

釧路湿原における地球温暖化に伴う 海面上昇に係る技術資料

～環境指標のモニタリング計画と温暖化への適応策の検討～



平成 24 年 2 月

国土交通省
北海道開発局

釧路開発建設部

釧路湿原における地球温暖化に伴う海面上昇に係る技術資料
～環境指標のモニタリング計画と温暖化への適応策の検討～

目 次

1. 技術資料作成の背景と目的	1-1
1.1 技術資料作成の背景	1-1
1.2 技術資料作成の目的	1-2
2. 釧路川流域および釧路湿原の特徴	2-1
2.1 流域の概要	2-1
2.2 自然環境の特徴	2-4
2.3 気象・水文特性	2-7
2.4 周辺沿岸の海岸特性	2-9
2.5 新釧路川の塩水遡上特性	2-13
2.6 新釧路川周辺の地下水特性	2-19
3. 釧路湿原周辺の地球温暖化による海面上昇の状況と周辺環境に与える影響項目の抽出	3-1
3.1 釧路湿原周辺の地球温暖化による海面上昇の状況	3-1
3.2 海面上昇に伴う周辺環境への影響項目の抽出	3-17
4. 釧路湿原を形成する植生の耐塩性に係る実験的検討	4-1
4.1 新釧路川周辺の植生分布	4-1
4.2 耐塩性に係る実験の対象植物	4-2
4.3 実験条件	4-3
4.4 実験結果	4-6
4.5 実験によって得られた知見	4-12
5. 釧路湿原周辺の地球温暖化による海面上昇に伴う周辺環境への影響予測と評価	5-1
5.1 影響予測と評価の概説	5-1
5.2 海面上昇に伴う塩水遡上の予測	5-2
5.3 海面上昇に伴う塩水遡上を踏まえた地下水への塩水侵入範囲の予測	5-18
5.4 予測結果を踏まえた釧路湿原周辺の環境への影響評価	5-36
5.5 影響予測及び評価の総括	5-41
6. 釧路湿原周辺の地球温暖化による海面上昇への適応策の検討	6-1
6.1 適応策の目標及び前提条件について	6-1
6.2 釧路湿原に対応した適応策の考え方例と実施手順	6-3
7. 環境変化に対するモニタリング計画（順応的管理を踏まえて）	7-1
7.1 モニタリング計画の基本方針	7-1
7.2 適応策の実施を見据えたモニタリング項目と指標の設定	7-2
7.3 既存調査結果の有効活用を踏まえたモニタリング方法	7-3
7.4 モニタリング体制	7-4
7.5 順応的管理のための留意事項の整理	7-5

1. 技術資料作成の背景と目的

1.1 技術資料作成の背景

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、2007 年に発表した最新の報告書（第 4 次評価報告書(AR4)）において、大気や海洋の世界平均気温の上昇、北極の氷及び山岳氷河などの広範囲にわたる減少、世界平均海面水位の上昇等が観測され、今や地球が温暖化していることが明らかであると断定しており、地球温暖化に伴い 21 世紀末には世界平均気温が 4℃上昇し、世界平均海面水位が最大 0.59m 上昇するという予測値が示されている。また、検討のシナリオは異なるものの、気象庁による日本近海における予測値では、釧路沖の海面水位が 0.11m 上昇するという予測値が示されている。

さらに、生物多様性国家戦略 2010 において、「①人間活動や開発による危機」、「②人間活動の縮小による危機」、「③人間により持ち込まれたものによる危機」の 3 つの危機に加えて、「④地球温暖化による危機」が正式に位置付けられ、継続的なモニタリングや予想される影響への適応策が重要であることが示されており、生物多様性の観点からも地球温暖化への対応が重要な課題となっている。

このような背景を踏まえ、地球温暖化に伴い海面の上昇が進行した場合、河口からわずか 5km に位置する釧路湿原では、塩水遡上の延伸や湿原域への塩水侵入範囲の拡大など湿原環境に対して大きな影響が及ぶことが懸念される。ここで、釧路湿原は釧路川沿いに形成された北海道東部に位置する国内最大の湿原であり、1980 年（昭和 55 年）に国内最初のラムサール条約による国際保護湿地として登録され、次いで 1987 年（昭和 62 年）には湿原単体としては初めての国立公園に指定された。特に、1993 年（平成 5 年）にラムサール条約締約国会議が釧路市で開催されたことにより、湿原の重要性を広く一般住民が知ることになり、また、登録区域も東部 3 湖沼などが拡大指定され、地域が中心となって湿原の保全に係る取り組みが行われており、現在の湿原環境を保全していくことが重要である。

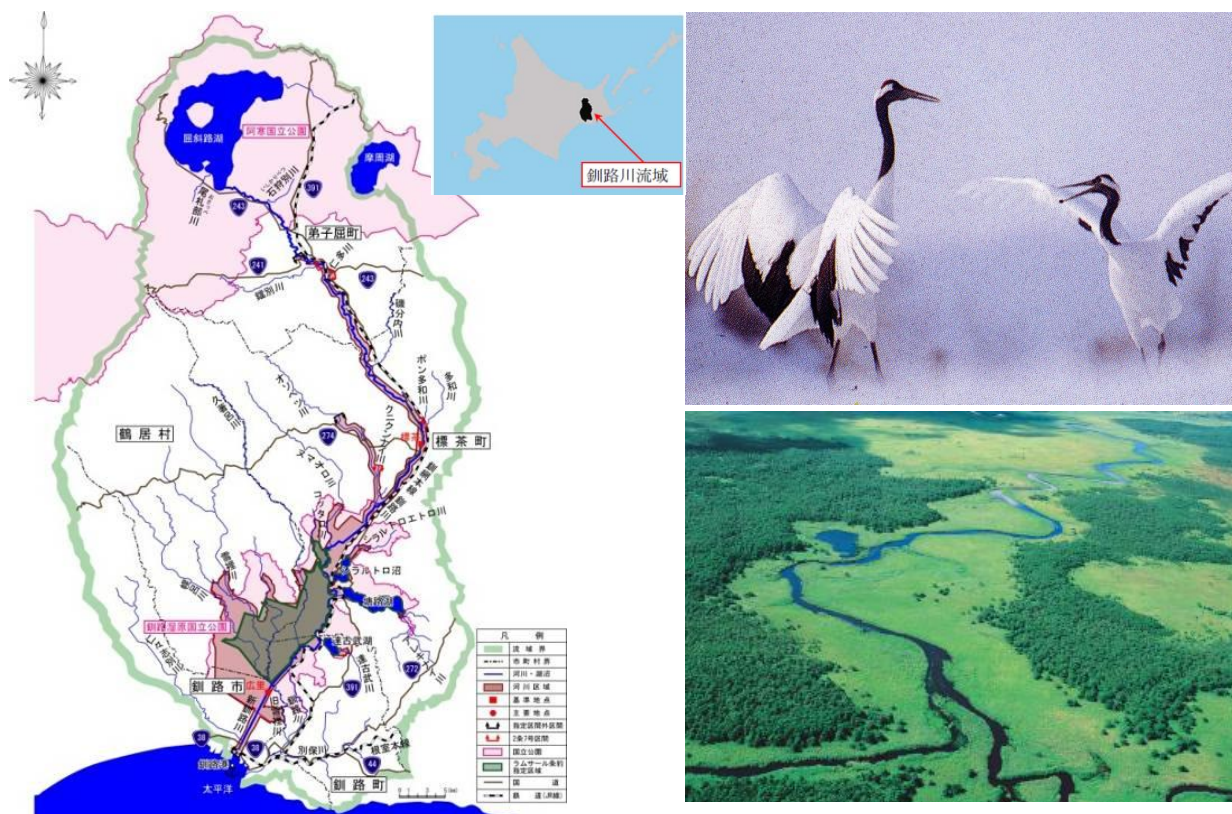


図 1-1 流域図

釧路湿原を対象とした地球温暖化に伴う海面上昇が湿原環境に与える具体的な影響の把握、適応策の設定とモニタリング計画の策定、順応的管理の方針について検討を進めるにあたり、気候変動による海面上昇の影響が及ぶ脆弱な自然を有する我が国の河川・湿原・沿岸域等における具体的な検討事例がこれまでに無いことから、釧路湿原を対象に検討を行った成果を技術資料としてとりまとめる。

