帯に含めた場合には、断層帯の長さは約 49km 以上となる。更に、この国縫沖背斜南方延長の西 6～7km に位置し、国縫沖断層との 3 次元的な隔離距離が 5km 以下となる可能性がある八雲断層帯までを黒松内低地断層帯に含めた場合には、断層帯の長さは約 55km となる。

4. 高分解能音波探査及び柱状採泥調査

4. 1 高分解能音波探査

内浦湾内の黒松内低地断層帯南方延長の極浅部（深さ数 10m 程度まで）の詳細構造調査による断層の海域部延長の有無と連続性について、さらに断層が認められた場合はその活動履歴（とくに完新世以後）を明らかにすることを主目的として、高分解能音波探査を実施した。

4. 1. 1 調査海域および測線

これまで黒松内低地断層帯の南端は中の沢断層の南端とされてきたものの、3. 1 (1) で述べた既往調査の結果から、長万部断層の東側に分布する海成中位段丘面のさらに東側に、これまで明らかになっていない別の活構造が存在する可能性が示されている（今泉・渡島半島活断層研究グループ、1982；池田ほか編、2002 など）。

このため本調査の対象範囲は図 34 に示すとおり、中の沢断層の海域延長から長万部川河口付近までの、ブーマー調査域とほぼ重なる海岸沿い約 20km、沖合約 10km の範囲とした。黒松内低地断層帯の主要断層の走向はほぼ南北であることから、測線の方

向は東西を基本とした。測線の設定にあたっては先行して行われたブーマー調査の結果も参考とし、また調査域の中央付近にホタテ養殖施設が設置されているため、以下のように調査域を3分割して測線を設定した。

- 1) 海岸と養殖施設に挟まれた沿岸部：長万部沿岸域にみられた背斜構造および中の沢断層の延長部での浅部構造を確認する目的で海岸と直交する方向に、約 500m 間隔で長さ 1.5~2.0km の測線を 42 本（中の沢より南側は測線間を補間して 20 本再測）、および海岸にほぼ平行する長さ約 18km の 2 測線を設定。
- 2) 養殖施設内部：沖合いに通じる 4 本の航路のうち、ブーマー調査記録に変位・変形が確認された 2 測線（B、C 測線）上に長さ約 5 km の測線を設定。
- 3) 養殖施設よりも沖合部：国縫沖に確認された背斜構造と撓曲～断層の詳細と平面的な広がりを確認する目的で、ブーマー調査記録に変位が確認された 2 測線（D、F 測線）の交点を中心とし、D 測線と平行な方向の長さ約 2 km の測線を 500m~1 km 間隔で 9 本と、これらを繋ぐ形で直交して長さ約 2.5km の 1 本の測線を設定。調査測線の総延長は再測を含めて 152.7km となった。測線図を図 34 に示す。

4. 1. 2 調査方法

(1) 使用機器

本調査は、浅海域用シングルチャンネル高分解能地層探査装置である、(独)イノマータ社製パラメトリック方式高分解能探査装置 SES2000 システムを使用した。

本システムで用いられるパラメトリック方式は、周波数の異なる音圧の超音波を同時に発信することにより、超音波が干渉して新たな周波数の音波を発生させる原理に基づき、精密測深と地層探査を同時に実施することを可能としている。さらに、従来の浅海用音波探査装置では発振音波の指向角が 10 数°~30°程度と広く、調査船直下の構造をピンポイントで捉えることが難しかったものの、本システムは指向角が 3.6°の狭ビームを用いることで、海底下の目標を精度良く捉えることができる。

併せて、調査時には船舶の動揺補正装置を採用することで、記録の分解能を飛躍的に高め、海底表層部における堆積物の変位や断層の分布をより正確かつ明瞭に把握することを可能としている。

調査時の船舶の測位には、Hemisphere 社製の D-GPS システムを使用した。

(2) 測定作業

調査作業にあたっては、本調査海域はホタテ養殖の定置漁具等の設置がなされているため、それらとの接触事故等が生じることのないよう、地元漁業関係者と十分な打合せを実施して調査の周知徹底を行った。測定データは現地調査時に可能な整理および概略の検討を行うとともに、詳細については室内に持ち帰って整理・処理・解析を行った。

1) 船位測定

調査船の船位測定は DGPS により実施し、計画測線上に調査船の誘導を行った。測定された調査船位置は、テキスト形式のデジタルデータとして収録するとともに、調査測定位置を示す航跡図を作成し、音波探査記録の解析および地質構造の検討に際し

での基礎図面とした。

2) 表層高分解能地層探査

本調査で収録した音波探査データについて、データ処理システムによりノイズを除去するフィルター処理および記録を見やすくする振幅補正処理を加えた。

これらの測定作業は、平成 22 年 8 月 31 日～9 月 5 日にかけて実施した。

4. 1. 3 調査結果

(1) 調査結果の概要

高分解能音波探査の結果、ブーマー調査において長万部市街地の沿岸に見い出された陸寄りの背斜構造（長万部沖背斜）に相当する部分に、海底下浅部の反射面の盛り上がり確認され、活背斜構造であることを裏付ける。

養殖施設内の航路上および養殖施設沖側に設けられた測線においては、長万部沖背斜及び国縫沖背斜の 2 つの背斜構造の東翼部に確認された西側上がりの断層イベントが、沖積層の基底及び中～下部に及ぼしている変形の範囲を把握することができた。これらのイベントによる変形は海底面にまでは及んでいないものの、ブーマー調査により海底下中～深部に確認された変形には明瞭な変位の累積がみられることから、繰り返し活動している活断層であると判断される。

(2) 区域ごとの調査結果

1) 沿岸海域

養殖施設よりも岸側の範囲（以下、沿岸海域）では音波が透過しにくい砂質堆積物が優占するもの（or 砂質堆積物が優勢）と考えられ、高分解能を得るために音源のエネルギーが比較的小さい SES2000 システムでは、海底下表層部の堆積物について連続した明瞭な反射面を得ることが困難であった。

以下、長万部川河口付近～中の沢断層南端までの北部と、それより南側～八雲町境界までの南部に分けて述べる。なお、反射記録の深度変換に際しては、水中及び浅層堆積物中での音波速度をいずれも 1,500m/秒と仮定した。

i) 沿岸域北部

海岸直交方向の SES-1～21 測線においては、海底下 4～5m までの記録は取得できたものの、それより下の構造は音波散乱のため不明瞭となった。確認された反射面は概ね現海底に平行に、沖合に向かって深くなりつつほぼ平行に累重するパターンを示すが、ブーマー調査の測線 S5 と S6 間に相当する SES-10～13 測線の記録断面には、部分的に反射面の変形が確認される。

SES-10 測線/測位点 225～226 間より陸側に向かって、海底下約 5m から 2m 程度までに達する反射面の盛り上がりが見られ、同様に SES-11 測線/測位点 217 付近でも顕著な反射面の盛り上がりが見られる。この変形はクロスチェックのため設けられた、直交する SES-102_2 測線/測位点 27～28 においても明瞭に確認される。また、ブーマー測線 S6 を挟んで南側の SES-12 測線/測位点 213 付近、および SES-13 測線/測位点 206～207 付近では、明瞭な盛り上がりは見られないものの海岸付近から測線中央部にかけて、反射面が沖に向かって次第に浅くなっており、構造運動に

