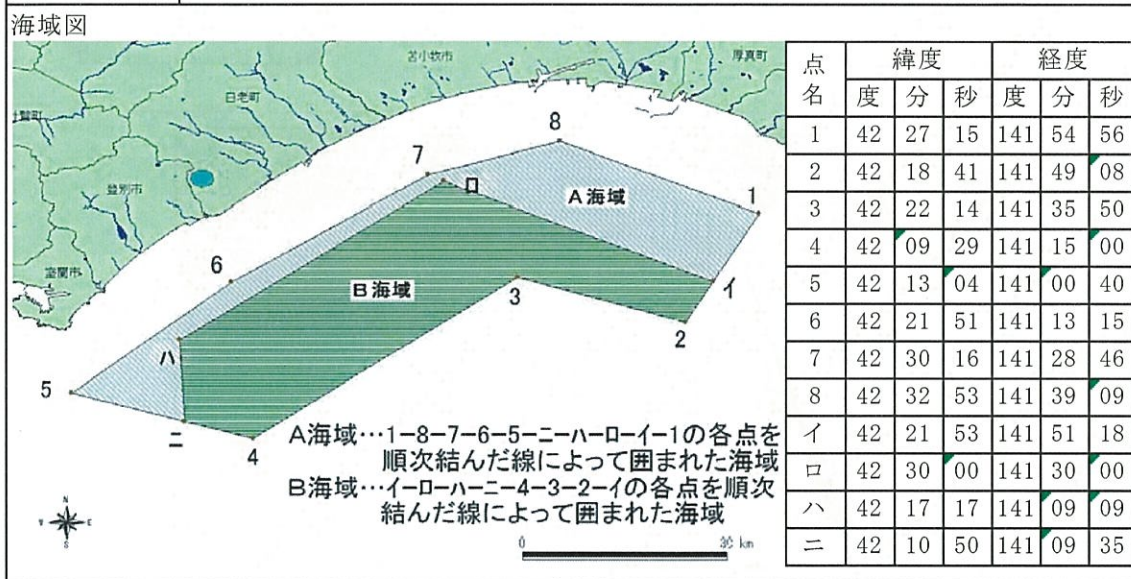


第3.4-15表 さくらます船釣りライセンス制に係る胆振海区漁業調整委員会指示の概要

1 制限期間	2013年12月15日～2014年3月15日	
2 承認	船舶毎の委員会承認	
	承認対象船舶：遊漁船・プレジャーボート（原則総トン数20トン未満）	
3 承認船の遵守事項	ライセンス海域	海域図参照
	釣獲時間	A海域 日の出から14:00まで B海域 日の出から正午まで
	その他	承認旗の掲揚・釣果報告の提出
4 乗船者の遵守事項	漁具及び漁法の制限	竿釣りに限定。なお、同時に使用できる竿数は1人1本（ただし、プレジャーボートに乗船して行う場合を除く）
	釣獲尾数制限	釣獲し、持することができるさくらますは1日1人10尾以内。
	その他	放流する場合を除く釣獲魚の廃棄の禁止 釣獲魚の販売等の禁止。 【ただし、全長20cm未満は採捕禁止】
5 指示に従わない者への措置	指示に従わない場合は、船舶承認の取り消し又は次回の承認を行わない等の措置をとる。	
6 協力金額	遊漁専業船	¥33,000.-
	遊漁兼業船	¥33,000.-
	プレジャーボート	¥7,000.-



【2013年12月現在】

資料：北海道胆振総合振興局ウェブサイト<sup>[1]</sup>

[1] 『胆振海区漁業調整委員会指示第2号』  
(<http://www.iburi.pref.hokkaido.lg.jp/ss/sis/kaiku/17sakura/sizi.htm>, 2014/10/17 アクセス)



⑤ 港湾区域および港域に関する情報

苫小牧市および厚真町には、「港湾法施行令」による国際拠点港、「港則法施行令」による特定港である苫小牧港がある。同港の港湾区域および港域に関する情報等について整理した。

なお、苫小牧市および厚真町には、「漁港漁場整備法施行令」における漁港は存在しない。

苫小牧港の情報は第 3.4-16 表、同港の概要は第 3.4-6 図、至近 5 年間（2008～2012 年）の入港船舶と船舶乗降人員の推移はそれぞれ第 3.4-17 表と第 3.4-18 表、至近 5 年間（2009～2013 年）の海上出入貨物の推移は第 3.4-19 表に示すとおりである。

第 3.4-16(1)表 苫小牧港の情報

項目	情報
港湾の種類	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 国際拠点港湾（港湾法，2011年 4月 1日指定） 1963年 4月 1日（重要港湾） 1981年 5月26日（特定重要港湾）</li> <li>・ 特定港（港則法，1967年）</li> <li>・ 外国貿易港（関税法，1966年）</li> <li>・ 検疫港（検疫法，1967年）</li> <li>・ 植物検疫港（植物防疫法，1972年）</li> <li>・ 指定検疫物（骨粉等）の輸入港（家畜伝染予防法，1992年）</li> <li>・ 指定検疫物（動物等）の輸入港（家畜伝染予防法，1993年）</li> <li>・ 指定検疫物（肉類）の輸入港（家畜伝染予防法，2005年）</li> </ul>
港湾法による港湾区域	<p>鹉川地区浜三角点（6.35m）（北緯42度35分07秒東経141度53分37秒）から264度52分1,200mの地点，同地点から200度25分5,000mの地点まで引いた線，同地点から280度42分30秒21,640mの地点まで引いた線，同地点から353度59分に引いた線及び陸岸により囲まれた海面（1974年12月25日認可）。</p>
港則法施行令による港域	<p>真小牧三角点（6.7m）（北緯42度37分52秒東経141度39分16秒）から263度5,410mの地点から174度5,000mの地点まで引いた線，同地点と苫小牧港東港東防波堤灯台（北緯42度34分49秒東経141度46分17秒）から120度30分7,840mの地点とを結んだ線，同地点から20度30分に引いた線及び陸岸により囲まれた海面。</p>

資料：国土交通省北海道開発局ウェブサイト<sup>[1],[2]</sup>

『港湾法施行令』（昭和 26 年 1 月 19 日政令第 4 号，最終改正：平成 25 年 11 月 29 日第 323 号）

『港則法施行令』（昭和 40 年 6 月 22 日政令第 219 号，最終改正：平成 25 年 8 月 13 日第 233 号）

『苫小牧港港湾区域』（昭和 50 年 1 月 4 日苫小牧港管理組合告示第 1 号）

[1] 『苫小牧港』（[http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z\\_kowan/bayport/profile/tomakomai.html](http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_kowan/bayport/profile/tomakomai.html)，2014/10/17 アクセス）

[2] 『港湾施設の現状』（[http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z\\_kowan/bayport/profile/tomakomai.html](http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_kowan/bayport/profile/tomakomai.html)，2014/10/17 アクセス）

第 3.4-16(2)表 苫小牧港の情報

項目	情報
概要	<p>勇払平野を掘り込んで築造された我が国最初の掘込式港湾である。港湾内は第1～4区の4港区に分かれている。第1～3区及び第4区西部を西港，第4区の東部を東港と称している。</p> <p>全道港湾貨物量の1/2，また，内航貨物の取扱量は全国1であり，近年外貨コンテナの増加が著しい。苫小牧港は，北海道における大規模工業地帯として，また，流通拠点としても整備が進められている。</p> <p>港内の波浪は，年間を通して南向きの頻度が高い。</p>
気象	この地方の気候は道内では比較的温和で，降雪期間も短い。
潮汐	大潮期の潮差の平均は0.9m，小潮期の潮差の平均は0.3mである。
潮流	流速は，港内外ともに弱く，最大0.3kn程度であるが，港内と港外では流況を異にする。
障害物	苫小牧港西防波堤灯台の南西方約1海里に水中障害物（42° 36.8' N 141° 36.1' E，コンクリート塊）がある。また，シーバースの周辺にも多数の水中障害物がある。
旧土砂捨場	苫小牧港西防波堤灯台の南西方約3.6海里付近海域にある。
架空線	中央北ふ頭4号岸壁の東側から水路を横断する架空線（高さ55m）がある。
針路法	<p>室蘭方面から来る場合には，白老港から苫小牧灯台付近までの距離約1～2海里の漁網に注意を要する。出入港に際して，東防波堤の西方の水路は幅約300m，水深約14mで，2灯浮標で示されているが，水路を外れると急に浅くなるがあるので注意を要する。なお，防波堤入り口付近で南～南南西方からの風波が大きいときには，特に注意を要する。</p> <p>東港に入港する場合，掘下げ水路（水深14～17.5m）の中央を示す導標（2標一線059°）および，北海道石油共同備蓄棧橋への水路を示す導標（2標一線082.7°）ならびに中央ふ頭への水路を示す導標（2標一線012°）が設置されているので，入港に際しては，これらを利用するとよい。</p>
入港上の注意	<p>苫小牧港は，旅客および貨物フェリーのほか，内航定期船等が多数就航しており，西港区においては，総トン数500トン以上の船舶に対し管制信号を行っている。早朝および夕方には出入港船が集中する傾向にあり，対象船舶以外であっても錨泊，入港，出航前に信号所に通報することを指導している。</p> <p>特に春先から夏にかけては濃霧の発生が多く，全ての船舶は，苫小牧海上交通安全協議会の合意事項により通報を行うこととなっている。</p>
通信	<p>船舶と港長との間で，「ほっかいどうほあん」を介し無線電話による港務通信ができる。</p> <p>呼出名称：ほっかいどうほあん HOKKAIDO COAST GUARD RADIO 周波数：16/12ch 運用時間：常時 連絡先：苫小牧海上保安署</p>
水先	苫小牧水先区水先人会に要請する。