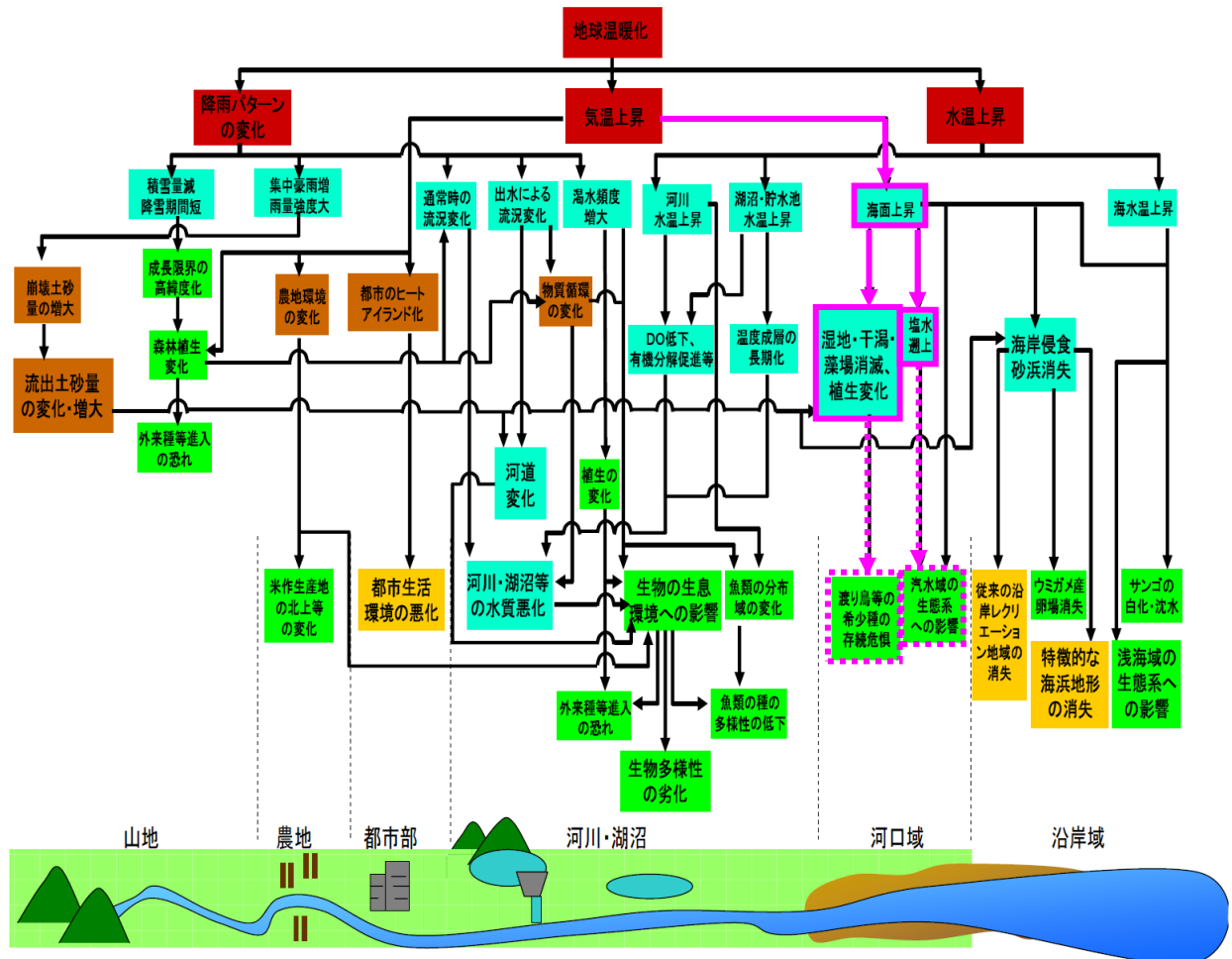
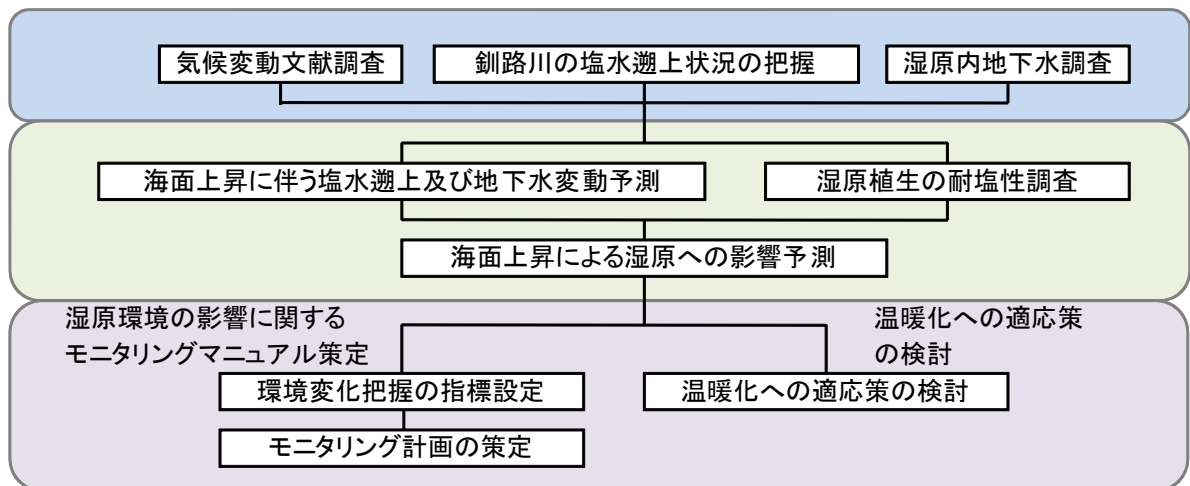


図 1-2 地球温暖化が河川環境・流域環境へ及ぼす影響のイメージ

国土交通省 水管理国土保全局より抜粋)



2. 釧路川流域および釧路湿原の特徴

2.1 流域の概要

釧路川は、北海道東部の太平洋側に位置し、その源を藻琴山（標高 1,000m）等、屈斜路カルデラの外輪山に発し、屈斜路湖の南端から流れ出て、弟子屈原野を流れ、弟子屈町で鑑別川、標茶町でオソベツ川等の支川を合流し、釧路湿原に入り、さらに久著呂川、雪裡川の支川を湿原内で合わせ、岩保木地点において新釧路川となり、釧路市街地を貫流し太平洋へ注ぐ、幹川流路延長 154km、流域面積 2,510km² の一級河川である。

また、上流の屈斜路湖等は阿寒国立公園に、下流の釧路湿原はラムサール条約（特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地に関する条約）登録湿地及び釧路湿原国立公園に指定されているなど、豊かな自然環境に恵まれている。

釧路川流域には、釧路市、釧路町、標茶町、弟子屈町、鶴居村の 1 市 3 町 1 村が存在し、その人口は約 23 万人（平成 22 年住民基本台帳に基づく）である。釧路市は、流域内最大の都市であり、道東地域の社会・経済・文化の中心地である。