伴う変形を表している可能性がある（図 35 左）。

図 21 に示す長万部町前面海域でのブーマー短測線調査から、沖積層の厚さは測線 S5 付近で 7~8m 程度と見積もられ、S6 では明瞭に確認されないもののさらに南側の B1 測線では再び約 7m となる。これらの記録断面上には沖積層内に断層運動に起因すると推定される変形は認められなかった。しかしながら、上記の高分解能音波探査記録断面において、反射面が盛上って見掛け上最も浅くなる部分を測線図上にプロットすると、図 35 右に示すように長万部沖背斜の位置と極めて良い一致を示す。したがって高分解能調査で海底下 2~5m 付近に確認されたこれらの反射面の状況は、沖積層内部の変形を表している可能性が高く、長万部沖背斜が沖積層にまで変形を及ぼしている活背斜であることの有力な根拠となる。

ii) 沿岸域南部

海岸直交方向の SES-23~67 測線においては、北部と同様に粗粒堆積物による音波散乱のため、海底下 4~5m 以深の構造は不明瞭であるが、確認された反射面は概ね現海底に平行に、沖合に向かって深くなりつつほぼ平行に累重するパターンを示す。この区域で得られたブーマー記録断面からは、S8 と S9 間に反射面が緩やかに盛上る背斜状変形が確認されたが（図 22）、本調査で対応する SES-16~21 測線の記録断面には、構造運動に起因するとみられる反射面の変形・変位は見出されなかった。この理由としては、南側に向かって沖積層の厚さが漸増するとともに、背斜状変形による影響が海底下浅部、5m 程度にまでは及んでいないためと考えられる。

さらに南側の、中の沢から国縫にかけての SES-27~37 測線の記録断面には、測線の海岸寄りにおいて、海底下約 3~5m の反射面の形状に変形が確認される（図 36 右）。これらの変形の位置・深度およびセンスに系統的なものはみられず、構造運動に起因した変形が海底下浅部にまで及んでいる可能性は少ないと考えられるものの、既往の海底地形データによればこの付近において海底地形の変化が確認されるため（図 36 左）、後述するとおり海底地形調査を実施した（5. 精密海底地形調査参照）。

国縫からさらに南側の八雲町境界までの範囲では、反射面は現海底面にほぼ平行に連続し、変位や変形は見出されなかった。

2) 養殖施設域

養殖施設内部の範囲（以下、養殖施設域）では、ブーマー測線 B および C に沿って長さ約 5 km の 2 測線を設けた。北側の SES-B 測線は比較的音波の透過がよく、測線の岸側の一部を除いて海底下 15m 程度の、沖積層基底付近までの完新統の詳細な堆積構造を確認できた。SES-C 測線については測線沖側の約半分では海底下約 10~15m までの反射面を捉えることができたが、陸側はやや粗粒な砂質堆積物が優勢で、音波散乱のため海底下約 4~5m 以深の構造は得られなかった。

i) SES-B 測線

本測線記録断面で確認される、連続性の良い明瞭な反射面を上位より B-1~5 面とした（図 37）。これらの反射面群は、図 39 に示すようにブーマー記録断面で認められる反射面とも良く対応づけられる。以下、各反射面について記載する。

B-1 面は、測線の陸側では海底下約 3m で沖に向かって測位点 11 付近までは海底面

にほぼ平行に連続し、それより沖側に向かって次第に深さを増し測線西端では約 5m の深さとなるやや強い反射面である。B-1 面の下位にはこれとほぼ平行して、連続性はやや不明瞭ではあるが 1 枚の反射面が認められ、この反射面を B-1' 面とした。その下位の B-2 面は、測位点 11 付近より陸側では不明瞭となるが、それより沖側には B-1 面の 1.5m 程度下位に追跡でき、測位点 13~14 間でやや傾斜を増し、以後は B-1 面下約 2.5m を測線西端まで続いている。

B-3 面は、細かな凹凸をもつやや幅の広い強い反射面で特徴づけられ、測位点 13 付近までは海底下 6~7m に確認されるが、測位点 13~14 間で傾斜を増し深さは 8m 程度となって、沖側に向かって次第に深度を増して測線西端付近では下部の B-4 面にほぼ重なる。B-4 面は測線の西側半分にわたってほぼ一様に追跡できる強い反射面で、陸側の末端は明瞭ではないが、測位点 13 付近の深度は約 10m で沖側に向けて急に深度を増し、測位点 14~15 間では海底下 11~12m 程度に達する。そして測位点 16 付近より再び海底下 10m 程度となり現海底面とほぼ平行に測線西端まで続いている。B-3 面と B-4 面との間にも部分的に反射面が確認されるものの、これらは測線中央付近より沖側に向けて次第に下部の B-4 面に収れんする堆積形態を示す。

B-5 面は本調査の記録断面で最も下部に確認される強い反射面である。測位点 7 付近より海底下約 11~12m に確認され、沖に向かって途中若干の層厚の変化はあるものの、測位点 13 付近までは現海底にほぼ平行して深さを増している。測位点 13~14 に認められる傾斜変換点で急に 2.5~3m 程度深さを増し、再び現海底とほぼ平行に測位点 18 まで追跡できる。そして、この面と上面の B-4 面に挟まれた反射面は、陸側へのオーバーラップが確認される。図 38 に長万部沖断層付近の拡大図を示す。B-1~5 までの反射面のうち、最上位の B-1 面は沖に向かって次第に深度を増しているものの、B-1 面構成層は断層による変形は被っていない。B-2 より下位の反射面群は明らかに断層によって変形しており、B-2~4 面は上記のとおり断層部でそれぞれ 1~1.5m 程度の下方への撓みをもち、各反射面の変形の大きさは殆ど差がないのに対して、B-5 面にはそれより大きい撓曲が認められる。B-1 面と B-2 面間の B-1' 面にも撓曲変形が存在するように見えるものの、反射面の連続がやや不明瞭であり、断定することはできなかった。

ブーマー記録との比較 (図 39) では、この B-5 面は陸側から測位点 13~14 間の傾斜変換点付近までは沖積層基底を表す反射面に相当し、それより沖側では図 31 の層準 b' の上面に一致しており、測位点 13~14 間の傾斜変換点付近が長万部沖断層による撓曲変形に相当する。

このことから、本測線で長万部沖断層には少なくとも B-5 面構成層および B-2 面構成層に対応する 2 回の活動イベントがあったと考えられ、これはブーマー調査の結果とも良く一致する。最新のイベントによる変形はさらに直上の B-1' 面に及んでいる可能性もあるが、その上位の B-1 面にまでは及んでいない。本記録断面より、層準 b' より上位にある反射面の上下変位量は 1~1.5m 程度となり、層準 b' の上面 (B-5 面) に認められる上下変位量は 2~2.5m 程度と読み取られる。

ii) SES-C 測線

本測線記録断面ではB測線に比べて音波の透過が悪く、連続性の良い明瞭な反射面が確認できる範囲は測線の中央より沖側に限られ、ブーマー記録断面に表れている沖積層基底の変形（測位点 43 付近）は全く確認されなかった。測線の沖側ではB測線と同様に、上位より C-1~5 面の反射面が認められる（図 40）。本測線の位置は、最も陸側より測位点 43 付近まではブーマー測線とほぼ一致しているが、それより沖側では北側に 100~200m 程度ずれており水深も異なっているため、各反射面とブーマー記録断面上のそれとの対応はB測線の場合ほど明確ではない。しかし、記録上にみられる海底面の深度を一致させる補正を施すことにより、ある程度ブーマー記録との対応をつけることが可能となった（図 41）。