資料：『北海道沿岸水路誌』（海上保安庁，2008年）  
『北海道沿岸水路誌 追補第5』（海上保安庁，2013年）

第 3.4-16(3)表 苫小牧港の情報

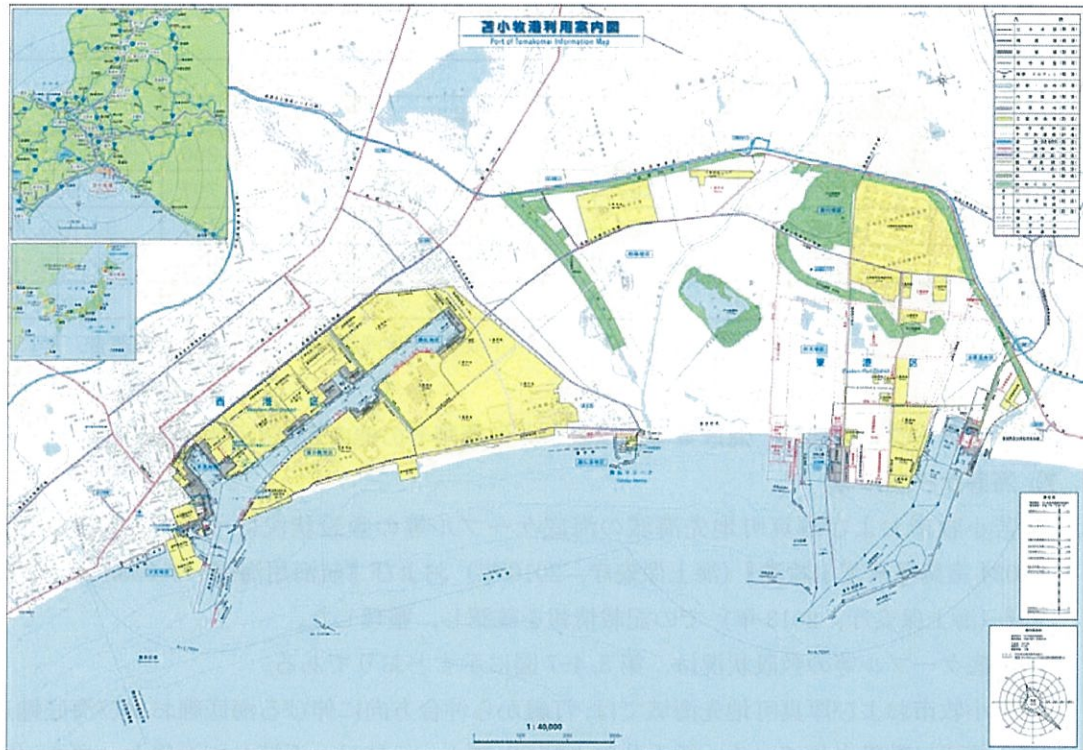
項目	情報		
港 則	港則法施行規則第11条の規定による針路の表示		
	目的地に関する記号	信号	信文
	C	2代・C	第1区の開発フェリーふ頭から中央北ふ頭1号東岸壁に至る間の係留施設に向かって航行する。
	N	2代・N	第1区の木材ドルフィン2号から丸一鋼管岸壁に至る間の係留施設に向かって航行する。
	E	2代・E	第1区の勇払ふ頭から中央南ふ頭西岸壁に至る間の係留施設に向かって航行する。
	S	2代・S	第1区のホクレン用栈橋から苫小牧ふ頭に至る間の係留施設に向かって航行する。
	2E	2代・2・E	第2区の入船ふ頭から北ふ頭に至る間の係留施設に向かって航行する。
	2W	2代・2・W	第2区の西ふ頭又は南ふ頭の係留施設に向かって航行する。
信 号	苫小牧信号所 (42° 37.8' N 141° 37.4' E) および勇払信号所 (42° 38.9' N 141° 40.3' E) で、次表のとおり航行管制信号を行っている。		
	水路名	信号の方法	信号の意味
	苫小牧水路 (中央北ふ頭1号東岸壁東端から中央南ふ頭西岸壁西端まで引いた線以西の第1区および第2区)	Iの文字の点滅	入港船は、入港可 500t以上の出航船は、運転を停止して待機 500t未満の出航船は、出港可
		0の文字の点滅	出港船は、出港可 500t以上の入港船は、水路外において出航船の進路を避けて待機 500t未満の入港船は、入港可
		Fの文字の点滅	500t以上の入港船は、水路外において出港船の進路を避けて待機 500t以上の出航船は、運転を停止して待機 500t未満の入出航船は、入出港可
		Xの文字の点灯	港長の指示船以外は、入出航禁止
	勇払水路 (苫小牧水路を除いた第1区)	Iの文字の点滅	入港船は、入港可 500t以上の出航船は、運転を停止して待機 500t未満の出航船は、出港可
		0の文字の点滅	出港船は、出港可 500t以上の入港船は、運行を停止して待機 500t未満の入港船は、入港可
		Fの文字の点滅	500t以上の入港船は、運行を停止して待機 500t未満の入出航船は、入出港可
		Xの文字の点灯	港長の指示船以外は、入出航禁止

資料：『北海道沿岸水路誌』（海上保安庁，2008年）  
『北海道沿岸水路誌 追補第5』（海上保安庁，2013年）

第 3.4-16(4)表 苫小牧港の情報

項目	情報	
航泊制限	港内において、石油類の引火による事故防止のため、一般船舶は港内に停泊中の引火性危険物積載タンカー（タンク船を含む。）から30m以内の海面に立ち入ることが禁止されている。	
錨泊制限	第1区及び第2区においては、係留施設に係留する船舶以外の船舶の錨泊が制限されている。	
錨泊上の注意 および 避難勧告	錨泊は、第3区の検疫錨地付近と第4区シーバース付近が主な錨地となっている。また、南寄りの風にあつては、東港中防波堤の北側が唯一波浪を防げる錨地となっているが、いずれも走錨しやすく、南寄りの強風時、走錨による乗揚げ事故が発生している。このため、苫小牧海上保安署では、南寄りの風が風速15m/s以上に達したとき（達すると予想される場合も含む。）には、「走錨注意情報」（ほっかいどうほあんから16chで周知）を公表するとともに、港長から苫小牧港及び周辺海域に錨泊する船舶に対して抜錨のうえ避難するよう勧告を行っている。	
錨地	底質は主に砂、軽石等で錨かきは悪く、南寄りの風波が大きいときには走錨のおそれがあり、錨泊には適さない。 検疫錨地は第3区の港界付近（42° 36.4' N 141° 36.0' E）にあり、危険物積載船は第4区に錨泊しなければならない。	
海事関係 官公署	苫小牧海上保安署（港長）	0144-33-0118
	室蘭運輸支局苫小牧海事事務所	0144-32-5901
	苫小牧税関支署	0144-34-1953
	小樽検疫所 苫小牧出張所	（千歳空港検疫所支所 0144-32-2848へ連絡）
	植物防疫所室蘭・苫小牧出張所	0144-33-2913
	入国管理局苫小牧分室	0144-32-9012
	苫小牧港管理組合	0144-34-5551
医療施設	苫小牧市立総合病院 TEL 0144-33-3131	
海上交通	八戸港，秋田船川港（秋田区），仙台塩釜港（仙台区），新潟港，敦賀港，大洗港及び名古屋港との間にカーフェリー便がある。	