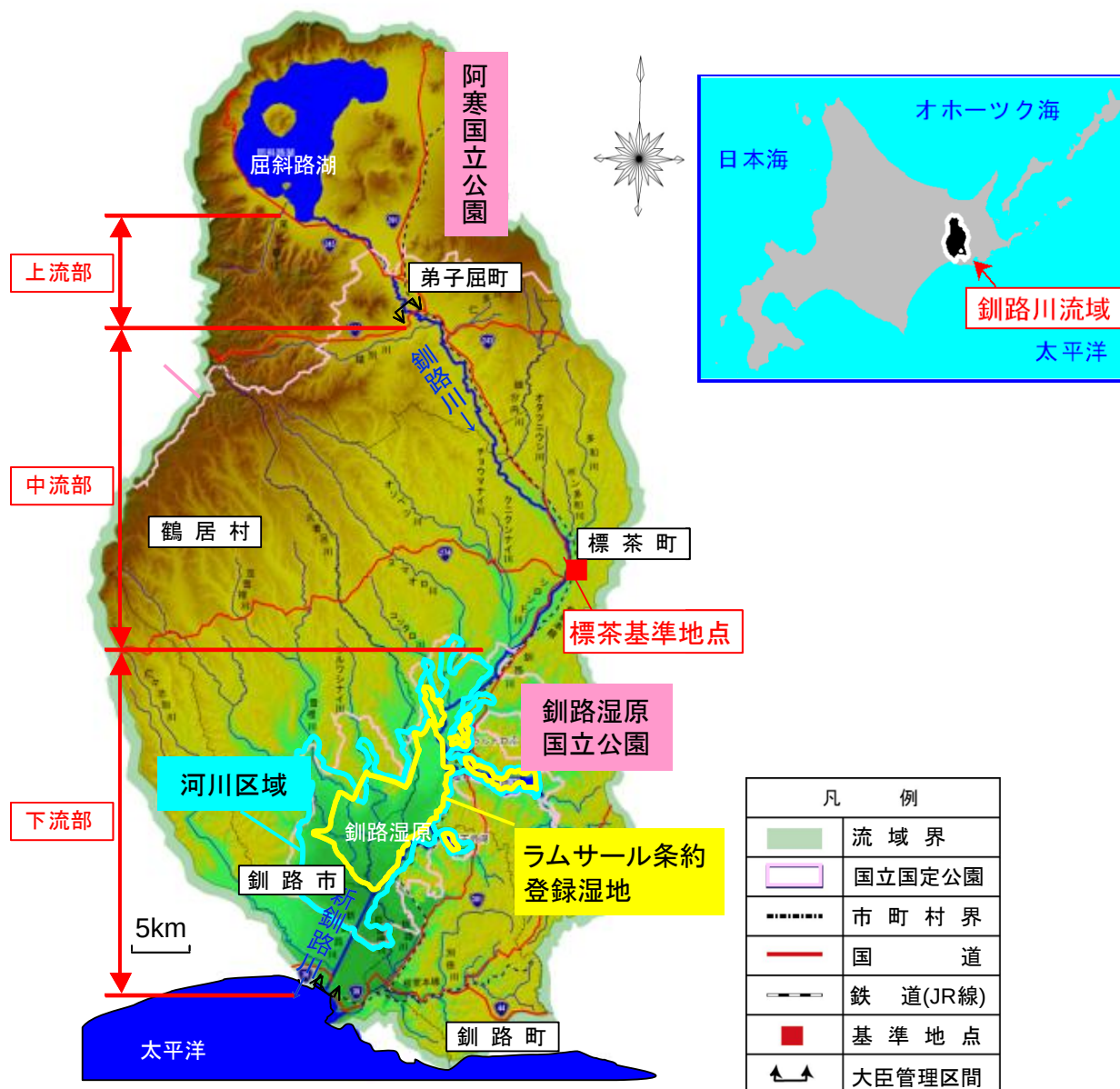


図 2-1 流域図

釧路川の河床勾配は、図 2-2 に示すとおり 屈斜路湖から弟子屈市街部付近までが 1/1,000 程度、弟子屈市街部付近からオソベツ川合流点（釧路湿原流入部）付近までが 1/200～1/1,200 程度、さらに、釧路湿原から新釧路川河口部までが 1/3,000～1/8,000 程度である。なお、それぞれの区域の自然景観は以下のとおりである。

【①上流部(屈斜路湖～弟子屈市街部付近)】

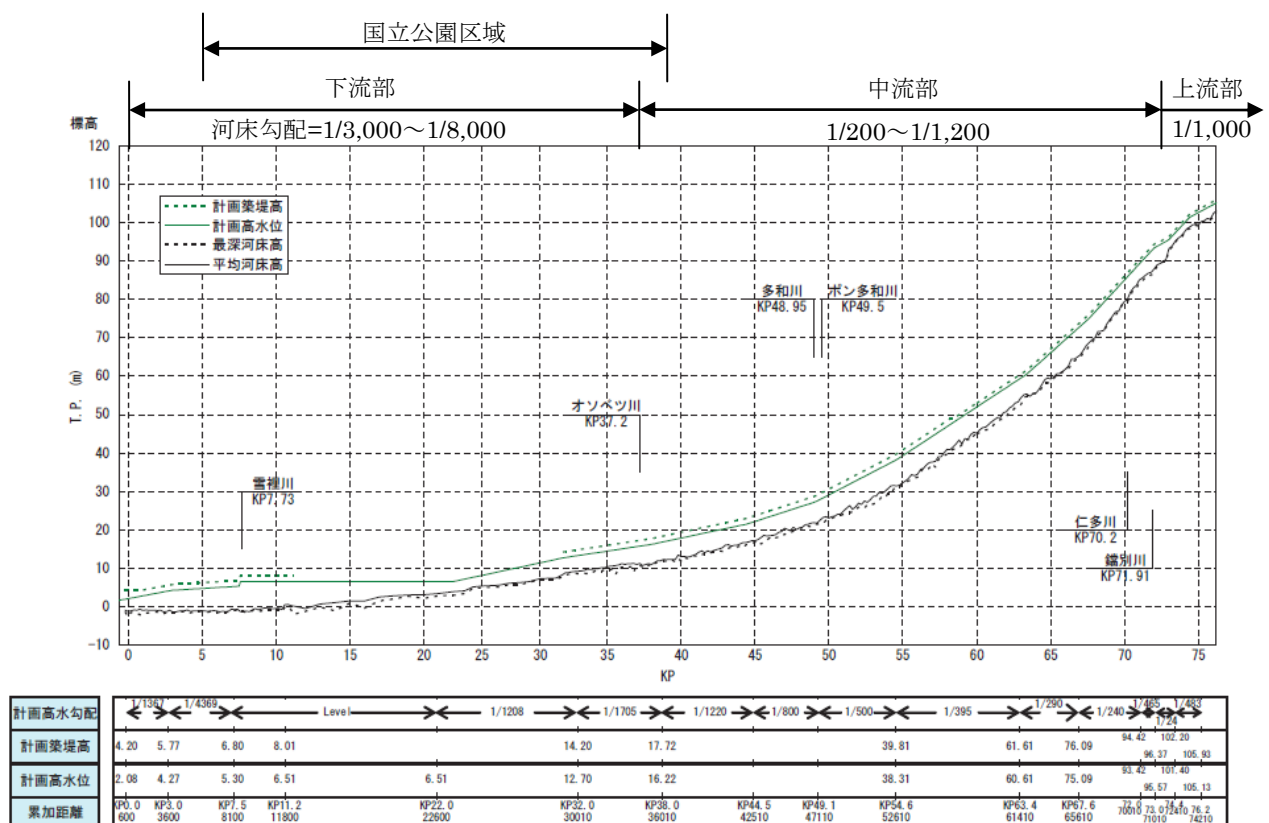
針葉樹と広葉樹の針広混交林と屈斜路湖が雄大な北国の自然景観を形成し、また硫黄山と山麓の高山植物が特徴的な自然景観を形成している。

【②中流部(弟子屈市街部付近からオソベツ川合流点付近)】

流域の基幹産業を支える約 5 万 ha の広大な酪農地帯が広がり、釧根地域の代表的な景観を形成している。

【③下流部(釧路湿原から新釧路川河口部)】

釧路湿原においては多くの河川が蛇行しながら流下する壮大な原自然の景観が形成され、約 2,000 種の野生生物の生息・生育の場となっている。



(出典：釧路川河川整備計画(附図)に加筆)

図 2-2 釧路川 計画縦断面図

釧路川水系における河川水の利用については、図 2-3 より主に水道用水や製紙工場等の工業用水として取水されており、かんがい用水としての取水はない。全体の取水量に対し水道用水が 35%、工業用水が 63%という利水状況になっている。また少量ではあるが、JR の機関車洗浄用や養魚用等としても取水されている。

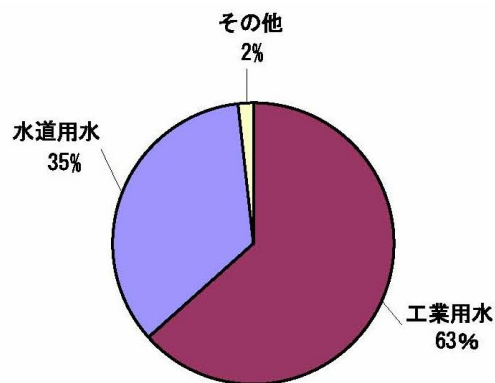


図 2-3 釧路川水系（全域）の水利権の状況

（出典：釧路川水系河川整備計画）

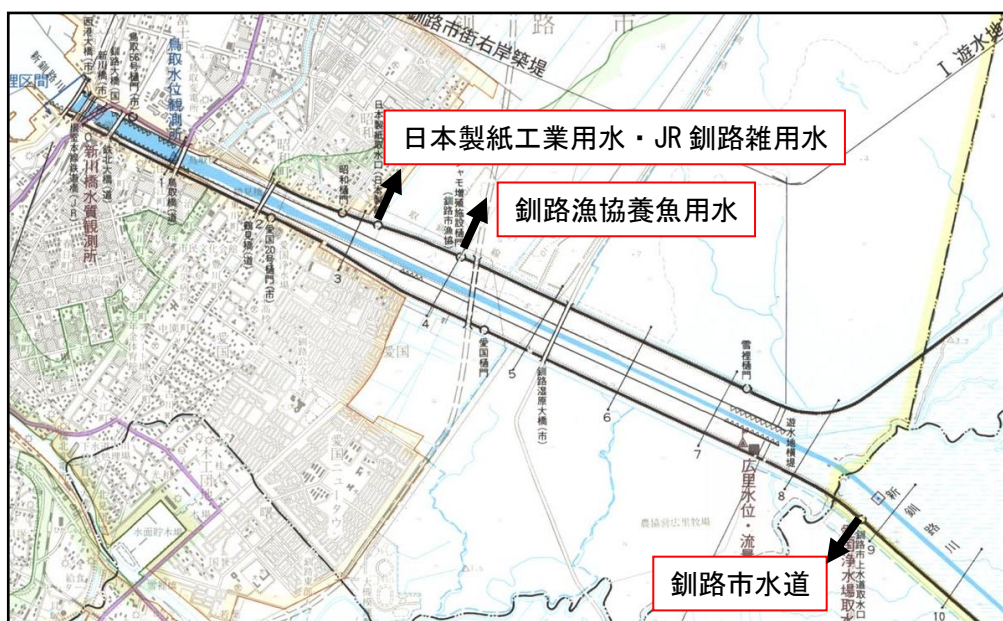


図 2-4 新釧路川取水位置図

表 2-1 取水施設・水利権者

No.	取水施設名	水利権者	取水位置		取水期間	取水施設敷高
			距離標(k)	左右岸		
1	JR 釧路雑用水	北海道旅客鉄道 K.K.	3.2	右岸	通年	EL.-1.64m
2	日本製紙工業用水	日本製紙 K.K.	3.2	右岸	通年	EL.-1.64m
3	釧路漁協養魚用水	釧路市漁業協同組合	4.0	右岸	通年	EL.-1.54m
4	釧路市水道	釧路市	8.7	左岸	通年	EL.-0.514m(No1) EL.-0.822m(No.2)