C-1 面は本測線中最も広範囲に確認できる反射面で、海底下約 3~4m を現海底面にほぼ平行してなだらかに追跡でき、B測線の B-1 面に相当すると考えられる。C-2 面より下位の反射面は測位点 42 付近より陸側では音波散乱のため全く確認できないものの、沖側に向かっては最下層の C-5 面まで、ほぼ調和した形で波打った形状を示しており、褶曲変形を表していると判断される。ただし、B測線に比べると全体的に反射面は不鮮明で、陸側へのオンラップや沖に向けてのダウンラップを確認することはできなかった。

図 30 に示されたブーマー記録断面中の、より古いイベントを表す層準 b の上面は、本記録では C-5 面にほぼ一致し、沖積層の上部に確認された最大海氾濫面の位置は、本記録の長万部沖断層付近では C-2~3 面に相当する。ブーマー記録断面に確認された最新イベントの層準 a はこの最大海氾濫面の層準にほぼ一致し、その上位の C-1 面は B-1 面と同様、断層による変形を被っていない。したがって、SES-B、C 両測線においていずれも、最新の活動イベントは最上位の層準（B-1 面構成層及び C-1 面構成層）には変形を及ぼしておらず、より古い活動イベントは確認された最下位の層準（B-5 面構成層および C-5 面構成層）を変形させていることから、確認された 2 つのイベント発生時期は、両測線でそれぞれ対応している可能性が高い。

3) 沖側海域

養殖施設よりも沖側の範囲（以下、沖側海域）では、国縫沖断層の詳細と平面的な拡がりを確認する目的で、東西方向に 9 本とこれと直交する 1 本の測線を設定した。本海域では細粒堆積物が優占する（or 優勢な）ため音波の透過が良く、最大で海底下 20m 程度までの明瞭な反射記録断面が得られた。

i) SES-04 測線および SES-F 測線

国縫沖断層による撓曲変形が確認される代表的な記録例として、SES-04 測線（ブーマーD 測線に対応）及び SES-F 測線（ブーマーF 測線に対応）の記録断面を図 42 及び図 43 に示す。両測線は中央付近で交差しており、反射面群のクロスチェックが可能である。確認された反射面は概ね現海底面に平行に、沖合に向かって深くなりつつほぼ平行に累重するパターンを示す。両図において、連続性の良い明瞭な反射面を上位より DF-1~6 面とした。DF-1（青）、2（橙）面は、現海底面に沿ってほぼ水平な反射面が測線全体にわたって連続する。DF-2 面の下位には、これとほぼ平行して 2 枚の反射面が認められるが、これら反射面を上位から DF-2'面、DF-2''面とした。DF

－3 面（緑）はその下位にある強い反射面で、さらに下位の DF－4（紫）、5（赤）、6（黄）面は SES－04 測線／測位点 103～104 間より沖側と、SES－F 測線／測位点 161 付近より北側でそれぞれ音波散乱のため不明瞭となる。

断層による東側（沖側）下がりの変形は、SES－04 測線／測位点 104～105 間と SES－F 測線／測位点 161～162 間の DF－3 面に明瞭に認められ、その上下変位量は 1m 程度である。DF－3 面の直上の反射面の DF－2”面もやや変形を被っているようにみられ、これらの面に挟まれた層の層厚は、確認される範囲でほとんど変わっていない。その上位の DF－2 面および DF－2’面は緩やかに深度を増し変形していないと判断され、その結果 DF－2”面と DF－2’面間の堆積層は下盤側で厚さを増している。これらより、断層の最新活動イベントは DF－2’面構成層の堆積以前と判断される。しかしながら DF－4 面及びその下位の反射面が音波散乱のため不明瞭となっていることもあり、本測線の結果からだけでは音波散乱域の上位の反射面の屈曲が断層変位なのか、ポストイベントの埋積プロセスを示しているのか判断が難しい。前者の場合、DF－2’面より下位の反射面は変形しており、断層イベントを経験していると判断されるが、後者の場合はこれらがポストイベントの堆積物で、断層活動で形成された海底の落差を次第に埋積していると考えられる。

交差する F 測線においては各反射面は海底面にほぼ平行に累重するパターンを示すが、測位点 161～162 間の DF－3 面に、北側下がり（測線の方位角を考慮すると北東側下がりとなり、04 測線と同センスとなる）の変形が認められる。直交する 04 測線の場合と同様に、この変形は直上の DF－2”面にまで及んでいることが確認されるものの、さらに上位の DF－2’面は海底面とほぼ平行して緩やかに深度を増し、変形は被っていない。一方、本測線記録断面では、04 測線記録断面では確認されなかった音波散乱域での DF－3 面の下位の DF－4 面がわずかではあるが確認できる。DF－4 面はやはり測位点 161～162 間において北側下がりの変形を受けており、その上下変位量は DF－3 面のそれとほとんど等しく測線の北端まで DF－3 面に平行して続いていることがわかる。DF－2”面の上下変位量は DF－3 面のそれと同じくらいか幾分小さくみえるものの、変形を挟んだ両側での層厚の差はほとんどみられない。そして 04 測線と同様に、上位の DF－2’面が段差の下盤側ではやや厚く、上盤側では薄く堆積し、イベント層準を覆ってほぼ平坦な面を形成している。

SES－04 測線の記録断面をブーマー D 測線の記録断面と比較したものを図 44 に示す。DF－3～6 面はそれぞれブーマー記録中の強い反射面と概ね良い一致を示し、最下部の DF－6 面は沖積層基底を表す反射面に相当する。DF－5 面は、断層部の記録は音波散乱によって確認できないものの、より古いイベント層準である層準 b”の上面に相当する。層準 a”の上面は DF－3 面付近に対応付けられ、その下位の SES の音波散乱域に相当する箇所には乱れた堆積物を示唆する反射構造があることから、3. 4 (4) において述べた活動イベント層準の可能性のうち、1) の場合（層準 a”が最新イベント層準に相当する）の可能性がより高いと考えられる。この場合は、国縫沖断層では後氷期海進以後に 2 回の活動イベントが発生し、1 回の活動に伴う上下変位量は層準 b”の変位量から 2m 程度になると推定され、ポストイベント堆積物により DF－3 面に認められる程度の高度差（1m 程度）を示していると解釈される。

また、SES-04 測線／測位点 100 付近の DF-4 面および DF-5 面には、逆センス（東側上がり）とみられる変形が確認されるものの、DF-4 面の直上の反射面 DF-3' にはこの変形は及んでいない。下位の DF-6 面の変形については局所的な音波散乱のため不明瞭となり判断できず、ブーマー記録からも深部の変位の累積は明瞭でない。

ii) SES-00~08 測線

SES-00~08 測線（04 測線を除く）の記録断面中の反射面に認められた変形に関して、以下に記す。なお、02~05 測線においては直交する SES-F 測線の記録断面とクロスチェックを行い、各反射面を確定したが、北側の 00 測線および南側の 07、08 測線においては他測線との交点がないため、各反射面の深度や反射強度、連続性を考慮して推定した。

1) 00 測線（図 45）：測位点 56~57 間の海底下 6~7m の連続性の良い反射面に、東側下がりの変形が認められる。この反射面は堆積構造からみて 04 および F 測線で確認された DF-3 面に相当すると考えられる。さらに下位の、DF-4 面に相当する強い反射面にも同地点で変形が確認され、撓みの量がより大きいことから構造的な変形の可能性があるが、DF-5 面より下部の構造が不明瞭のため断定はできない。測位点 54~55 間の DF-4 面にも逆センス（東側上がり）の変形が確認されるが、その下層は音波散乱のため不明瞭になり、上位の DF-3 面には変形は及んでいない。