資料：『北海道沿岸水路誌』（海上保安庁，2008年）  
『北海道沿岸水路誌 追補第5』（海上保安庁，2013年）



資料：『苦小牧港パンフレット』（苦小牧港管理組合，2012年）

第3.4-6図 苦小牧港の概要

第3.4-17表 苦小牧港における入港船舶の推移

(単位：隻，トン)

年次	外航商船		内航商船		漁船・避難船 及びその他船舶		計	
	隻数	総トン数	隻数	総トン数	隻数	総トン数	隻数	総トン数
2008年	989	16,030,968	10,063	61,074,115	3,292	119,008	14,344	77,224,091
2009年	996	14,668,766	9,308	58,565,683	3,232	62,487	13,536	73,296,936
2010年	1,031	14,510,457	9,395	59,304,230	3,213	60,509	13,639	73,875,196
2011年	1,055	16,065,107	9,548	59,965,693	3,242	255,068	13,845	76,285,868
2012年	977	15,667,640	9,700	63,384,938	3,094	98,615	13,771	79,151,193

資料：『苦小牧港統計年報（平成24年港湾統計）』（苦小牧港管理組合，2013年）

第3.4-18表 苦小牧港における船舶乗降人員の推移

(単位：人)

年次	外国航路		内国航路		合計		
	乗込人員	上陸人員	乗込人員	上陸人員	乗込人員	上陸人員	計
2008年	-	-	440,366	427,674	440,366	427,674	868,040
2009年	-	-	435,238	418,338	435,238	418,338	853,576
2010年	93	93	423,079	408,786	423,172	408,879	832,051
2011年	-	-	409,922	394,108	409,922	394,108	804,030
2012年	-	-	456,070	440,121	456,070	440,121	896,191

資料：『苦小牧港統計年報（平成24年港湾統計）』（苦小牧港管理組合，2013年）

第 3.4-19 表 苫小牧港における海上出入貨物の推移

(単位：トン)

年次	外国貿易		内国貿易		総計
	輸出	輸入	移出	移入	
2009年	1,036,215	18,009,639	41,263,931	41,983,260	102,293,045
2010年	1,013,944	14,764,415	38,539,559	39,734,797	94,052,715
2011年	1,035,227	14,724,642	38,905,651	40,009,567	94,675,087
2012年	1,027,886	16,733,889	39,430,470	39,265,994	96,458,239
2013年	871,763	16,090,243	40,846,357	41,599,126	99,407,489

資料：『苫小牧港統計年報（平成 24 年港湾統計）』（苫小牧港管理組合，2013 年）

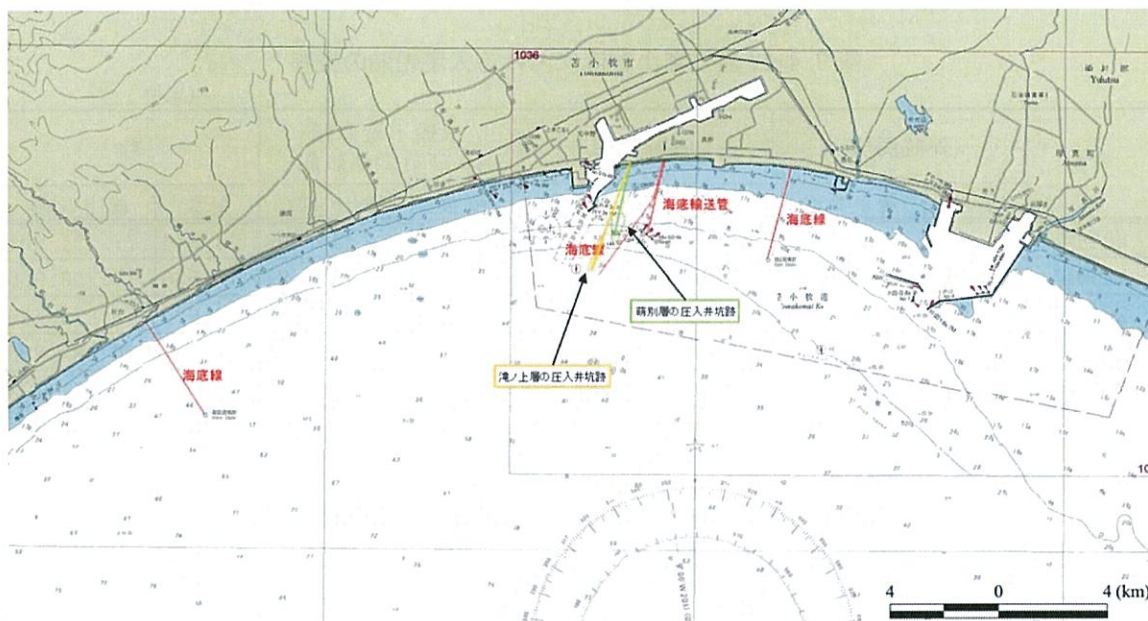
⑥ 海底ケーブルの敷設、海底資源の探査または掘削その他の海底の利用状況

ア) 海底ケーブル等

苫小牧市および厚真町地先海域の海底ケーブル等の敷設状況について、『航海用海図 W1034 室蘭港至苫小牧港』（海上保安庁，2010 年）および『航海用海図 W1033A 苫小牧港西部』（海上保安庁，2013 年）での記載情報を確認し，整理した。

海底ケーブル等の敷設状況は，第 3.4-7 図に示すとおりである。

苫小牧市および厚真町地先海域では，汀線から沖合方向に伸びる海底線および海底輸送管が 4 箇所敷設されている。圧入井および CO<sub>2</sub> プルームには，近接して海底ケーブル（図中では海底線）および海底油送管が認められる。



資料：『航海用海図 W1034 室蘭港至苫小牧港』（海上保安庁，2010 年）  
『航海用海図 W1033A 苫小牧港西部』（海上保安庁，2013 年）

第 3.4-7 図 海底ケーブル等の敷設状況と圧入井および CO<sub>2</sub> プルームとの位置関係



## イ) 海底資源

海底資源として、海底鉱物資源である海底熱水鉱床、コバルトリッチクラスト、マンガン団塊のほか、メタンハイドレート、石油・天然ガスが該当する。これら海底資源の分布状況を整理し、苫小牧市および厚真町地先海域での海底資源の有無を確認した。

世界の海底鉱物資源の分布状況は第 3.4-8 図、日本周辺海域におけるメタンハイドレートの存在の指標となる海底擬似反射面 (Bottom Simulating Reflector ; BSR) の分布状況は第 3.4-9 図、石油・天然ガス賦存ポテンシャルの高いエリアは第 3.4-10 図に示すとおりである。

苫小牧市および厚真町地先海域は、海底鉱物資源やメタンハイドレートの分布は確認されていないものの、石油・天然ガス賦存ポテンシャルの高いエリアに該当しており、当該海域には、民間会社により試掘権が設定されている。ただし、当該区域において、現時点で公開されている開発計画はない。