（出典：一級水系水利権調書【北海道開発局】（平成 18 年 3 月現在）に加筆）

2.2 自然環境の特徴

1) 釧路湿原区間(オソベツ川合流点付近～釧路湿原下流端)

釧路湿原区間(オソベツ川合流点付近～釧路湿原下流端)において確認されている動植物は表 2-2 のとおりである。

湿原内は、ラムサール条約登録湿地や釧路湿原国立公園に指定されており、釧路湿原本来の蛇行した流れ等、原始的な自然景観が残されている。河道の背後地はヨシやスゲ類等の低層湿原植生が見られるが、近年ではハンノキ林が急速に拡大している。湿原域には、国指定の特別天然記念物であるタンチョウが確認されている。魚類では、国内最大の淡水魚であるイトウが生息している。河道周辺の湿原域には、氷河期遺存種^{注)}であるキタサンショウウオが確認されており、産卵池も見られる。また、河跡湖にはエゾカオジロトンボ等の貴重なトンボ類が生息している。

注)遺存種：かつては広く分布していたが、環境条件の変化などによって分布範囲が変化し、現在局地的に限られた狭い分布範囲にしか生息していない種

表 2-2 釧路湿原区間(オソベツ川合流点付近～釧路湿原下流端)確認種

分 類	種 数	確 認 種	
哺 乳 類	7 科 11 種	ヒメトガリネズミ、オオアシトガリネズミ、エゾユキウサギ ^着 、エゾヤチネズミ、キタキツネ ^着 、エゾシカ ^着 他	
鳥 類	26 科 74 種	留鳥	タンチョウ ^特 、センダイムシクイ、ハシブトガラ、ア
		夏鳥	オジ、ハシブトガラス 他
		旅鳥	マガモ、コガモ、カワアイサ、オジロワシ ^特 、マヒワ
		冬鳥	他
両 生 ・ 爬 虫 類	3 科 3 種	爬虫類	シマヘビ
		両生類	キタサンショウウオ ^特 、エゾアカガエル
魚 類	9 科 24 種	スナヤツメ ^特 、エゾウグイ ^特 、エゾホトケドジョウ ^特 、イトウ ^特 、エゾトミヨ ^特 、イバラトミヨ 他	
陸 上 昆 虫 類 等	130 科 831 種	エゾイトトンボ、エゾカオジロトンボ ^特 、ヒナバタ、ホソアワフキ、コキマダラセセリ、ゴマシジミ ^特 、ヒメフンバエ、キバネケシガムシ、クロヤマアリ 他	
底 生 動 物	60 科 100 種	カワコザラガイ、ミズムシ、スジエビ、ヨシノマダラカゲロウ、クシゲマダラカゲロウ、キタシマトビケラ、ウルマーシマトビケラ 他	
植 物	81 科 413 種	木本類	オノエヤナギ、ハンノキ ^着 、ハルニレ ^着 、ホザキシモツケ ^特 、ヤチダモ ^着 他
		草本類	ヤチスギナ ^特 、シコタンキンポウゲ ^特 、サワゼリ ^特 、エゾナミキソウ ^特 、ヨシ ^着 、ホソバドジョウツナギ ^特 、カサスゲ 他

注 1)確認種については、確認された個体数の多い種を中心に記載した。

注 2)鳥類・魚類の種数は、河川水辺の国勢調査最新 2 回分、その他は最新 1 回分の調査結果を用いた。

注 3)特：環境省レッドデータブック等の記載種、外：外来種

注 4)着：着目種 着目種とは釧路川流域において特徴的な種を示す。



国指定の特別天然記念物 タンチョウ



国内最大の淡水魚 イトウ

2) 新釧路川区間(釧路湿原下流端～河口)

新釧路川区間(釧路湿原下流端～河口)において確認されている動植物は表 2-3 のとおりである。

当区間は、釧路川新水路として整備され、直線的な河道となっている。河口から概ね 4km より上流の高水敷および堤内地には、ヨシ等の湿原植生が広がっている。鳥類では、国指定の特別天然記念物であるタンチョウのほか、オオワシやチュウヒが確認されている。両生類では、氷河期遺存種であるキタサンショウウオが確認されている。また、河川水辺の国勢調査結果では、シシャモは確認されていないが、河口から 15km 付近までシシャモの産卵床が確認されている。

表 2-3 釧路川下流域(釧路湿原下流端～河口(新釧路川区間))確認種

分 類	種 数	確 認 種	
哺 乳 類	6 科 8 種	オオアシトガリネズミ、エゾヤチネズミ、キタキツネ ^着 、ミンク ^外 、エゾシカ ^着 他	
鳥 類	19 科 37 種	留鳥	タンチョウ ^特 、オオセグロカモメ、ウミネコ、ノビタキ、コヨシキリ 他
		夏鳥	
		旅鳥 冬鳥	オオワシ ^特 、チュウヒ ^特 、ユリカモメ、カモメ、タヒバリ 他
両 生 ・ 爬 虫 類	3 科 3 種	爬虫類	－
		両生類	キタサンショウウオ ^特 、アマガエル、エゾアカガエル
魚 類	10 科 20 種	カワヤツメ、エゾウグイ ^特 、ウグイ、ワカサギ、エゾハナカジカ ^特 、スマガレイ 他	
陸 上 昆 虫 類 等	76 科 315 種	アキアカネ、エゾコガネヒナバタ(チシマヒナバタ)、フタトゲムギカスミカメ、モンキチョウ、キタヒメヒラタアブ、イチゴハムシ、シワクシケアリ 他	
底 生 動 物	31 科 46 種	イサザアミ、ミズムシ、ウチダザリガニ ^外 、エルモンヒラタカゲロウ、フタマタマダラカゲロウ 他	
植 物	13 科 20 種	木本類	ハマナス
		草本類	ウンラン、オオヨモギ、シロヨモギ、ハマニンニク、ヨシ ^着 、コウボウシバ 他

注 1) 確認種については、確認された個体数の多い種を中心に記載した。

注 2) 鳥類・魚類の種数は、河川水辺の国勢調査最新 2 回分、その他は最新 1 回分の調査結果を用いた。

注 3) 特：環境省レッドデータブック等の記載種、外：外来種

注 4) 着：着目種 着目種とは釧路川流域において特徴的な種を示す。



氷河期遺存種 キタサンショウウオ

3) 釧路湿原の重要性と自然再生の取り組み

釧路地方では、早くから釧路湿原の重要性が認識され、住民生活との共存を図りつつ、その自然保護に関する取り組みが展開され、昭和 55 年のラムサール条約登録湿地指定や昭和 62 年の国立公園指定へとつながり、現在の釧路湿原の自然再生の取り組みに至っている。

なお、釧路川水系河川整備計画において釧路湿原の自然再生に関する目標を以下の通り定めている。

釧路湿原自然再生のため、釧路湿原の河川環境保全の長期的な目標としては、急速な悪化が進む以前のラムサール条約登録（1980 年）以前のような湿原環境への再生を目指し、湿原生態系の質的量的な回復、湿原生態系を維持する循環の再生、湿原と持続的に関わる社会づくりについて、地域住民や関係機関等と連携して取り組むものであるが、当面は、2000 年時点の釧路湿原の状況を維持・保全することを目標とし、その対策に努める。

上記より、地球温暖化に伴う気候変動による海面上昇が釧路湿原の湿原環境に及ぼす具体的な影響を把握した上で、釧路川河川整備計画の考えに則り、2000 年時点の釧路湿原を将来にわたって維持・保全することが可能となる適応策の設定とモニタリング計画を策定し、順応的管理の方針を設定することが重要であると考えられる。

2.3 気象・水文特性

1) 気象特性

釧路川流域の気候は、表日本型の区分に分類されており、下流沿岸部は夏期に海流の影響で霧が多発し、日照が遮られる湿潤冷涼な気候である。

釧路地方気象台では、およそ 100 年前の 1910 年より降水量、気温、気圧などの気象データが観測されている（図 2-5、図 2-6）。観測値より、釧路市内の 1910 年～2011 年の平均年降水量は 1079mm/year で、平均気温は 5.7℃であった。