2) 02 測線（図 46）：測位点 79 付近の DF-4 面に東側下がりの変形が認められる。この変形は下位の DF-5 面にも確認されるものの、それより上位層には及んでおらず、DF-3 面は変形を被っていない。

3) 03 測線（図 47）：測位点 89~90 間において、DF-3 面がやや東側上がりに変形していることが確認される。直上の DF-2"面も変形を被っているものの、それより上位には変形は及んでいない。この部分の下層はちょうど音波散乱域に相当するため、DF-4 面より下の構造は不明瞭である。

4) 05 測線（図 48）：測位点 111~112 間の DF-3 面および直上の DF-2"面に、東側上がりの変形が確認され、それより上位の面は変形を被っていない。音波散乱域のため DF-4 面より下の構造は不明瞭である。

5) 07 測線（図 49）：測位点 139 付近の、海底下約 10m の強い反射面に東側上がりの変形が確認される。この反射面は堆積構造やすぐ北側の SES-06 測線にみられる反射面群の状況からみて、DF-5 面に相当すると考えられる。この変形が及んでいる反射面は上位の DF-4 面を経て、さらに DF-3 と DF-2"面にもわずかな変形が確認され、下位の反射面ほど変位量が大きい。しかしながらより下位の DF-6 面の変形はやや不明瞭となり判断できない。

6) 08 測線（図 50）：測位点 145 付近および 148~149 間の海底下約 10m の強い反射面（DF-5 面に相当する）に、東側上がりの変形が確認される。とくに 148~149 間にみられる変形は下位の凹凸を伴った強い反射面（DF-6 面に相当すると考えられる）及び上位の DF-3 相当面にも及んでいて、下位の反射面ほど変位量が大きい。

以上の、沖積層内に確認された反射面の変位・変形の位置をとりまとめて図 51 に記す。養殖施設域の SES-B 測線にて確認された変形の位置は長万部沖断層の位置とほぼ

一致する。また、沖側海域にて確認された変形のうち、SES-04 測線／測位点 104～105 間、05 測線／測位点 111～112 間、及び F 測線／測位点 161～162 間については、変形が確認される反射面の深度やセンスがほぼ共通している。これら 4 箇所を連続したものはブーマー調査から判明した国縫沖断層の位置に概ね等しくなり、同断層の確実性を高めるものである。

このほか、国縫沖背斜の東翼側で、隣接する 07 測線／測位点 139 付近と 08 測線／148～149 間にみられる変形も、SES 記録断面においては変位に累積性が認められ、変形の向きやその及んでいる層準にも共通性がみられることから、国縫沖断層の一部である可能性がある。さらに SES-00 測線／測位点 54～55 間及び 56～57 間、02 測線／測位点 79 付近、04 測線／測位点 100 付近にも変形が確認されるものの、より深部の構造が判明していないこと、変位の向きが一定でないこと及び間に挟まる測線の記録断面において変形が確認できないことから、連続した断層である根拠は見出せなかったため判断は差し控える。

これらより推定される国縫沖断層の長さは、南端をブーマー E 測線で確認された測位点 28 付近の撓曲とした場合、約 4.2km となる。

4. 2 柱状採泥調査

4. 2. 1 調査地点及び調査方法

音波探査で確認された地層の堆積年代を明らかにし、地層に変形が生じた時期を決定することを目的として、柱状採泥調査（グラビティ及びピストンコアリング）を実施した。コアリング地点の選定は、高分解能音波探査記録断面及びブーマー調査のニアトレース断面の解釈に基づいて行い、音波探査記録上に明瞭な断層変形が認められた長万部沖断層か国縫沖断層付近を候補とした。しかしながら長万部沖断層上の B、C 測線は養殖施設内にあたり作業船の設置が困難なこと、並びに底質が比較的粗粒堆積物が優勢で採泥に適さない範囲が多いことから、沖側海域の SES-04 測線上の国縫沖断層近傍、および養殖施設に最も近い SES-00 測線の国縫沖背斜近傍を実施地点と決定した（図 52）。

コアリング作業は平成 22 年 11 月 22～24 日に実施した。

4. 2. 2 調査結果

(1) SES-04 測線のイベント年代決定

上記の 2 測線上で St.1～5 の 5 地点で計 6 本のコアを採取した（表 3）。採取したコアの長さは 1.92m～7.31m で全体的に泥を主体とした堆積物で、上部には軽石が多く含まれる。採取された柱状試料については、コア観察・記載、帯磁率測定、コアの半割作業、写真撮影、放射性炭素年代測定用試料（植物片、貝殻等）、火山灰分析用試料の採取を行った。放射性炭素年代測定は AMS 法を用い、株式会社地球科学研究所に依頼した。さらに、本海域でこれまでに採取された柱状採泥結果（村山ほか、1998）も地層の対比や年代推定に用いた。

2 測線のうち、南側の 04 測線の沖側の測位点 108 付近で実施した St.5 において、最大長となる 7.31m の柱状試料が採取された。堆積物の層相からは大きな堆積環境の変

化は認められず、現在と同様の内湾～半内湾泥底環境下にあったことが推定される。本地点のコア写真を図 53 に、柱状図と放射性炭素年代測定試料の採取位置を図 54 に示す。さらに放射性炭素年代測定値を表 4 に、高分解能音波探査記録断面とコア採取位置および年代測定値を重ねたものを図 55 に示す。St.5 で得られた年代値から線形回帰を行い算出された平均堆積速度は約 1.12mm/年となった。この値は、村山ほか (1998) により得られた噴火湾堆積物の平均堆積速度約 0.9mm/年よりやや大きいものの、回帰直線からの残差平方和はきわめて小さく、信頼度は高いと考えられる。なお、火山灰試料分析からは、堆積年代決定の参考となる結果は得られなかった。

図 55 において、最新イベント層準 a”にほぼ相当し、断層による変形を確実に被っていると思われる DF-3 面の St.5 での深度は海底下 7.9~8.0m となり、コア長はこの面までは到達していない。上記堆積速度より外挿した DF-3 面の堆積年代は 7,050 (yrBP) と外挿される。その上位でやや変形がみられる DF-2”面、およびさらにその上位で変形を被っていない DF-2’面の深度は海底下 7.0m と 6.3m で、堆積年代は内挿値からそれぞれ 6,250 (yrBP) と 5,630 (yrBP) と算出された。以上を根拠に本断層の最新イベント年代は、少なくとも 5,630 年より前で、約 6,000~7,000 年前であると判断される。なお、本測線上の St.3 および St.4 から採取された試料からは、さらに上位の DF-2 面近傍から 12,798 (yrBP) と 5,731 (yrBP) のより古い年代値が得られたが、これらの試料 (木片) が再堆積したものであると解釈することで説明できる。

さらに、より古い先行地震イベントの発生時期を推定するため、ブーマー D 測線記録と SES-04 測線記録を同縮尺で重ねた図面より、先行イベント層準 b”の上面に相当する反射面 DF-5 面の堆積年代算出を試みた。同反射面の St.5 付近での推定深度は海底下約 15m と見積もられ、上記堆積速度より算出された堆積年代は約 13,400 (yrBP) となり、先行する地震イベントの発生年代はこの面を構成する層の形成付近であったと考えられる。ブーマー記録から外挿した反射面の深度は、高分解能音波探査記録に比べて分解能が低く精度は落ちるものの、この値は 3. 4 (4) で堆積構造と海水準変動曲線より推定した、国縫沖断層の先行イベントの発生時期 (約 12,000~13,000 年前より後) と概ね一致する。