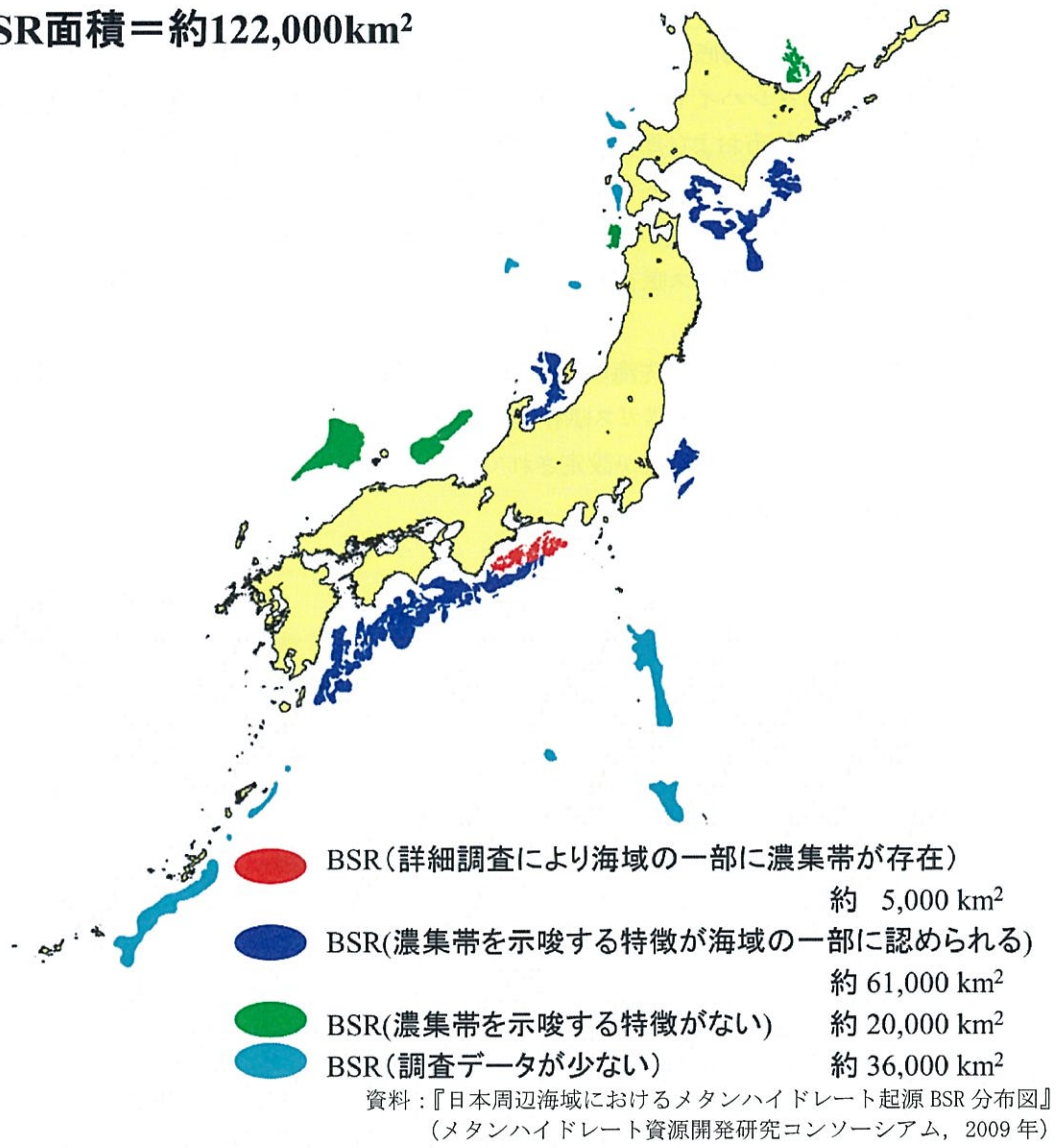


資料：独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構ウェブサイト<sup>[1]</sup>

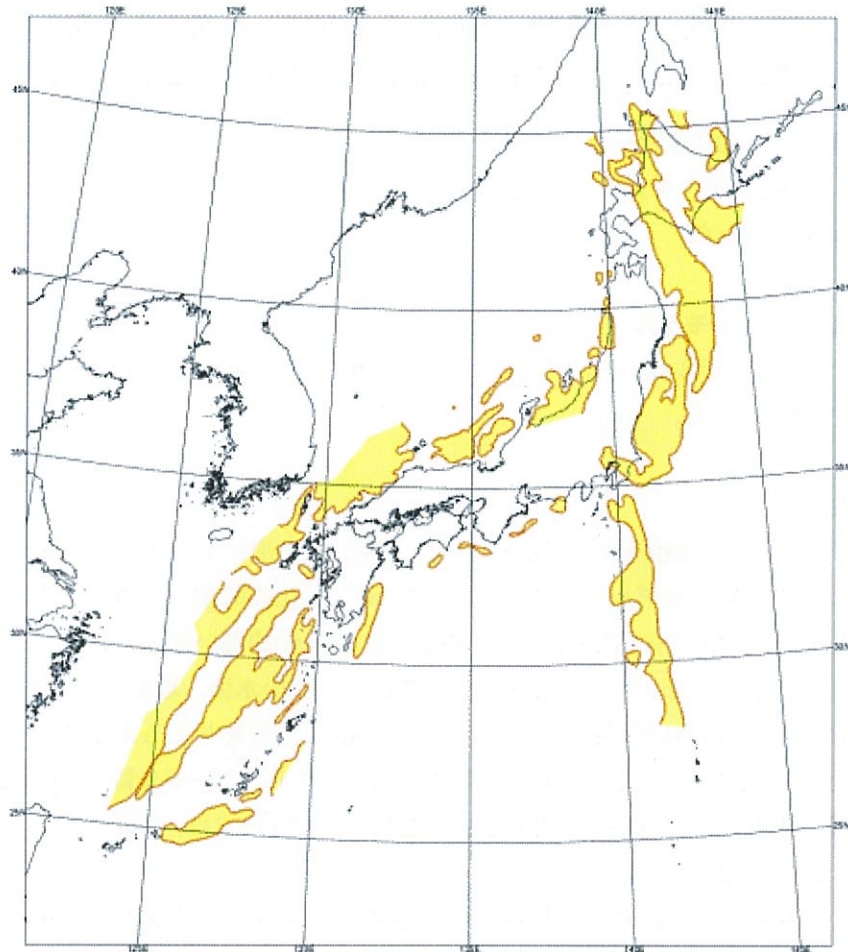
第 3.4-8 図 世界の海底鉱物資源の分布状況

<sup>[1]</sup> 『深海底鉱物資源の世界分布』 ([http://www.jogmec.go.jp/library/contents9\\_01.html](http://www.jogmec.go.jp/library/contents9_01.html), 2014/10/17 アクセス)

BSR面積=約122,000km<sup>2</sup>



第 3.4-9 図 日本周辺海域におけるメタンハイドレート起源 BSR 分布状況



資料：『海洋エネルギー・鉱物資源開発計画』（経済産業省，2013年）

第 3.4-10 図 日本周辺海域における石油・天然ガス賦存ポテンシャルの高いエリア（堆積量 2,000m 以上の堆積盆）

#### 4. 当該特定二酸化炭素ガスが海洋に漏出したと仮定した場合に予測される潜在的海洋環境影響項目に係る変化の程度及び当該変化の及ぶ範囲並びにその予測の方法

##### 4.1 海洋環境の化学的な変化の予測の方法

MEC-CO<sub>2</sub>二相流モデルを基にして、苫小牧沖を領域とするモデルを構築し、CO<sub>2</sub>海中拡散シミュレーションを行った。

##### (1) シミュレーションモデル

MEC-CO<sub>2</sub>二相流モデルは、MECモデルにCO<sub>2</sub>二相流モデルが結合されたCO<sub>2</sub>海中拡散シミュレーションモデルである。

##### ① MECモデル

MECモデルは日本船舶海洋工学会海洋環境研究委員会海洋モデル検討専門委員会によって開発された海洋循環モデルであり<sup>[1]</sup>、沿岸域や湾など比較的狭い海域のシミュレーションを目的としたf平面モデルである。また、時間的にも比較的短い期間のシミュレーションを想定している。このため、側面開境界に与える境界条件の水温、塩分データや流速データは、時間的に一定値、あるいは潮汐を想定した一定の振動成分を与えるようになっている。また、海面に与える気象データも、運動量のための風速ベクトルデータを除き、時間的にも空間的にも一定値を与えるようになっている。風速ベクトルデータは、空間的には一定値だが、時間的には変動可能である。

MECモデルは、静水圧モデルとFull-3D（非静水圧）モデルの結合モデルである。モデル領域の大部分は静水圧モデルで計算し、鉛直流が大きく静水圧近似が成り立たない部分を高解像度のFull-3Dモデルで計算することができる。静水圧モデルのセルサイズ（ $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ ）は空間的に変えることができる。Full-3Dモデルは静水圧モデルのxy平面上の1セルにはめ込むことができるようになっている。Full-3Dモデルのセルは、静水圧モデルの1セルを任意のセル数に均等に分割して作るため、 $\Delta x$ ,  $\Delta y$ は一定である。

水平渦動粘性係数、水平渦動拡散係数は、Richardsonの4/3乗則に従い、セル幅の関数として決まる。鉛直渦動粘性係数、鉛直渦動拡散係数は成層化関数に従って決定される。

海面の熱フラックス（ $Q_T$ ）は、短波放射（ $Q_r$ ）、長波放射（ $Q_b$ ）、顕熱フラックス（ $Q_h$ ）、潜熱フラックス（ $Q_e$ ）により、

$$Q_T = Q_r - (Q_b + Q_h + Q_e)$$

と与えられる。顕熱、潜熱はバルク式で計算される。淡水フラックス（ $Q_s$ ）は、海面塩分（ $S_s$ ）、大気密度（ $\rho_a$ ）、飽和蒸気圧（ $q_s$ ）、比湿（ $q_a$ ）、風速（ $W$ ）、降水量（ $P_r$ ）により、

$$Q_s = S_s \{ \rho_a C_E (q_s - q_a) W - P_r \}$$

<sup>[1]</sup> 日本造船学会海洋環境研究委員会，“MEC Ocean Model オペレーションマニュアル Version 1.1”，（2003）

と与えられる。 $C_E$ は蒸発係数である。淡水フラックスの計算に用いる風速 ( $W$ ) は、運動量フラックスのための風速データとは独立に与える。

モデル開境界の水位の境界条件として、潮汐の調和定数を与えることでモデル領域内に潮汐を再現させることができる。また、河川からの淡水流入の効果も組み込むことができる。