年降水量の経年変化は、図 2-5 のようにばらつきは大きいものの、概ね 1000～1200mm の範囲にあることが分かる。これは、北海道の平均値 1163mm（平成 12 年国土交通省水資源部調べによる）と同程度である。なお、年降水量が最も少ない 705mm（1984 年）と最も多い 1704mm（1920 年）ではおよそ 1000mm も年降水量が異なっている。また、図 2-5 より、釧路市内の年降水量はこの 100 年間であまり大きく変化していないと言える。

平均気温は、図 2-6 より、1900 年代前半は 5.5℃程度であったものが 1900 年代後半は 6.5℃程度と、約 100 年間で 1℃程度上昇していることが分かる。

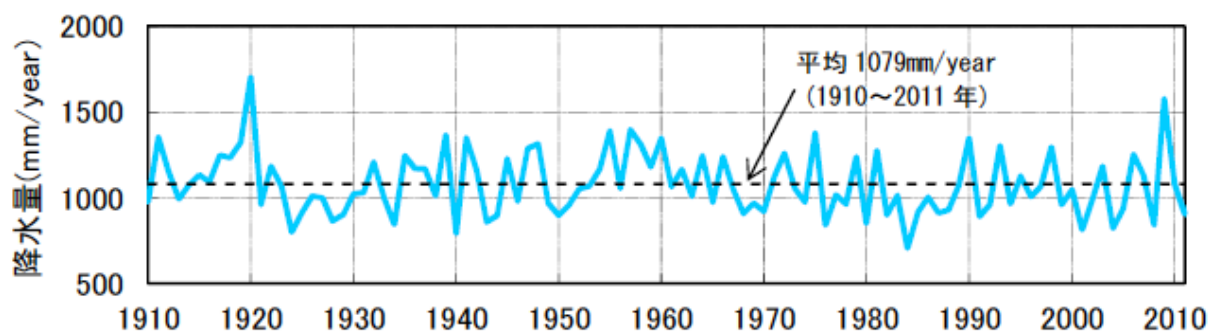


図 2-5 降水量の経年変化（釧路：1910 年～2011 年）

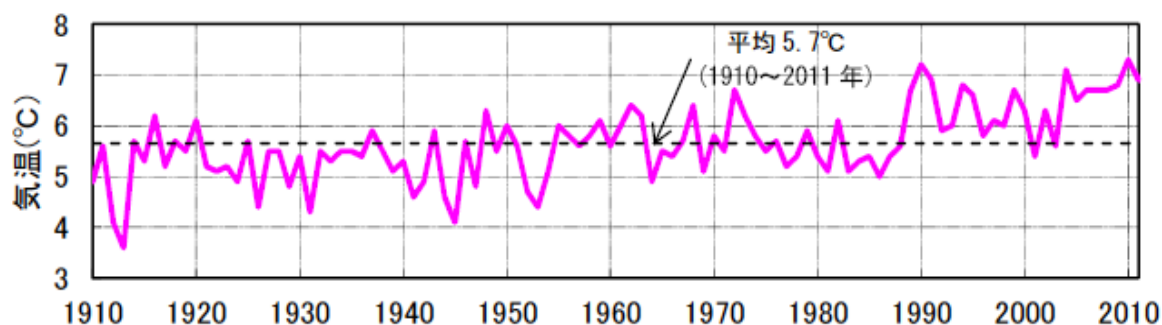


図 2-6 気温の経年変化（釧路：1910 年～2011 年）

2) 流況特性

釧路川下流域に位置する近年の広里水位流量観測所の流況は、渇水流量でおよそ $38.4\text{m}^3/\text{s}$ 程度（1977年～2009年の平均渇水流量）、1/10 渇水流量でおよそ $31.9\text{m}^3/\text{s}$ 程度（近30ヶ年の第3位に相当する渇水流量）となっている。

一方、「正常流量検討の手引き(案) 国土交通省河川局河川環境課 H19.9」によると、全国109の一級水系のうち平成19年9月10日現在で正常流量が設定されている62水系74地点における維持流量の平均値は $0.73\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$ であるとされている（期別に設定されている場合は最大値による）。広里地点の渇水流量は、流域面積 2172.1km^2 を考えると $1.77\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2 (=38.4(\text{m}^3/\text{s}) \div 2172.1(\text{km}^2) \times 100(\text{km}^2))$ 程度となることから、釧路川の渇水流量は維持流量の全国平均値よりやや多い流況を呈している。

表 2-4 新釧路川の流況（広里地点）

年	最大流量		豊水 流量	平水 流量	低水 流量	渇水 流量	最小流量		平均 流量	年総量 (10^6m^3)
	流量	生起日時					流量	生起日時		
1977	99.93	07月07日 18:00	73.98	60.61	48.29	38.05	32.75	12月31日 12:00	62.19	1961.22
1978	165.70	04月11日 01:00	68.95	51.61	37.40	28.26	27.12	02月16日 12:00	56.25	1773.90
1979	310.90	04月11日 20:00	74.34	53.17	42.59	34.42	31.27	01月18日 12:00	66.62	2100.93
1980	83.47	12月13日 19:00	59.39	49.28	45.45	38.91	34.99	08月02日 14:00	52.64	1660.06
1981	196.45	10月26日 02:00	85.46	68.18	43.86	38.02	33.72	03月22日 13:00	68.50	2160.22
1982	105.86	04月11日 06:00	67.11	52.99	45.58	43.27	38.95	03月01日 04:00	57.75	1821.20
1983	240.46	04月05日 21:00	69.32	59.21	42.70	36.61	36.61	02月23日 12:00	62.81	1980.78
1984	119.87	04月20日 06:00	55.95	44.55	39.67	31.83	28.89	12月31日 12:00	51.72	1631.04
1985	152.74	04月08日 14:00	60.21	46.88	35.33	27.44	27.44	01月18日 12:00	51.76	1632.30
1986	115.56	09月08日 18:00	61.30	48.01	42.39	34.82	33.63	02月16日 12:00	54.56	1720.60
1987	116.77	03月28日 12:00	57.21	47.24	40.26	33.70	33.70	02月02日 12:00	50.77	1601.08
1988	125.98	11月28日 15:00	58.26	46.79	38.55	31.90	29.09	03月05日 01:00	53.29	1680.55
1989	121.90	07月03日 12:00	68.22	52.64	43.85	35.84	30.87	02月26日 13:00	58.26	1837.29
1990	141.50	11月12日 02:00	87.02	72.21	55.59	34.58	34.18	02月04日 12:00	72.13	2274.69
1991	133.70	10月22日 08:00	66.96	56.36	50.22	41.89	33.42	02月19日 12:00	61.36	1935.05
1992	163.86	09月16日 02:00	73.01	56.11	44.74	34.05	32.37	01月22日 12:00	62.83	1981.41
1993	130.79	04月04日 23:00	74.32	63.64	50.32	42.09	36.60	01月16日 18:00	66.09	2084.21
1994	161.00	04月16日 21:00	85.46	56.98	49.78	42.23	36.32	12月30日 19:00	68.43	2158.01
1995	143.05	11月03日 12:00	77.70	65.30	52.04	41.08	34.43	03月08日 15:00	67.21	2119.53
1996	166.22	05月26日 19:00	69.43	59.44	50.40	43.82	38.86	03月08日 13:00	63.75	2010.42
1997	305.88	04月02日 06:00	76.86	57.96	47.01	37.21	30.48	02月21日 22:00	66.74	2104.71
1998	256.73	09月02日 05:00	78.51	60.22	48.45	42.37	38.74	02月25日 20:00	72.75	2294.24
1999	182.87	05月08日 22:00	66.39	54.49	48.58	44.07	36.59	12月24日 23:00	62.08	1957.75
2000	欠測		欠測	欠測	欠測	欠測	欠測		欠測	
2001	欠測		欠測	欠測	欠測	欠測	欠測		欠測	
2002	190.98	10月07日 13:00	80.14	56.42	48.89	42.74	34.90	01月16日 24:00	67.38	2124.87
2003	255.98	08月13日 19:00	79.01	61.26	49.45	41.24	39.16	03月23日 12:00	68.50	2160.09
2004	欠測		59.97	51.72	47.60	42.61	欠測		58.11	1837.52
2005	144.59	09月12日 11:00	61.16	49.65	45.15	40.30	35.17	03月01日 14:00	56.24	1773.71
2006	176.44	04月24日 20:00	84.54	68.60	60.49	47.23	36.82	02月21日 15:00	76.84	2423.21
2007	134.29	05月11日 12:00	67.66	56.99	48.81	43.19	35.53	12月29日 03:00	63.16	1991.77
2008	欠測		55.69	47.06	42.21	38.08	欠測		51.13	1616.95
2009	欠測		103.83	79.58	63.14	39.55	欠測		欠測	
最大値			103.83	79.58	63.14	47.23	39.16		76.84	2423.21
平均値			71.21	56.62	46.74	38.43	34.02		61.73	1946.98
最小値			55.69	44.55	35.33	27.44	27.12		50.77	1601.08
近年30年間(S55～H21)第3位			57.21	46.88	39.67	31.90	29.09		51.72	1631.04
近年20年間(H2～H21)第2位			59.97	49.65	44.74	34.58	32.37		56.24	1773.71
近年10年間(H12～H21)第1位			55.69	47.06	42.21	38.08	34.90		51.13	1616.95