(2) SES-00 測線と SES-B、C 測線の堆積年代対応

養殖施設域内の SES-B および C 測線において、長万部沖断層に起因する沖積層内部の変形が確認されたが、この測線上では柱状採泥を実施できなかったため、B-1~5 面及び C-1~5 面の堆積年代を試料から直接決定することはできない。このため、より沖側海域で実施された高分解能音波探査の SES-00~08 測線記録断面に確認された反射面群と、SES-B および C 測線記録断面での反射面群を対応付けて堆積年代の推定を試みた。

図 56 及び図 57 にそれぞれ、SES-B 測線と SES-C 測線の記録断面を、沖側海域で最も養殖施設に近い北側に位置する SES-00 測線の記録断面に連続させたものを示す。両図とも、水平方向及び垂直方向の縮尺を一致させたうえで、養殖施設内の測線記録断面と沖側海域測線記録断面の海底面を重ねて連続させた。

SES-B 測線と 00 測線との連続図を検討すると、B-1、2、4、5 面はそれぞれ DF-2~5 面と概ね良い対応を示している。DF-3 面およびその直上の DF-2”面の堆積年

代はそれぞれ 7,050 yrBP、6,250 yrBP と算出されているため、SES-B 測線において最新の活動イベントに対応すると判断された層準の上面をなす B-2 面を、沖側海域測線で記録された反射面群中の DF-3 と同一反射面と見なした場合、長万部沖断層の最新活動イベントは国縫沖断層のそれと同様、約 6,000~7,000 年前とみられる。

SES-C 測線は記録断面がやや不明瞭ではあるが、それでも沖積層上部に関しては各反射面群と 00 測線の反射面とは B 測線と同様な対応を示し、C-2 面はやはり DF-3 面付近に対応づけられることから最新活動イベントの層準に大きな違いはみられない。先行イベント層準を含む、C-3 面より下層については B 測線の場合とくい違いがみられるものの、記録断面が不明瞭で反射面の追跡精度が劣るため、詳細な堆積年代に関しては判断できない。

4. 3 高分解能音波探査及び柱状採泥調査のまとめ

本調査の結果は、以下のようにまとめられる。

(1) 長万部沖活背斜の活動性

長万部市街地の沿岸に北北東-南南西方向の走向で、5km 程度にわたって追跡された長万部沖背斜に相当する地点で、海底下極浅部 3~5m 付近に反射面の顕著な盛り上がり確認された。これは長万部沖背斜が沖積層に変位・変形を及ぼしている活背斜であることを裏付けるものである。

(2) 長万部沖断層の活動時期と変位量

長万部沖背斜軸の 1~3km 東側に確認された長万部沖断層は、沖積層の基底及び沖積層中~下部に累積的な変位・変形を及ぼしており、SES-B 測線における高分解能音波探査の結果から少なくとも約 1 万 3 千年前の後氷期海進の開始以後、2 回の活動イベントが確認された。最新イベントに伴う上下変位量は 1~1.5m 程度と見積もられ、その活動時期は約 6,000~7,000 年前であると判断される。B-5 面に認められる撓みが先行イベントと最新イベントによるものとすれば、2 回のイベントによる累積変位量は 2~2.5m 程度となる。

(3) 国縫沖断層の活動時期と変位量

国縫沖断層は、SES-04 測線における高分解能音波探査記録断面に明瞭な沖積層内部の変形が確認され、柱状採泥試料による堆積年代からその活動イベントは約 6,000~7,000 年前と判断される。変形を被っている最上位の反射面の上下変位量は 1m 程度であり、その下位の反射面が音波散乱のため不明瞭なため、本調査結果からだけでは活動イベントの回数や上下変位量は不明である。しかしながら同測線のブーマー記録断面と比較することにより、後氷期海進以後に 2 回の活動イベントが発生し、1 回の活動に伴う上下変位量は 2m 程度になる可能性が高い。ブーマー記録から追跡した先行イベントを表す反射面の堆積年代は、求められた堆積速度から外挿して約 13,400 年前と見積もられ、堆積構造と海水準変動曲線より推定した国縫沖断層の先行イベントの発生時期（約 12,000~13,000 年前より後）と概ね一致する。

5. 精密海底地形調査

5. 1 調査海域および測線

ブーマー調査および高分解能音波探査の結果から、養殖施設内およびその沖側海域でそれぞれ沖積層内部にまで変形を及ぼしている断層が確認され、長万部市街地沿岸と国縫沖海域には活背斜構造の存在が明らかになった。高分解能音波探査の結果から、これらの断層による変形は海底面にまでは及んでいないことがわかった。しかし、陸上で確認された中の沢断層の延長部に相当する国縫前面海域での高分解能音波探査記録では、音波散乱によって表層部の堆積構造を明瞭に確認することができなかった。さらに、既存の海底地形図（たとえば、海上保安庁、2008）では、長万部から八雲にかけての噴火湾沿岸海域の海底地形は概ね平坦な地形が続いているものの、国縫前面海域においては等深線が凹凸して、局地的な海底地形の変化が認められる。このため、断層変位地形の存否を確認する目的で精密海底地形調査を実施した。

測線は海岸線と平行に、測線間隔を調査水深に応じて調査範囲内に計測空白域がないように設定した。なお、対象海域の沖側には養殖施設が設置され、また海岸線に沿った北側と南側はそれぞれ定置網が設置されているため、調査範囲は図 36 左 に示す約 3×1km の範囲に限られた。

5. 2 調査方法

(1) 使用機器

海底地形調査には、水深と海底反射強度の詳細な情報を面的に取得できるインターフェロメトリ測深機（英）GeoAcoustics 社製 GeoSwath Plus を使用した。

本装置は、舷側に固定した送受波器から左右両側に扇状に音波を発信し、海底からの反射音波の位相を受信することにより、平面的に高精度・高密度の水深値および反射強度を取得できる。測深データと同時に波浪などの影響による送受波器の動揺を測定し、測定水深値の補正を行なった。

調査時の船舶の測位には、Hemisphere 社製の D-GPS システムを使用した。

(2) 測定作業

本調査により観測・収録されたデータについて、水深データ処理により異常データ等の除去、水中音速補正、潮位補正等を実施し、基準面(T.P.(東京湾平均水面):地図標高)からの正確な水深データ群を作成した。潮位補正は調査海域近傍の室蘭港および森港の港湾局の既設験潮所データを用いて実施した。水深データ処理に係るグリット間隔は、詳細な海底地形の把握が可能な 1m 間隔とし、作成された水深格子データに基づいて、調査海域の詳細な海底地形図および鯨瞰図を出力し、地形判読を行った。

調査測定は平成 22 年 9 月 6 日～8 日にかけて 3 日間にわたって実施し、測線総延長は約 116.7km となった。

5. 3 調査結果

調査範囲の海底地形図（南側からみた鯨瞰図）、等深線図及び段彩図をそれぞれ図 58、59 に示す。

国縫前面海域の海底地形は、緩やかな傾斜の平坦面が発達し、水深は調査範囲の最も海岸寄りでは5m程度、沖合で12~13m程度である。海底面は沖合に向かって次第に傾斜を減じながら広がり、部分的なわずかな凹凸はみられるものの、断層変位を示唆するような連続的な変位・変形は認められなかった。したがって高分解能音波探査の結果と併せて、構造運動に起因した変形は本調査範囲の海底下浅部・海底面にまでは及んでいないものと考えられる。