## ② CO<sub>2</sub>二相流モデル

MEC-CO<sub>2</sub>二相流モデルは、MECモデルのFull-3Dモデル部分にCO<sub>2</sub>二相流モデルを組み込んだものである<sup>[1]</sup>。CO<sub>2</sub>二相流モデルでは、CO<sub>2</sub>は非溶存態（気相）と溶存態の二相で計算され、非溶存態CO<sub>2</sub>から溶存態CO<sub>2</sub>への変換（溶解）も計算される。気泡CO<sub>2</sub>の溶解しやすさや気泡が上昇するときに受ける抵抗は、気泡の大きさや形状によって変わるため、このモデルでは、気泡の体積により形状効果が組み込まれている。気泡が受ける抵抗は、

$$\bar{f}_D = \frac{1}{2} C_D \frac{3}{2d_e} \rho_c |\bar{u}_d - \bar{u}_c| (\bar{u}_d - \bar{u}_c), \quad \text{気泡の溶解率は } \Gamma = \pi d_e^2 k (C_I - C_{cell}) \text{ で表される。}$$

ここで、 $C_D$ は抵抗係数、 $d_e$ は気泡の直径（気泡が球形ではない場合は、同じ体積の球の

直径）、 $\rho_c$ は海水密度、 $\bar{u}_d$ 、 $\bar{u}_c$ はそれぞれ海水、気泡の速度、 $k$ は溶解係数、 $C_I$ 、 $C_{cell}$ はそれぞれ気泡表面CO<sub>2</sub>濃度と気泡が存在するセルの溶存態CO<sub>2</sub>の濃度である。抵抗係数と溶解係数が気泡の大きさによって次のように定式化されている。

気泡体積が  $5 \times 10^{-10} \text{m}^3$  以下の場合には、球モデルが適用される。

$$C_D = 24(1 + 0.15Rn^{0.687}),$$

$$k = Dd_e^{-1}(2 + 0.6Rn^{1/2}Sc^{1/3})$$

気泡体積が  $5 \times 10^{-10} \text{m}^3$  以上、 $3 \times 10^{-6} \text{m}^3$  以下の場合には、楕円体モデルが適用される。

$$C_D = 48Rn^{-1}G(\chi)(1 + H(\chi)Rn^{-1/2}),$$

$$G(\chi) = \frac{1}{3} \chi^{3/4} (\chi^2 - 1)^{3/2} [(\chi^2 - 1)^{1/2} - (2 - \chi^2)Se^{-1}(\chi)] [\chi^2 Se^{-1}(\chi) - (\chi^2 - 1)^{1/2}]^{-2},$$

$$\chi = 1 + 0.163E_0^{0.757},$$

$$E_0 = gd_e^2 s^{-1} \Delta\rho,$$

$$k = Dd_e^{-1}(2 + 0.6Rn^{1/2}Sc^{1/3})\chi^{1/6} [2\chi^{1/3}(\chi^2 - 1)^{1/2}] [\chi(\chi^2 - 1)^{1/2} + \log(\chi + (\chi^2 - 1)^{1/2})]^{-1}$$

気泡体積が  $3 \times 10^{-6} \text{m}^3$  以上の場合には冠球キャップモデルが適用される。

<sup>[1]</sup> Kano, Y., T. Sato, J. Kita, S. Hirabayashi, S. Tabeta, 2010. Multi-scale modeling of CO<sub>2</sub> dispersion leaked from seafloor off the Japanese coast. Marine Pollution Bulletin, 60, pp.215-224.

$$C_D = \frac{8}{3} E_0 (E_0 + 4)^{-1},$$

$$k = [(kA)_F A_e^{-1} + (kA)_R A_e^{-1}] \dots (Rn > 110)$$

$$(kA)_F A_e^{-1} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (|\bar{u}_d - \bar{u}_c| D d_e^{-1})^{1/2}$$

$$(kA)_R A_e^{-1} = \left( \frac{Sr \sin^3 \theta_w}{\pi f(\theta_w)} \right) (|\bar{u}_d - \bar{u}_c| D d_e^{-1})^{1/2}$$

$$f(\theta_w) = 2 - 3 \cos \theta_w + \cos^3 \theta_w$$

$$\theta_w = 50 + 190 \exp(-0.62 Rn^{0.4})$$

$$Sr = 0.1 C_D^{4.71} \dots (C_D \leq 2), \quad 6.13 \times 10^{-3} C_D^{4.71} \dots (C_D > 2),$$

$$k = (kA)_F A_e^{-1} [1 + (1 + V_F V_R^{-1})^{-1/2}] \dots (Rn \leq 110)$$

$$(kA)_F A_e^{-1} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (1 + V_R V_F^{-1}) (|\bar{u}_d - \bar{u}_c| D d_e^{-1})^{1/2}$$

上記式中の  $Se$  は secant 関数,  $Rn$  はレイノルズ数,  $Sc$  はシュミット数,  $E_0$  はエトベス数,  $S$  は気泡表面の表面張力,  $g$  は重力加速度,  $D$  は分子拡散係数である。エトベス数中の  $\Delta\rho$  は気泡と海水の密度差である。また,  $H(\chi)$  は Moore (1965)<sup>[1]</sup> の表を参照している。下付添

字  $F$ ,  $R$  は冠球キャップの前方部, 後方部を意味しており,  $V_R V_F^{-1}$  は 0.2 とした。

なお, MEC- $CO_2$  二相流モデルでは海水に溶けた後の  $CO_2$  の解離は考慮していない。したがって,  $CO_2$  を気相と溶存態の 2 つにしか区別していない。ここで溶存態  $CO_2$ , あるいは溶存  $CO_2$  と表現しているものは, 全炭酸 ( $TCO_2$ ) のことである。

## (2) 苫小牧沖海中拡散シミュレーションモデル

### ① モデル領域

日高湾のおよそ北緯 42.4 度以北を静水圧モデル領域とし (第 2.1-1 図), 解像度 ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ) を  $1\text{km} \times 1\text{km}$  とした。  $x$ ,  $y$  はそれぞれ東西, 南北の座標である。ただし,  $CO_2$  二相流モデルが結合された Full-3D モデルで計算する領域が  $2\text{km} \times 2\text{km}$  になるように, そのセルが含まれる  $x$ ,  $y$  のみ,  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  をともに  $2\text{km}$  にした。地形 (水深) データは JODC の  $500\text{m}$  メッシュ水深データを用い, モデルセル内に存在するデータを平均してモデル地形を作成した。 Full-3D モデル領域は  $2\text{km} \times 2\text{km}$  の領域を  $80$  セル  $\times$   $80$  セルに分割した。したがって, Full-3D モデルの解像度は  $25\text{m} \times 25\text{m}$  である。鉛直方向の解像度 ( $\Delta z$ ) は深度  $24\text{m}$  までは  $2\text{m}$  とし, それ以深は  $\Delta z$  を徐々に大きくした。 Full-3D モデルをはめ込むセルの水深は  $20\text{m}$  で, Full-3D モデル領域は全層に渡って  $\Delta z$  が  $2\text{m}$  である。

[1] Moore, D. W., 1965. The velocity of rise of distorted gas bubbles in a liquid of small viscosity. Journal of Fluid Mechanics, 23, pp. 749-766.