※出典：国土交通省水文水質 DB より抜粋整理

2.4 周辺沿岸の海岸特性

1) 潮位の概況

近年の釧路港における最大潮位偏差が 50cm 以上となる主な高潮時の最高潮位は、0.64～1.23m の範囲となっており、最大値は 2007 年 1 月に観測されている。

また、近年の釧路港における最大潮位偏差は、0.50m～0.93m の範囲となっており、最大値は 2006 年 10 月に観測されている。

主な高潮は、冬季の低気圧により発生するケースが多く、この時期は河川流量が渇水となる時期と重なる事から、冬期間には塩水が遡上し易い環境となることが推察される。

表 2-5 近年の釧路の主な高潮（最大潮位偏差 50cm 以上）

	最大潮位偏差		最高潮位		要因
	(cm)	起時	(TP上、cm)	起時	
2003年	52	1/4 13:39	111	1/4 14:38	平成15年1月4日-6日の低気圧
	68	1/28 10:57	108	1/28 10:57	平成15年1月27日-30日の低気圧
2004年	66	8/31 16:02	106	8/31 16:30	平成16年8月28-31日の台風第16号
	50	12/6 5:42	64	12/5 10:43	平成16年12月4-6日の低気圧
2005年	51	7/27 20:20	88	7/27 20:20	平成17年7月26-27日の台風第7号
	58	11/29 15:52	83	11/29 13:47	2005年11月29-30日の低気圧
	52	12/26 4:44	79	12/26 9:07	2005年12月26-27日の低気圧
2006年	93	10/8 6:49	122	10/8 15:17	2006年10月6-8日の低気圧
	55	12/28 5:15	75	12/28 9:03	2006年12月27-28日の低気圧
2007年	86	1/7 10:29	123	1/7 14:55	2007年1月6-8日の低気圧
	51	9/8 1:50	64	9/8 0:10	2007年9月6-8日の台風第9号
2008年	最大潮位偏差50cm以上の高潮は観測されていない				
2009年	58	2/21 4:31	84	2/21 4:31	2009年2月20-21日の低気圧
	56	10/9 4:38	86	10/9 16:06	2009年10月6-9日の台風第18号
2010年	60	3/21 11:20	86	3/21 5:46	2010年3月20-21日の低気圧と冬型気
	67	12/4 1:12	92	12/4 3:46	2010年12月3-4日の低気圧と冬型気
	53	12/23 18:22	107	12/23 15:33	2010年12月22-23日の低気圧

※出典：気象庁 HP より

2) 波浪の概況

北日本の沿岸波浪図を図 2-7 に示す。同図より、釧路川沿岸（図中 B 地点）における近 3 ヶ年の平均波浪は、ESE～SE 方向が卓越する傾向が見られる。

なお、釧路沿岸付近の波浪は、屈折により汀線にほぼ直角方向に波向きを変えられと考える。

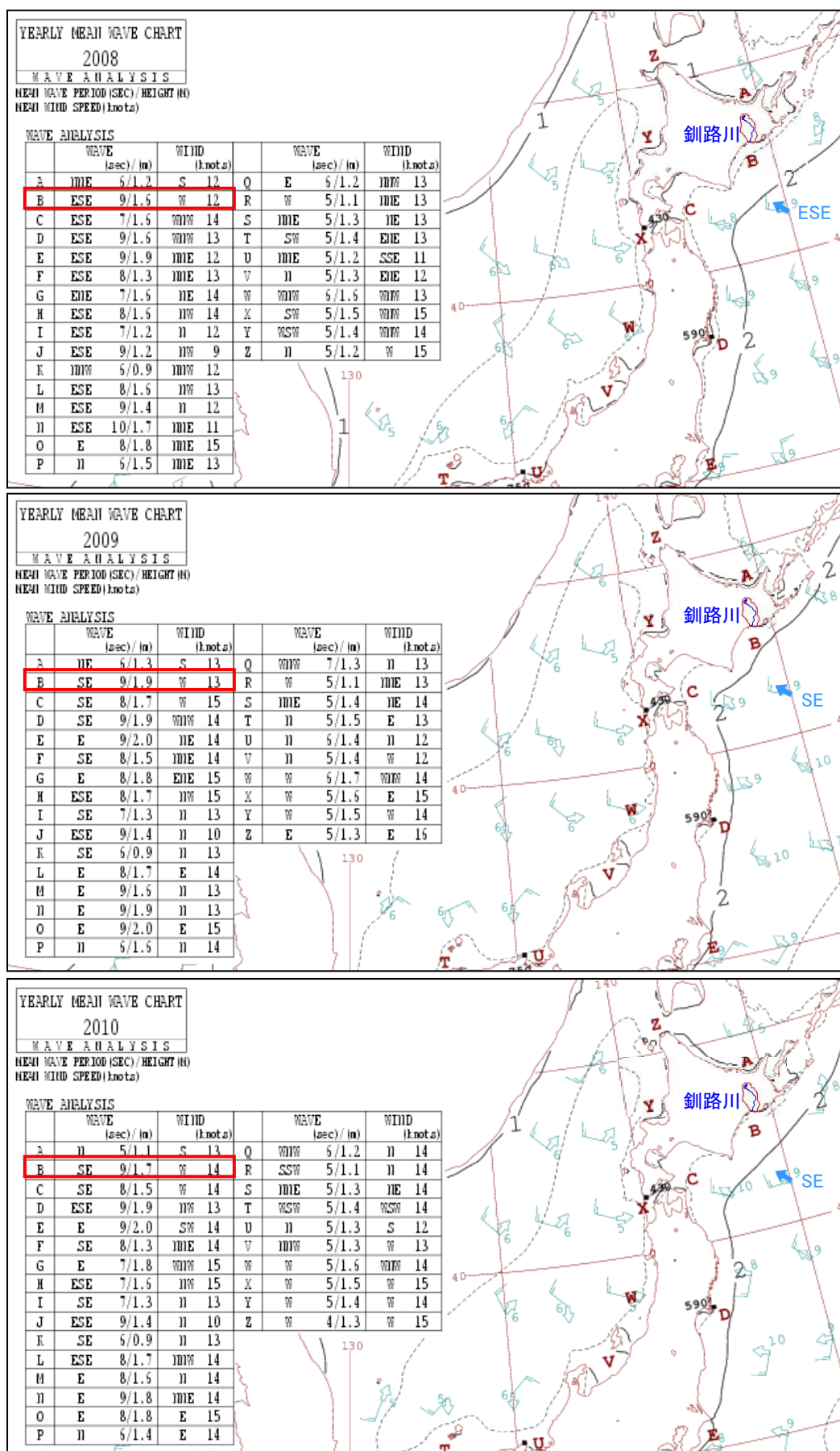


図2-7 平均沿岸波浪図 (2008~2010年、気象庁HPより)

3) 河口地形の変遷

航空写真による河口形状の経年変化（図 2-8、S22～H22 年）を見ると、新釧路川ではこれまで河口閉塞が発生した事例は無いものの、河口部に砂州が発達している状況を読み取ることができる。この新釧路川河口の砂州は、S45 以前は右岸側にのみ発達していたが、S45～H8 の間で導流堤が建設されて以降は左岸側にも形成されるようになり、H8 年以降のデータでは下流側に移動している。

河口部において通水幅の最も狭い場所は KP-0.2～-0.4 に位置しており（図 2-8）、潮位低下時の通水幅は KP-0.4 断面から推測するとおよそ 50m 程度である（図 2-10）。このように通水幅が狭い部分では平均流速が大きくなりやすく、塩水遡上を抑制する要因となることが考えられる。