6. まとめ

6. 1 背斜構造の形態・活動

(1) 背斜構造の位置・形状

ブーマー調査及び高分解能音波探査の結果、黒松内低地断層帯の南方延長に当たる内浦湾内の長万部市街地の沿岸から同町国縫の南東沖に、左雁行配列する長万部沖背斜、及び国縫沖背斜が発見された。これら2つの背斜はそれぞれ、後期更新世の海成段丘と沖積層に変位・変形を及ぼしていることから活背斜と判断される。

長万部沖背斜は、長万部の海岸付近から中の沢の沖出し約1kmにかけて確認された。その走向は陸上の長万部断層及び中の沢断層と平行に、南北から北北西-南南東方向である。本背斜の海域で確認された長さは約5kmとなるが、さらに北側へ、陸域の長万部川東岸の長万部背斜(奥村、1983)に連続する可能性がある。

国縫沖背斜は、国縫川河口付近を中心に沖出し約5~6km付近に確認された。走向は長万部沖背斜と同様に北北西-南南東方向で、長さは9~10kmとなる。本背斜は沖積層の形状や反射構造の特徴から、さらに北側のA測線にまで達している可能性があり、その場合の長さは約14kmと見積もられる。また、本調査海域の南側で実施された既往の音波探査記録の検討から、八雲町山崎の沖合まで国縫沖背斜が延びている可能性もあり、その場合推定される長さは20~21km程度となる。

(2) 活動性

長万部沖背斜の軸に相当する海底下極浅部3~5m付近には、反射面の顕著な盛り上がり確認され、同背斜が沖積層に変位・変形を及ぼしている活背斜であることを裏付けるものである。また、長万部市街地背後において後期更新世海成段丘が陸側へ傾動していることも、長万部沖背斜西翼の変形と考えると説明できる。音波探査より見積もられた長万部市街地付近における背斜西翼の傾動速度は、 $2\sim 3.5\times 10^{-4}$ /千年(Bクラスの活傾動)と推定される。

国縫沖背斜直上に分布する沖積層基底と同層下部は盛り上がるような変形を被り、沖積層の層厚は薄くなっていることから、完新世にも活動したと判断される。D測線における背斜西翼の傾動速度は、 $4\sim 5\times 10^{-4}$ /千年(Bクラスの活傾動)と推定される。

6. 2 断層帯の位置・形態

(1) 構成する断層の位置・形状

長万部沖背斜軸の約 3km 東側および国縫沖背斜の約 1~3km 東側の海域に、それぞれ 1 条の西側上がりの断層~撓曲が新たに確認され、前者を長万部沖断層、後者を国縫沖断層とする。これら 2 つの活断層は沖積層の基底及び沖積層中~下部に累積的な変位・変形を及ぼしており、約 1 万 3 千年前以後、繰り返し活動している活断層であることが判明した。

長万部沖断層はブーマー B、C 測線及び SES-B 測線で確認され、断層確認地点を結んだ走向は N33°E、その間の長さは約 1.4km である。

国縫沖断層はブーマー D、E、F の 3 測線および SES-04~06、F 測線で確認され、全体としてほぼ南北の走向、確認された長さは約 4.2km である。さらに国縫沖断層と背斜の間には、沖積層中~上部に東側上がりの逆方向の変形が SES-07 及び 08 測線で確認され、国縫沖断層の一部である可能性がある。そのほか、SES-00、02、03 測線においても沖積層内に変形がみられる箇所がいくつか存在するものの、断層としての連続性は判断できなかった。

以上の背斜構造・断層帯の位置を取りまとめたものを図 60 に示す。

6. 3 断層帯の過去の活動

(1) 累積変位量及び平均変位速度

長万部沖断層については、C 測線においては海進浸食面形成期(約 11,000~12,000 年前と推定される)以後の累積上下変位量は西上がり 4~5m、平均上下変位速度は 0.3~0.5m/千年と見積もられる。B 側線においては、より古いイベント層準である層準 b"の変位量が 2~2.5m 程度で、それより下位の沖積層下部の上下変位量も同程度であることから、累積上下変位量も 2~2.5m 程度と推定され C 側線より小さい値となる。

国縫沖断層については、活動性がより高い D 測線において、約 12,000~13,000 年前と推定される海進浸食面形成以後の累積上下変位量は、西上がりに最大 5~6m ないしこの値よりも小さい可能性がある。これから平均上下変位速度は 0.4~0.5m/千年ないしこれより小さい値と推定される。

(2) 活動時期及び平均活動間隔

長万部沖断層については、最新活動イベントの発生時期は最大海氾濫面に重なる約 6,000 年前の海進ピーク期頃かその直前と推定され、柱状採泥試料から求められた反射面の堆積年代からも最新イベントは約 6,000~7,000 年前である可能性が高い。さらに 1 つ前の活動イベントの発生時期は層序学的解釈から、海進が断層付近に及んだ約 11,000~12,000 年前頃より後と考えられ、これら 2 回の活動イベントの発生間隔は 5,000~6,000 年ないしこれより若干短いものと推定される。

国縫沖断層については、柱状採泥試料から得られた堆積年代から、5,630 年前以前、約 6,000~7,000 年前に 1 回の活動イベントが発生したと考えられ、この活動が国縫沖断層の最新活動イベントであった可能性が高い。また、音波探査記録断面からみて、海進侵食面形成以後にこれに先行する活動イベントが発生したとみられ、その発生時期は最終間氷期末期以後の海水準変動状況や堆積速度から約 12,000~13,000 年前頃より後と推定される。これら 2 回の活動イベントの発生間隔は、6,000~7,000 年ないしこ

れより短いものと推定される。

(3) 1回の活動に伴う変位量

長万部沖断層については、活動度がより高いC測線における最新活動イベントに伴う上下変位量は約2m、一つ前の活動に伴う上下変位量は2~3m程度と推定される。

国縫沖断層については、約6,000~7,000年前の活動イベントが最新イベントに相当する場合には、これに伴う上下変位量は約2mと見積もられる。一方、これより後に最新イベントが発生したと考えた場合には、最新イベントに伴う上下変位量が0.6~0.8m程度で、約6,000~7,000年前の活動イベントに伴う上下変位量が1.2~1.4m程度と推定されるものの、高分解能音波探査結果からみてその可能性は少ない。また、約12,000~13,000年前より後に起きた可能性がある先行イベントに伴う上下変位量は、最大3~4mと推定される。

6. 4 国縫沖断層の南方延長と八雲断層帯との関係

今回の調査の成果として、黒松内低地断層帯の南方延長と位置づけられる2つの活背斜と2条の活断層が新たに確認された。2条の海底断層の最新活動時期は上述のように、後氷期海進の中~後期(6,000~7,000年前)となり、陸域の最新活動(約5,000~6,000年前とされる)と同程度ないしやや前となる。認定された2回の活動の間隔は、大雑把に数千年~7,000年程度と推定され、陸域活断層に関する従来(3600~5000年程度以上)と同程度である。本成果から、これまで陸域の中の沢断層の末端とされてきた黒松内低地断層帯の南端は、本調査域南端で確認された国縫沖背斜の位置となり、それに伴い断層帯の長さはこれまでより約10km長くなって、約43km以上となる。また、既存音波探査の検討結果から、国縫沖背斜はさらに南方に延長する可能性が推定され、もしこれを黒松内低地断層帯に含めた場合には、断層帯の長さは約49km以上となる。

一方、八雲付近には、黒松内低地断層帯と同じく西傾斜の逆断層と考えられる八雲断層帯の存在が知られている(中田・今泉、2002など)。国縫沖背斜南方延長域は八雲断層帯の西6~7kmに位置し、3次元的な隔離距離が5km以下となる可能性があるため、八雲断層帯までを黒松内低地断層帯に含めた場合には、断層帯の長さは約55kmに達する可能性がある。