## ② 境界条件データ

モデルの海面境界条件データとして与える気象データ（全天日射量，雲量，降水量，蒸気圧，風速，気温）は，気象庁ウェブサイト掲載の観測値（月平均値）を用いた。このうち，降水量，蒸気圧，風速，気温は苫小牧の観測値を用い，全天日射量，雲量は苫小牧の観測値がなかったため室蘭の観測値を用いた。運動量計算用の風速ベクトルデータは，一般財団法人気象業務支援センターのアメダス 10 分値データの苫小牧のデータを用いた。気象データはシミュレーションケースごとに一定値を用い，風速ベクトルデータは 1 か月分のデータを繰り返し用いた。

モデル領域南境界（開境界）では放射境界条件を用い，水温，塩分，水位，流速を与えた。水温，塩分については，JODC の水温統計，塩分統計の北緯 42～43 度，東経 141～142 度の値をベースにしてチューニングを行った。

Rosa et al. (2009)<sup>[1]</sup>によると日高湾は津軽暖流や親潮が流れ込む湾で，その流路や流量は季節によって変わる。日高湾の沿岸では，冬季は季節風によって作られる時計回りの流れが，少し沖側には親潮由来の反時計回りの流れが卓越し，夏季は津軽暖流の支流により反時計回りの流れが卓越する。そこで，これらの流れの効果を模するため，Rosa et al. (2009)<sup>[1]</sup>の結果を参考にして，冬季は西端陸棚域に 0.03m/s，東側斜面域に 0.1m/s の北上流を，夏季は東端陸棚域に 0.075m/s の北上流をそれぞれ南境界の境界条件として与えた。

潮汐による水位変動については，日本近海の潮汐モデルである nao99b モデル<sup>[2]</sup>の結果を用いた。nao99b で求められた主要 16 分潮の調和定数を空間的に線形内挿して，モデル領域南境界の各格子に与えた。

河川は，モデル領域内で比較的大きい沙流川，鶴川，安平川，厚真川，敷生川の 5 河川を考慮した。河川流量は，国土交通省水文水質データベースおよび北海道建設部河川課のウェブサイトを参考にして与えた。

また，苫東厚真火力発電所の温排水の効果として，同発電所のセルに周囲より 7°C 高い流量 70m<sup>3</sup>/s の温水によって水温が変化する効果を与えた。

## ③ シミュレーションに用いたコンピュータ

シミュレーションは北海道大学情報基盤センターのスーパーコンピューター（HITACHI SR16000 モデル M1）で行った。

### (3) 静水圧モデル単体での計算

MEC モデルは，静水圧モデルの 1 つのセルを Full-3D モデルで計算することができるモデルであるが，静水圧モデル単独で計算することもできる。ここでは，CO<sub>2</sub> 漏出シミュレーションのスピニングアップのためおよびモデルの再現性の検証のために，静水圧モデル単体での計算を

[1] Rosa A.L., Isoda, Y., Kobayashi, N., 2009. Seasonal variations of shelf circulation in Hidaka Bay, Hokkaido, Japan, with an interpretation of the migration route of juvenile walleye Pollock. *Journal of Oceanography*, 65, pp.615-626.

[2] Matsumoto, K., Takanezawa, T., Ooe, M., 2000. Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan. *Journal of Oceanography*, 56, pp.567-581.

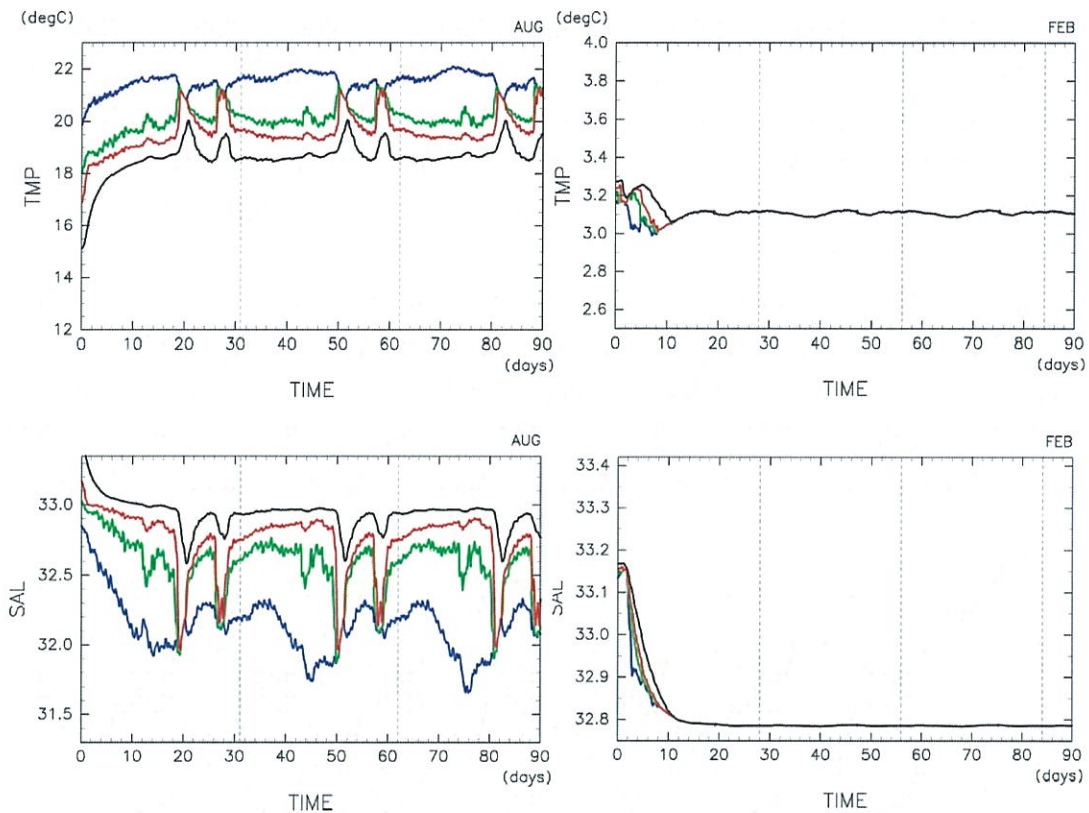
複数ケースを行った。計算期間は 90 日間とした。初期条件として、水温、塩分は JODC の水温統計、塩分統計の値を採用し、流速は 0 にした。

スピニングアップは、CO<sub>2</sub> の漏出を始める前に平衡状態にしておくための、いわば初期条件作成のための計算である。静水圧モデルの計算がおよそ平衡状態に達した後、Full-3D モデルを結合し CO<sub>2</sub> 漏出シミュレーションを行った。第 4.1-1 図は、Full-3D モデルをはめ込むセルの水温と塩分の時系列図である。

夏季は 2008 年 8 月、冬季は 2003 年 2 月の条件での計算結果である。夏季、冬季ともに 10 日くらいまでは初期値から急激に変化しているが、その後はほぼ平衡に達している。点線は風速ベクトルデータの繰り返し期間を表している。この時系列の変化から 90 日の計算期間はスピニングアップとして十分な時間であることがわかる。よって、CO<sub>2</sub> の漏出シミュレーションにおいては、この時系列の最後の状態を初期値として行った。

モデルの再現性を検証するために、観測データと比較することとし、観測データの年月に合わせた気象条件で計算を行った。北海道大学水産学部附属練習船うしお丸による白老沖での観測データを見ると、夏季に関しては 2008 年 7 月のデータが比較的多く、冬季に関しては 2003 年 1 月のデータが比較的多かったので、2008 年 7 月と 2003 年 1 月の境界条件データを用いた。また、2004 年 7 月下旬から 8 月上旬、2005 年 1 月下旬から 2 月上旬に苫小牧港湾事務所による苫小牧港潮流観測調査が行われたが、CO<sub>2</sub> 漏出点（圧入点）のごく近傍（St. 02）で流速観測が行われていたため、2004 年 7 月、2005 年 1 月の境界条件データを使った計算も行った。





注：上が水温，下が塩分。左は夏季（2008年8月）条件のモデル計算結果，右は冬季（2003年2月）条件のモデル計算結果。青，緑，赤，黒の順に0～2m層（最上層），8～10m層，12～14m層，18～20m層（最深層）。点線は風速データの繰り返し期間を表している。