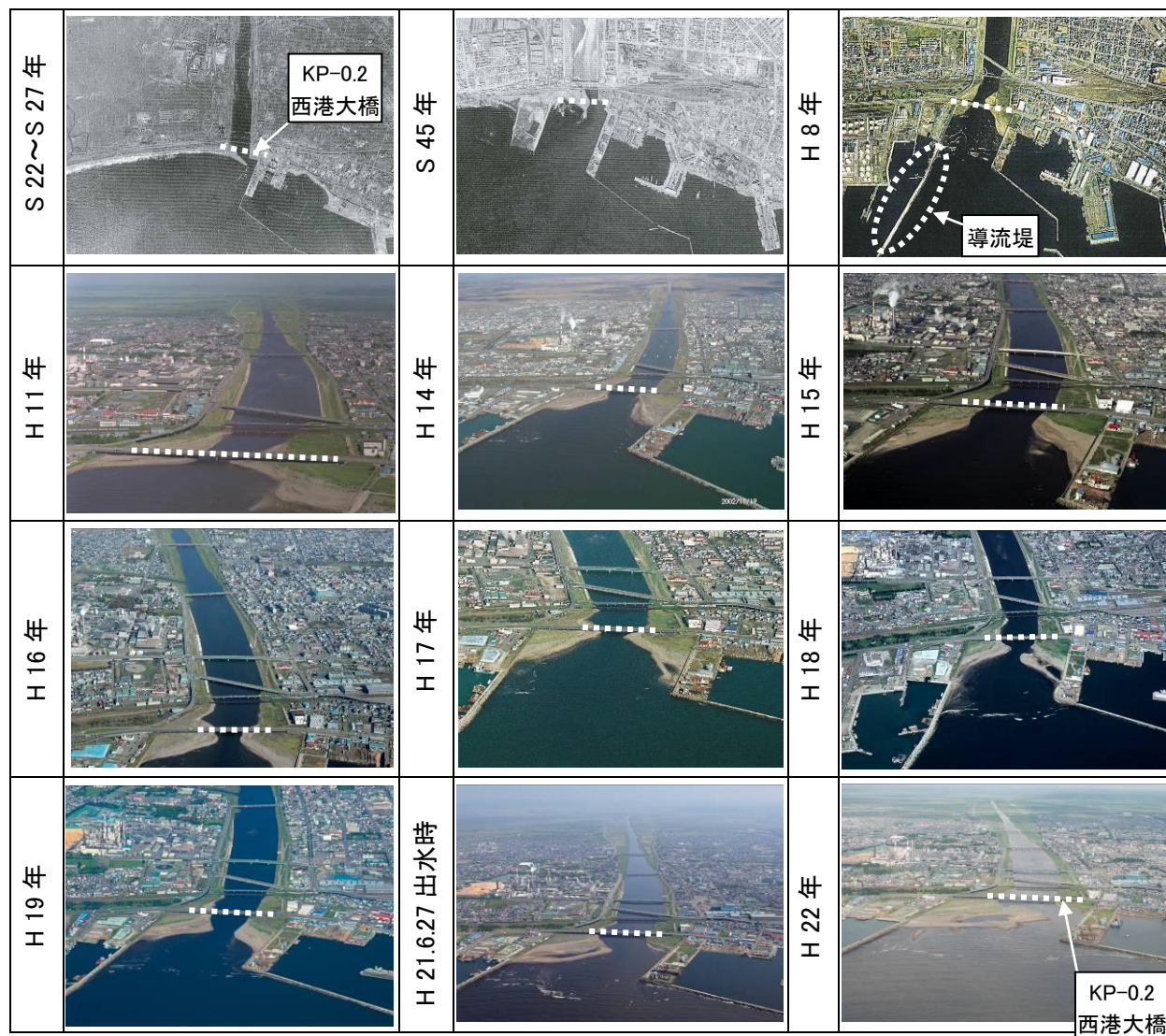


図 2-8 河口地形の経年変化（S22～H22 年）

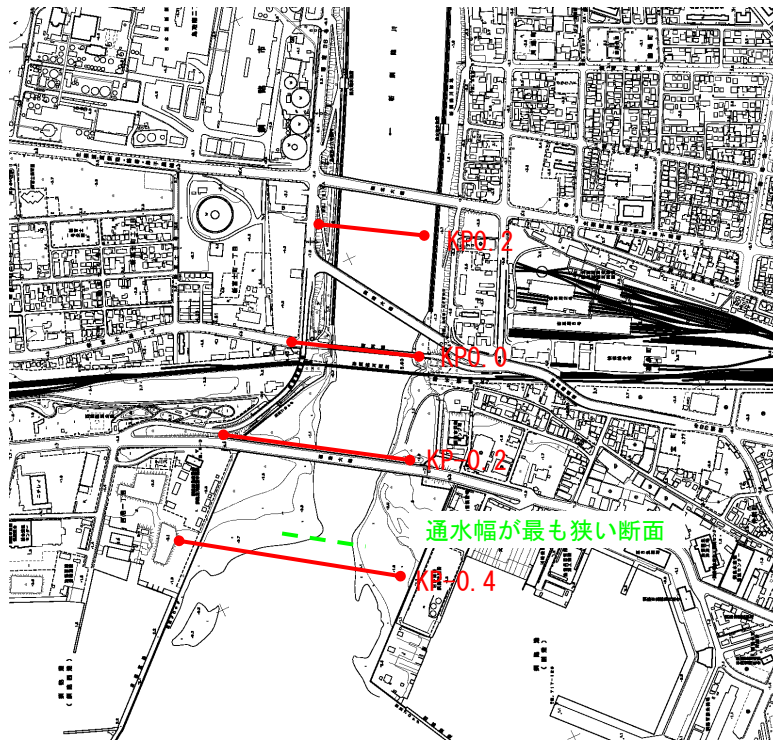


図 2-9 新釧路川河口付近の平面図 (H21.11 測図)

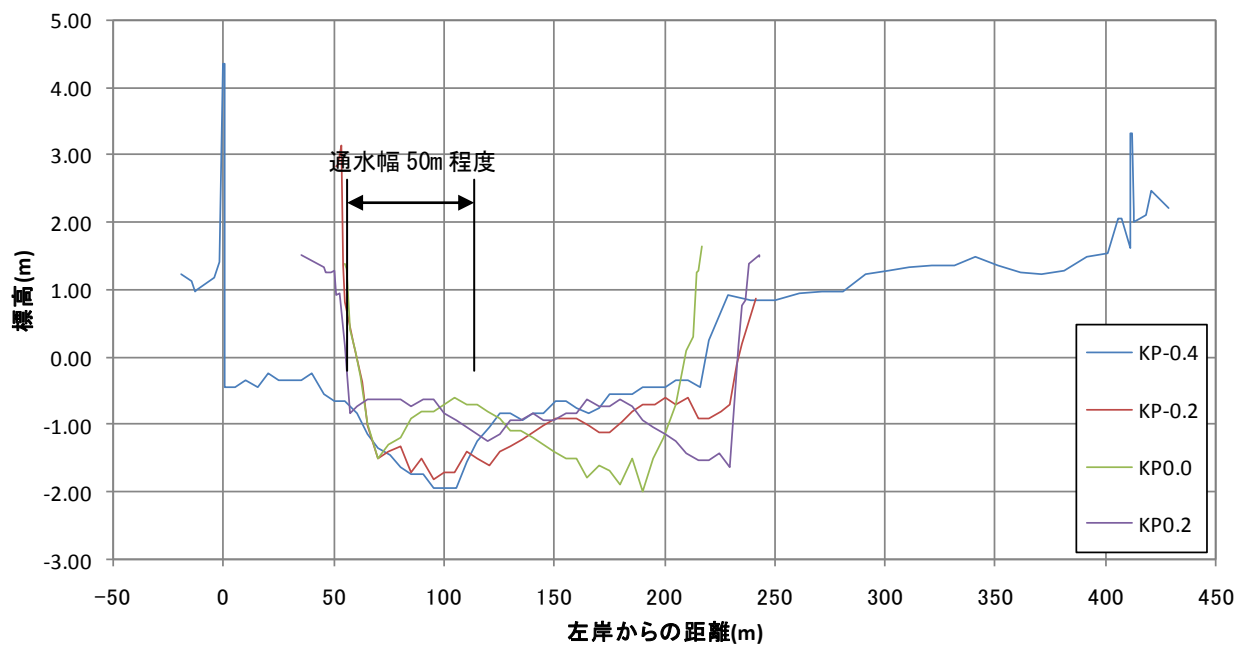


図 2-10 河口部の横断形状重ね合わせ図 (H21 横断測量結果)

2.5 新釧路川の塩水遡上特性

1) 塩水遡上の形態

塩水の遡上形態は、①弱混合型、②緩混合型、③強混合型の 3 パターンに分類されるが、釧路川では塩水遡上時の観測データが不足しており、塩水遡上形態の実態を把握するのは困難である。

そこで、塩水の遡上形態は図 2-11 に示す大潮時潮位変動量と感潮区間長により推察する。大潮期の釧路港潮位変動は概ね 1.7m 程度（図 2-15～18 参照）となっており、岩保木観測所地点（KP11.0）まで潮位変動の影響を受けた水位の変動が見られることから、感潮区間長は 10km 程度であると考えられる。以上より、新釧路川に塩水が遡上した場合、緩混合型の混合形態で塩水が遡上すると考えられる。