さらに南東方の森付近にも、陸域に西落ちの逆向き断層崖が知られており(寒川ほか、1984など)、沿岸部に西傾斜の逆断層が存在する可能性がある。ただし、八雲町以南の内浦湾沿岸は未だに活断層に関する情報が十分ではない。したがって黒松内低地断層帯の分布域・総延長を決定するためには今後少なくとも、八雲町以南の内浦湾沿岸域の活断層調査を行い、黒松内低地断層帯と八雲断層帯及び森付近の断層との関係を明らかにする必要がある。

7. その他の資料

- ・ 地元（都道府県、市町村）等への説明
 - 1) 2010年5月に北海道渡島支庁（現・渡島振興局）、長万部漁業協同組合への事前説明を実施した。
 - 2) 2010年10月および2011年3月に、北海道電力(株)に対して調査成果の概要説明を実施した。
 - 3) 2011年3月に、地元自治体（長万部、八雲）を対象に成果報告を予定していたものの、東日本大震災による被害が両漁協で大きく、延期せざるを得なかった。
- ・ マスコミ等の取材協力状況
特になし

調査担当：内田康人（北海道立総合研究機構 地質研究所）

杉山雄一・村上文敏（産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター）

文 献

- 荒戸裕之・高野 修 (1995) : 石油・天然ガスの探鉱におけるシーケンス層序学の意義. 地質学論集, 45, 43-60.
- 吾妻 崇・下川浩一・寒川 旭・杉山雄一・桑原拓一郎・奥村晃史・黒澤英樹・信岡大・三輪敦志 (2003) : 黒松内低地断層帯における断層活動履歴調査. 活断層・古地震研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 3, 315-362.
- 吾妻 崇・後藤秀昭・下川浩一・奥村晃史・寒川 旭・杉山雄一・町田 洋・黒澤英樹・信岡 大・三輪敦志 (2004) : 黒松内低地断層帯の最新活動時期と地下地質構造. 活断層・古地震研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 4, 45-64.
- 雁沢好博 (1992) : 西南北海道渡島半島の新第三系層序と古地理, 地理学論集, 37, 11-23.
- 北海道電力株式会社 (2000) : 添付書類六 変更に係る原子炉施設の場所に関する気象, 地盤, 水理, 地震, 社会環境等の状況に関する説明書. 377p. 泊発電所原子炉設置変更許可申請書 (3号原子炉の増設) .
- 北海道鉱業振興委員会 (1990) : 北海道の石油・天然ガス資源～ その探査と開発. (昭和52年～63年) .
- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編 (2002) : 「第四紀逆断層アトラス」. 東京大学出版会, 254p.
- 今泉俊文・渡島半島活断層グループ (1982) : 黒松内低地帯の活断層. 日本地理学会予稿集, 22, 98-99.
- 石田正夫 (1978) : 八雲地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1図幅), 地質調査所, 39p.
- 石田正夫 (1981) : 遊楽部岳地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1図幅), 地質調査所, 64p.
- 石田正夫 (1983) : 国縫地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1図幅), 地質調査所, 42p.
- 石田正夫・久保和也・広島俊男 (1983) : 20万分の1地質図「室蘭」, 地質調査所.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2005) : 黒松内低地断層帯の長期評価について. http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05apr_kuromatsu/index.htm
- 海上保安庁 (2008) : 航海用海図「内浦湾 (噴火湾)」, 1 : 150,000.
- 貝塚爽平・松田時彦・町田 洋・松田磐余・菊地隆男・丸田英明・山崎晴雄・村田明美 (1977) : 第3章 首都圏の活構造. 東京直下地震に関する調査研究 (その4) —活断層および地震活動状況等に関する考察—. 東京都防災会議, 165-220.
- 活断層研究会編 (1980) : 「日本の活断層—分布図と資料—」. 東京大学出版会, 363p.
- 活断層研究会編 (1991) : 「新編日本の活断層—分布図と資料—」. 東京大学出版会, 437p.
- 小疇 尚・野上道男・小野有五・平川一臣編 (2003) : 「日本の地形 2 北海道」. 東京大学出版会, 359p.
- 小池一之・町田 洋編 (2001) : 「日本の海成段丘アトラス」. 東京大学出版会, CD-ROM 3枚・付図2葉・122p.
- 久保和也・石田正夫・成田英吉 (1983) : 長万部地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1図幅), 地質調査所, 70p.
- 丸山修司・斎藤正雄・室住正義・小野寺公児・石橋嘉一 (1968) : I 鉱量調査. 北海道開発計画調査 鉱業開発計画調査 特定鉱床開発促進調査報告 噴火湾海底砂鉄鉱床, 北

海道開発庁, 1-51.

- Maruyama, T., Iemura, K., Azuma, T., Yoshioka, T., Sato, M. and Miyawaki, R. (2007): Paleoseismological evidence for non-characteristic behavior of surface rupture associated with the 2004 Mid-Niigata Prefecture earthquake, central Japan. *Tectonophysics*, 429, 45-60.
- 松田時彦 (1975) : 活断層から発生する地震の規模と周期について. 地震第2輯, 28, 269-283.
- 村山雅史・成田尚史・佐藤昌泰・中村俊夫 (1998) : 噴火湾コア(ST.30)の堆積年代とその意義, 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, 9, p228-235.
- 長尾 巧・佐々保雄 (1933) : 北海道南西部の新生代と最近の地史 (I) . 地質学雑誌, 40, 555-577.
- 中田 高・今泉俊文編 (2002) : 「活断層詳細デジタルマップ」. 東京大学出版会, DVD-ROM 2枚・付図1葉・60p.
- 能條 歩・長谷川四郎・岡田尚武・都郷義寛・鈴木明彦・松田敏孝 (1999) : 西南北海道瀬棚層の広域的岩相層序区分と生層序年代. 地質学雑誌, 105-5, 370-388.
- 奥村晃史 (1983) : 黒松内低地帯の活構造と地形発達. 日本地理学会予稿集, 23, 30-31.
- 大嶋和雄・井内美郎・村上文敏・松本英二・横田節哉・池田国昭・谷津良太郎・渡辺真治・木村 亨・山屋政美 (1979) : 噴火湾および周辺海域の堆積物. 昭和 53 年度公害特別研究報告集, 通産省工業技術院産業公害研究調整官, 60-3 - 60-51.
- Saito, Y. (1994): Shelf sequence and characteristic bounding surfaces in a wave-dominated setting: latest Pleistocene-Holocene examples from Northeast Japan. *Marine Geology*, 120, 105-127
- 酒井哲弥・斎藤文紀・増田富士雄 (1995) : シーケンス層序学入門. 地質学論集, 45, 1-14.
- 桜井 操・永野真男・長井俊夫・桂 忠彦・戸沢 実・池田 清 (1975) : 北海道南岸沖の海底地質. 水路部研究報告, 10, 1-37.
- 寒川 旭・衣笠善博・垣見俊弘・八木浩司・奥村晃史 (1982) : 渡島半島の海岸線に沿う逆向き断層崖について. 日本地理学会予稿集, 22, 100-101.
- 寒川 旭・衣笠善博・垣見俊弘 (1984) : 50 万分の 1 活構造図「札幌」, 地質調査所.
- Vail, P.R. (1987): Seismic stratigraphy interpretation procedure. In Bally, A.W., ed., *Atlas of seismic stratigraphy Part 1. Studies in Geol. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 27, 1-9.
- 八幡正弘・山岸宏光 (1986) : 島弧横断ルート No. 4(瀬棚-黒松内), 地質図・地質断面図及び同説明書, 北村信編, 新生代東北本州弧地質資料集.
- 山岸宏光 (1986) : 北海道におけるいくつかの活断層露頭. 活断層研究, 2, 19-28.
- 山岸宏光・木村 学 (1981) : 黒松内低地帯の活断層露頭. 地球科学, 35, 94-97.