第 4.1-1 図 静水圧モデルの Full-3D モデルをはめ込むセルの水温と塩分の時系列

#### (4) モデル計算結果と観測データの比較

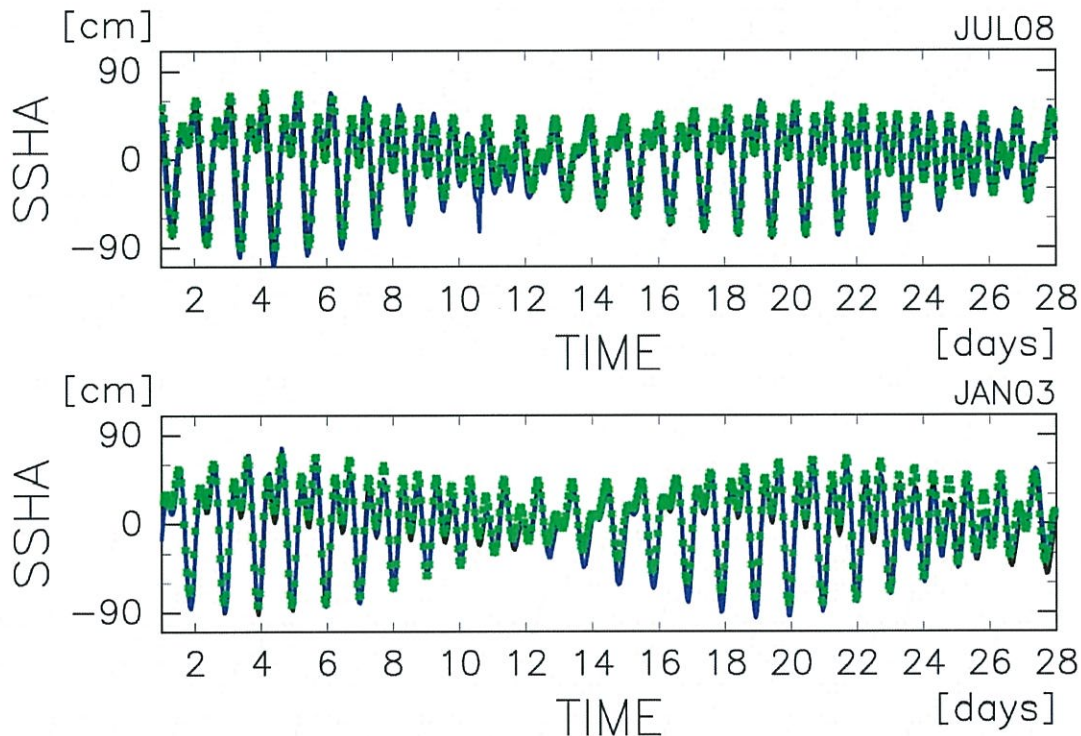
本モデルが実際の海の状況を再現できるモデルかどうかを検討するために，観測値とモデル計算結果を比較した。

前出の第 2.1-3 図に，観測データとモデル計算結果の水温と塩分の鉛直プロファイルを示す。観測データは北海道大学水産学部附属練習船うしお丸で観測された白老周辺のデータと JODC から得られた統計値を用いた。また，モデル計算結果は観測データと同じ海域の計算データを 2 週間平均したものをを用いた。実線がうしお丸で観測されたデータである。7 月は 2003 年，2006 年，2008 年の観測データがあり，それを順に黒，赤，緑でプロットしている。1 月は 2003 年，2008 年，2012 年の観測値があり，順に黒，赤，緑でプロットしている。水色の + 印は JODC のそれぞれ 7 月と 1 月の統計値（北緯 42～43 度，東経 141～142 度の値）である。青の \* 印がそれぞれ 2008 年 7 月，2003 年 1 月の条件で計算したモデル計算結果である。

夏季（7 月）の観測値には，海面付近で高温，低塩分で，深くなるにつれて低温，高塩分になるという成層構造が見られ，冬季（1 月）は海面から海底まで水温，塩分とも変化が小さくほぼ一定という構造が見られる。観測結果には年や場所によってある程度ばらつきがみられるが，モデル計算結果はそのばらつきの範囲内に入っており，本モデルで夏季，冬季それぞれの水温，塩分の分布，および成層状態が適切に表現できていることがわかる。

第 4.1-2 図は水位偏差の図である。観測値（青線）は苫小牧西港験潮所の潮位データから平均値を除いた偏差である。験潮所のデータは、1hPaの気圧低下（上昇）で1cmの水位上昇（低下）が生じるというInverted Barometer応答（IB応答）を仮定して、気圧の影響を除いている<sup>[1]</sup>。気圧補正には気象庁観測の苫小牧の気圧データを用いた。緑点がモデルの結果である。観測値とシミュレーション結果はほとんど一致しており、モデルで潮汐がよく再現されていることが示されている。

なお、潮流については必ずしも十分に再現されているわけではない。しかし、潮流による物質輸送流速  $u$  と潮流の流速振幅  $U$  の比  $u/U$  を潮位変動の振幅  $a$  と水深  $h$  を用いて  $a/(2h)$  で見積もると、 $10^{-2}$  程度となり潮流による輸送効果は小さいと考えられる。また、生物影響の予測には  $\Delta pCO_2$  の24時間平均値あるいは3週間平均値を用いている。したがって、潮流が必ずしも十分に再現されていないことは生物影響の予測に大きな影響を与えないと考えられる。



注：観測値（青）と苫小牧西港の位置のセルのモデル計算結果の水位（緑）。上は2008年7月の観測値と2008年7月の条件で計算したモデル計算結果、下は2003年1月の観測値と2003年1月の条件で計算したモデル計算結果。なお、観測値はIB応答を仮定して気圧の影響を除去した。

第 4.1-2 図 苫小牧西港験潮所の潮位データから平均値を除いた水位偏差図

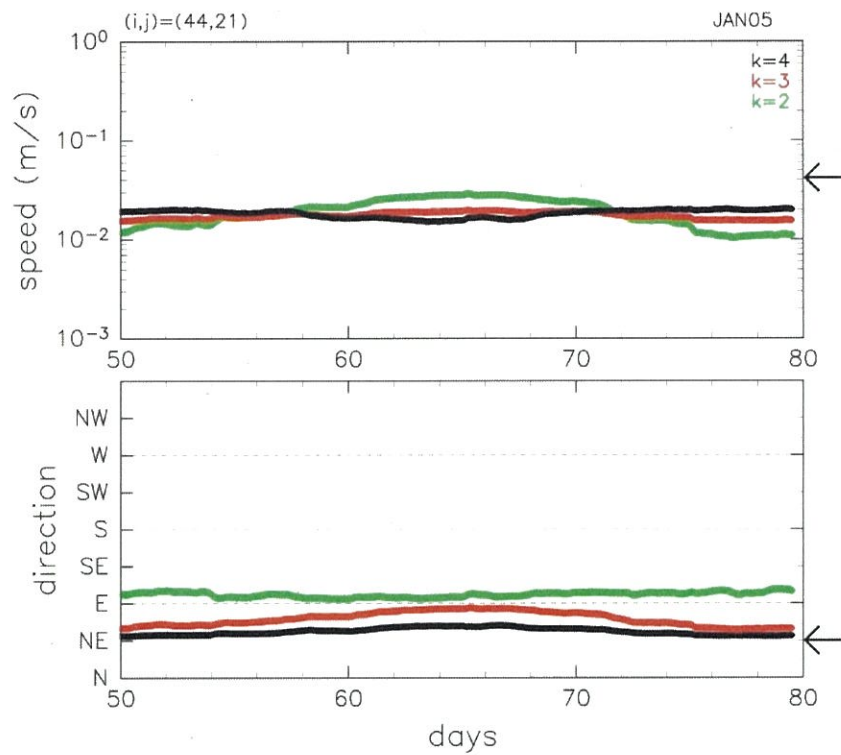
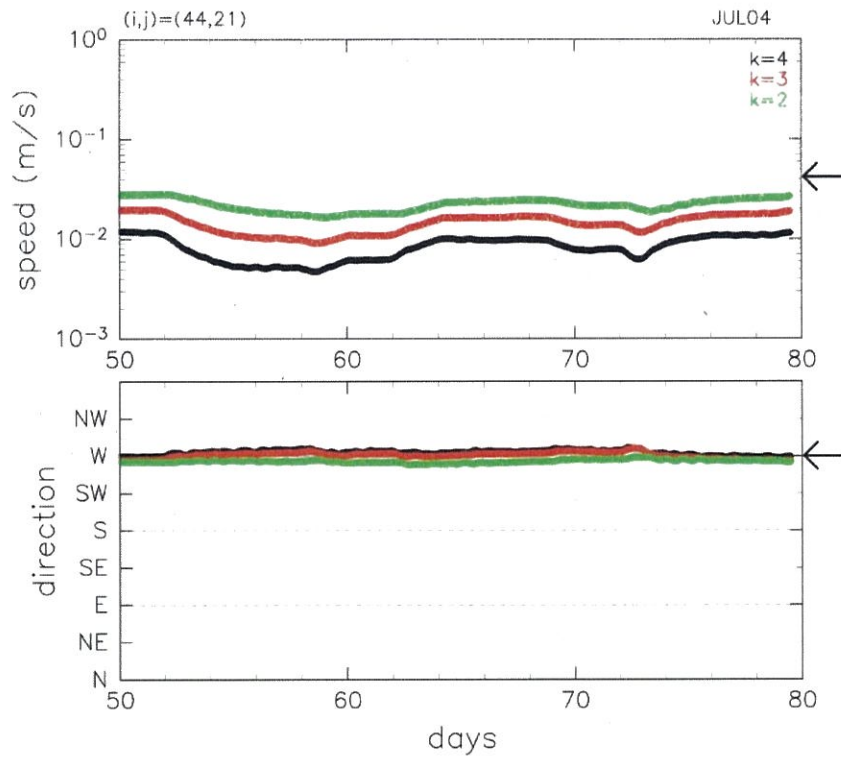
$CO_2$  漏出点（圧入点）の近傍の北緯  $42^{\circ} 36' 59.022''$  ，東経  $141^{\circ} 39' 26.722''$  での流速観測との比較を行った。流速観測は夏季の2004年7月22日～8月7日，冬季の2005年1月19日～2月7日に行われた（第 2.1-2 表参照）。観測は海面下5m層で行われた。観測期間の恒流（観測期間のベクトル平均値）は夏季が  $4.19\text{cm/s}$  で流向はW（西向き），冬季が  $4.18\text{cm/s}$  で流向はNE（北東向き）であった。第 4.1-3 図はモデル計算結果の上記観測点を含むセルの

<sup>[1]</sup> 稲津大祐，木津昭一，花輪公雄，2005. 気圧変動に対する日本沿岸水位の応答. 海の研究，14，pp.57-69.

流速と流向の時系列であり、2004年7月の境界条件データと2005年1月の境界条件データを使って計算した結果を観測期間に近い3週間で移動平均したものである。緑、赤、黒の実線はそれぞれ2~4m層、4~6m層、6~8m層を示す。

流向については夏季が西向き、冬季が東~北東向きでモデル計算結果と観測結果がよく一致している。流速については夏季、冬季とも観測値に比べて計算値はやや小さめではあるが、オーダーとしてのずれはなく、概ね観測された平均流が再現されている。

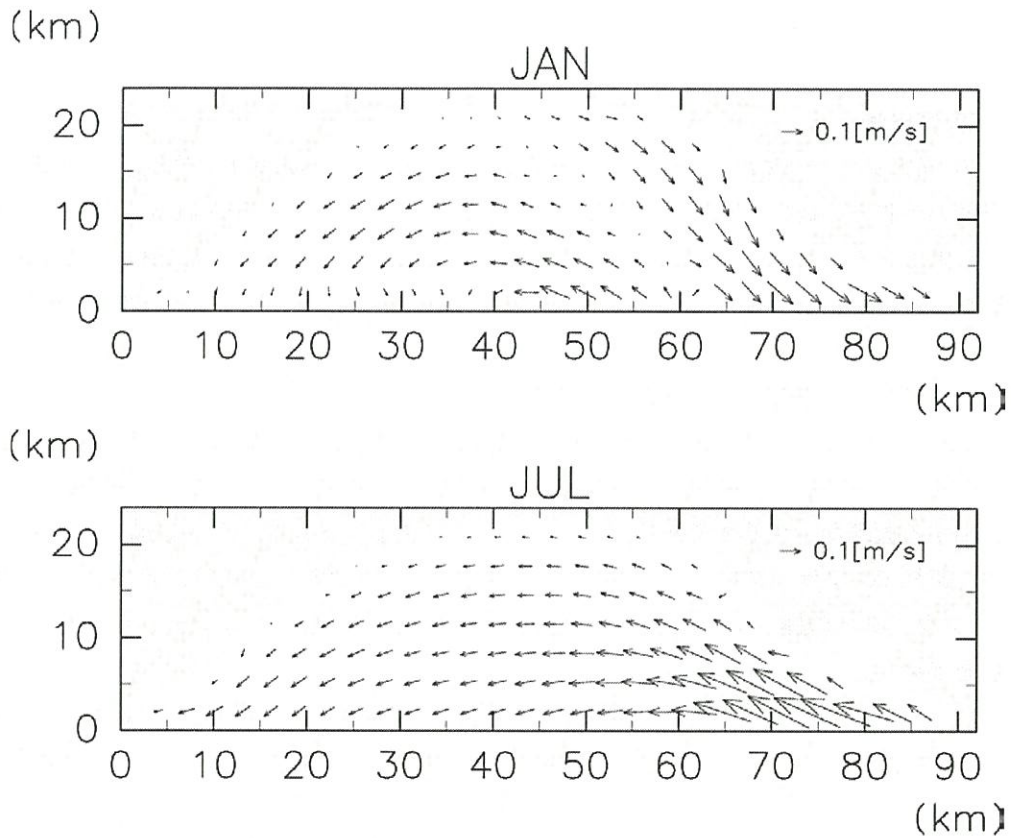
現地調査により得た夏季および冬季の表層(海面下2m)の流況(第3.1-13図および第3.1-15図参照)をみると、流向は夏季および冬季ともに海岸線に平行な流れを示す傾向が認められ、文献により把握した流況およびシミュレーション結果の流況と一致している。流速をみると、全調査測点の平均流速は夏季に10.0cm/s、冬に13.4cm/sを示しており、文献により把握した流況およびシミュレーション結果の流況(第4.1-3図参照)よりやや大きい、これは現地調査における流速の測定期間が短いためと考えられる。



注.: 緑が 2~4m 層, 赤が 4~6m 層, 黒が 6~8m 層。流向の軸は下から上に向かって北から時計回りになっている。N, E, S, W がそれぞれ北向き, 東向き, 南向き, 西向きである。上が 2004 年 7 月条件, 下が 2005 年 1 月条件でそれぞれ計算した結果の 3 週間移動平均値。縦軸右端の矢印は観測値を示す。

第 4.1-3 図 流速観測点を含むセルのモデル計算結果の流速と流向の時系列

また、第 4.1-4 図は、モデル領域表層の流れ場を示したものである。1 月は岸沿いに時計回りの流れがあり、沖合に反時計回りの流れがある。一方、7 月は領域全体で反時計回りの流れになっている。第 2.1-8 図と比べると、シミュレーション結果は、定量的にも定性的にも日高湾の流れ場の特徴を再現できていると言える。



注：1月（上）と7月（下）の表層の流れ場。計算期間での時間平均値。

第 4.1-4 図 モデル領域表層の流れ場（計算結果）

以上より、本モデルは適切な境界条件（海面境界条件，側面開境界条件）を与えれば現実的な流況や成層をおおむね再現できるモデルであることが確認された。

## 4.2 海洋環境の化学的な変化の予測—CO<sub>2</sub>漏出シミュレーション

### (1) シミュレーション条件

CO<sub>2</sub>漏出点は、2つの圧入点の直上と仮定した。圧入点は、滝ノ上層が北緯42° 36' 10.4807" , 東経141° 37' 56.6067" , 萌別層が北緯42° 36' 44.0224" , 東経141° 38' 27.5915" である。この2つの圧入点(漏出点)は海洋モデルの同じセルに含まれるので、ここでは2つの圧入点を区別していない。

#### ① CO<sub>2</sub>漏出量

CO<sub>2</sub>漏出量については、「2.3 特定二酸化炭素ガスの海洋への漏出の位置及び範囲並びに漏出量の予測」の結果を勘案し、次の2ケースを行った。また、Kano et al. (2010)<sup>[1]</sup>が海底から出てくる気泡CO<sub>2</sub>の初期半径、0.5cm, 1cm, 2cmのうち1cmの場合に海水中のpCO<sub>2</sub>が最も高くなることを示していることから、気泡CO<sub>2</sub>の初期半径はいずれのケースも1cmとした。

#### ア) シナリオ2 萌別層ケース (シナリオ2 ケース)

地層中でのCO<sub>2</sub>移行挙動シミュレーションにおけるシナリオ2は、想定外の事象でCO<sub>2</sub>圧入期間中に貯留層から海底面付近まで達する断層が新たに発生し、この断層を通じてCO<sub>2</sub>が漏出する極端なシナリオである。このシナリオによるシミュレーション結果(第4.2-1図)は、気相CO<sub>2</sub>フラックスの最大値が0.0175kg/s (=551.88 トン/年)、その時間付近の溶存CO<sub>2</sub>フラックスの極大値が12.4×10<sup>-4</sup>kg/sを示し、海中拡散シミュレーションではこれらの値を与えた。

なお、前述のシナリオ1(弾性波探査の検出限界以下の小規模な断層/フラクチャを通じてCO<sub>2</sub>が移行するシナリオ)では、海底面までのCO<sub>2</sub>漏出は起きないという結果が得られている。

[1] Kano, Y., Sato, T., Kita, J., Hirabayashi, S., Tabeta, S., 2009. Model prediction on the rise of pCO<sub>2</sub> in uniform flows by leakage of CO<sub>2</sub> purposefully stored under the seabed. International Journal of Greenhouse Gas Control, 3, 617-625.