図・表の説明文

- 図 1. 黒松内低地断層帯の位置と構成断層。地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2005)。
- 図 2. 黒松内低地断層帯南端部に認められる段丘面の内陸側への傾動。池田ほか編 (2002)。
- 図 3. 長万部付近における海成段丘面 (M1, M2, M3 面) の分布と反射法地震探査測線。矢印は段丘面の傾動方向を示す。OR-8 は深度 1005m のボーリング。基図は数値地図 25000「長万部」及び「渡島双葉」。吾妻ほか (2004)。
- 図 4. 長万部付近の深度変換反射断面 (下) と段丘面の投影断面 (上)。吾妻ほか (2004)。
- 図 5. ブーマー調査の対象海域と調査測線の配置。基図は 20 万分の 1 地質図「室蘭」(石田ほか, 1983)。
- 図 6. 調査船、振源 (ブーマー)、受振器 (ストリーマー) などの配置。
- 図 7. 調査により明らかにされた断層、背斜、撓曲などの分布。
- 図 8. 調査結果と陸域の活断層及び地質構造との関係。基図は 20 万分の 1 地質図「室蘭」(石田ほか, 1983)。
- 図 9. A 測線の反射断面。
- 図 10. A 測線の解釈断面。
- 図 11. B 測線の反射断面。
- 図 12. B 測線の解釈断面。
- 図 13. C 測線の反射断面。
- 図 14. C 測線の解釈断面。
- 図 15. D 測線の反射断面。
- 図 16. D 測線の解釈断面。
- 図 17. E 測線の反射断面。
- 図 18. E 測線の解釈断面。
- 図 19. F 測線の解釈断面。
- 図 20. G 測線の解釈断面。
- 図 21. S1~S6 測線と A 及び B 測線沿岸部の解釈断面。
- 図 22. S7~SC 測線と B、C 及び D 測線沿岸部の解釈断面。
- 図 23. 左：陸域及び海域の活構造と S5 測線及び既存陸上地震探査の測線。右：S5 測線の反射断面。
- 図 24. 長万部付近の海・陸統合反射断面。縦横比 (鉛直誇張) は 2 倍。測線位置は図 23 を参照。陸域の反射断面は吾妻ほか (2004) による。
- 図 25. 北海道開発庁が 1965 年度に実施したスパーカーによる音波探査の測線位置図。No. 7 及び No. 9 測線の赤で塗色した部分は図 26 の音波探査記録の位置を示す。丸山ほか (1968) に加筆。
- 図 26. 内浦湾西岸の音波探査記録。北海道開発庁が 1965 年度に実施したスパーカーによる音波探査のうち、測線 No. 7 と No. 9 の沖合部を示す。沖積層の基底を加筆。測線位置は図 25 を参照。
- 図 27. 海上保安庁水路部が 1972 年に実施したエアガンによる音波探査の測線位置図 (部分)。桜井ほか (1975) による。基図は 20 万分の 1 地質図「室蘭」(石田ほか, 1983)。
- 図 28. 八雲町山崎沖の音波探査記録。海上保安庁水路部が 1972 年に実施したエアガンに

よる音波探査の結果に加筆。測線位置は図 27 を参照。

- 図 29. 黒松内低地断層帯、八雲断層帯と長万部沖背斜、長万部沖断層、国縫沖背斜、国縫沖断層との位置関係。国縫沖背斜の南方延長部（背斜軸跡を破線で示した部分）については、図 25 と図 27 を参照。基図は 20 万分の 1 地質図「室蘭」(石田ほか, 1983)。
- 図 30. C 測線における長万部沖断層周辺の反射断面 (C1 測線/測位点 10~30 付近)。
- 図 31. B 測線における長万部沖断層周辺の反射断面 (B1 測線/測位点 25~45 付近)。
- 図 32. 日本近海における最終間氷期末期以後の海水準変動。Saito (1994) による。
- 図 33. D 測線における長万部沖断層周辺の反射断面 (D2 測線/測位点 40~21 付近)。
- 図 34. 高分解能音波探査の対象海域と測線配置 (再測含む)。黒線が高分解能音波探査測線、緑線はブーマー調査測線。

基図は 15 万分の 1 航海用海図第 W17 号「内浦湾 (噴火湾)」(海上保安庁)

- 図 35. 岸側海域北部での高分解能音波探査記録断面と長万部沖背斜の位置。
記録断面中の矢印は反射面の盛上りの最浅部を示す。
- 図 36. 左: 岸側海域における海底地形調査範囲。右: SES-31 及び 37 測線にみられる反射面の変形。
- 図 37. SES-B 測線の反射断面 (上) および解釈断面 (下)。
- 図 38. SES-B 測線の長万部沖断層付近の拡大図。
- 図 39. SES-B 測線とブーマー B 測線の断面比較。
- 図 40. SES-C 測線の反射断面 (上) および解釈断面 (下)。
- 図 41. SES-C 測線とブーマー C 測線の断面比較。
- 図 42. SES-04 測線の反射断面 (上) および解釈断面 (下)。
- 図 43. SES-F 測線の反射断面 (上) および解釈断面 (下)。
- 図 44. ブーマー記録断面 (D 測線) と SES 解釈断面 (04 測線) の重ね合わせ。
- 図 45. SES-00 測線の反射断面 (上) および解釈断面 (下)。
- 図 46. SES-02 測線の反射断面 (上) および解釈断面 (下)。
- 図 47. SES-03 測線の反射断面 (上) および解釈断面 (下)。
- 図 48. SES-05 測線の反射断面 (上) および解釈断面 (下)。
- 図 49. SES-07 測線の反射断面 (上) および解釈断面 (下)。
- 図 50. SES-08 測線の反射断面 (上) および解釈断面 (下)。
- 図 51. 高分解能音波探査から明らかになった撓曲の分布。

点線はブーマー調査で判明した長万部沖断層と国縫沖断層の位置。

- 図 52. 柱状採泥実施地点および国縫沖背斜、国縫沖断層の位置。
- 図 53. SP.5 (図中の◎印) で採取された柱状試料 (採泥長: 7.31m)。
- 図 54. St.5 柱状図 (抜粋) 及び年代試料採取位置。
- 図 55. SES-04 測線解釈断面、コア採取位置及び堆積年代。
- 図 56. SES-B 測線解釈断面と 00 測線解釈断面の比較。
- 図 57. SES-C 測線解釈断面と 00 測線解釈断面の比較。
- 図 58. 精密海底地形調査範囲と調査結果 (鯨観図)。
- 図 59. 精密海底地形調査結果 (等深線図および段彩図)。
- 図 60. 音波探査から明らかになった本調査範囲の撓曲・断層の分布。
実線はブーマー調査で判明した長万部断層と国縫沖断層の位置 (図 8 参照)、
点線は高分解能音波探査による国縫沖断層の位置。

- 表 1. ブーマー調査の測線数量。
- 表 2. 層序対比表。
- 表 3. 柱状採泥試料採取地点の座標、水深、及びコア長。
- 表 4 黒松内低地断層帯海域延長部における年代測定結果。