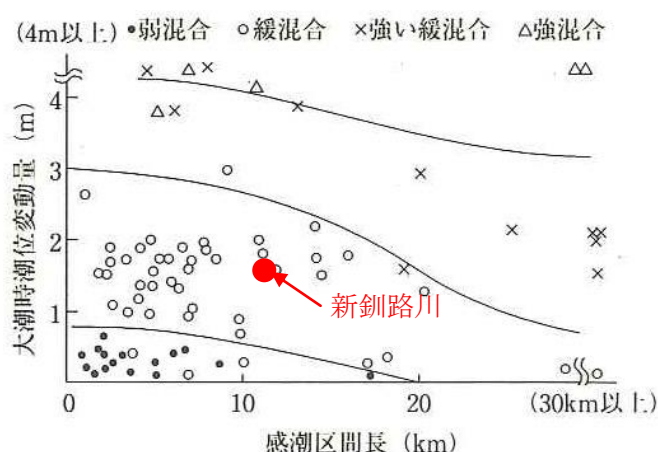


図 2-11 混合形態の区分

(水理公式集[平成 11 年度版], 土木学会に加筆)

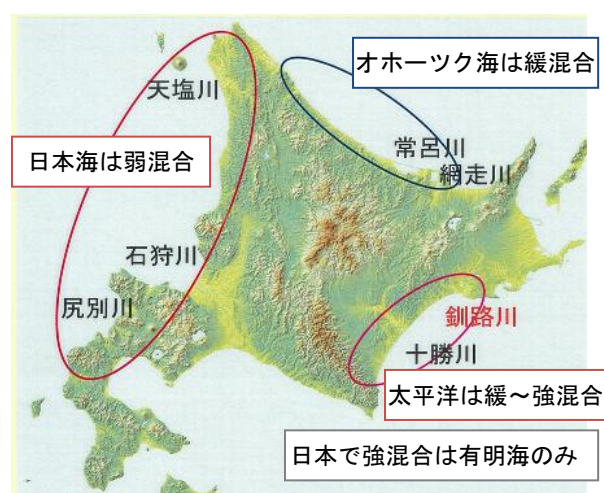


図 2-12 北海道における塩水遡上の実態

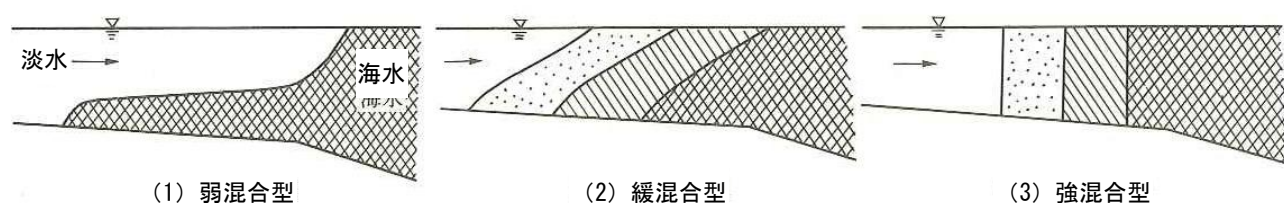


図 2-13 河口密度流の混合形態 (出典：水理公式集[平成 11 年度版], 土木学会)

2) 現地調査による塩水遡上の確認

新釧路川では、平成 21 年度～平成 22 年度の 2 ヶ年にわたり、塩水遡上に関する調査を実施した。

なお、釧路港では冬季の低気圧により高い潮位偏差が出現するケースが多く（表 2-6）、この時期は河川流量が渇水となる時期と重なることから、新釧路川では冬期間に塩水が遡上し易い環境となることが推察されたため、平成 21 年度の調査は冬期間（12 月～2 月）を対象に実施した。

しかし、平成 21 年度の調査では塩水が大きく遡上する結果が得られなかったため、平成 22 年度の調査は夏季～秋季（8 月～12 月）を対象に実施し、年間を通しての状況を把握するように努めた。

調査結果の概要を次項以降に示す。

(1) H21 現地調査

①塩分縦断観測

平成 21 年度の塩分縦断観測は、KP-0.2～KP11.0 の区間（500m 間隔 24 地点）を対象とし、多項目水質計を用いた塩分等の鉛直観測（水深方向 10cm 間隔）を実施した。

大潮時（12/7）の調査では、河川流量が大きく潮位低下後の観測となったこともあり、塩水の遡上は確認されなかった。一方、小潮時（12/25）の調査では、大潮時の調査の時と比較すると河川流量が小さく、高い潮位での観測値となったため、KP-0.2 地点で塩水遡上が確認された（図 2-12）。

表 2-6 調査の概要（H21 塩分縦断観測）

	内 容	備 考
調査内容	多項目水質計を用いた塩分などの鉛直分布・縦断分布の計測	
調査項目	水深・水温・塩分・濁度・Chl-a・溶存酸素	6 項目
調査期間	H21.12.7 8:40～14:10（大潮時） H21.12.25 8:50～15:30（小潮時）	2 回
調査範囲	KP-0.2～KP11.0	24 地点

表 2-7 調査結果（H21 塩分縦断観測）

	12/7 大潮時	12/25 小潮時
広里流量	77.53m ³ /s	57.21m ³ /s
潮位	EL0.34m	EL0.37m
塩水遡上範囲	遡上なし	KP-0.2

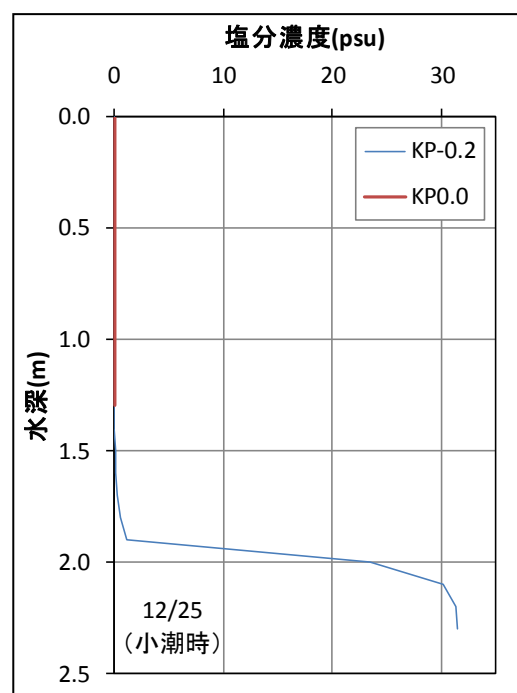


図 2-14 H21 縦断観測結果

※psu：海水の電気伝導度の測定から塩分を求めた際に用いられる実用塩分単位

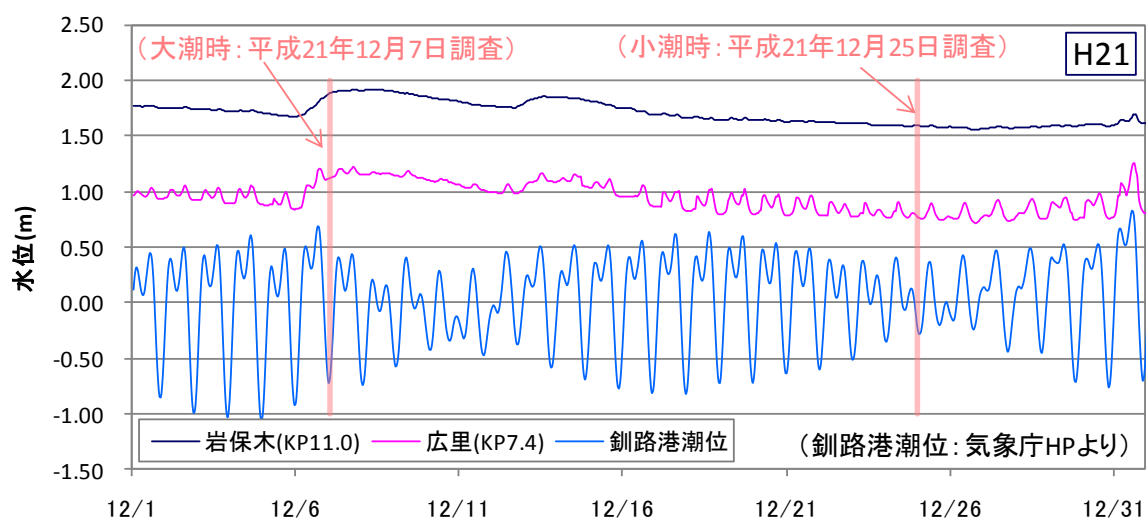


図 2-15 H21 塩分縦断観測時の潮位・水位状況

②自記塩分観測

平成 21 年度の自記塩分観測は、KP0.0～KP8.0 の区間（1km 間隔 9 地点）を対象とし、12 月 25 日～翌年 3 月 3 日の約 2 ヶ月間にわたって、自記塩分計を用いた塩分観測を実施した。

観測期間中に平均潟水流量を下回るような塩水が遡上しやすい水理環境に恵まれなかったこともあり、KP0.0 地点で 2 回、瞬間的に 5psu 程度まで塩分値が上昇する状況が観測されたものの、海水に近い塩分濃度が KP0.0 地点まで到達する状況は確認されなかった。

表 2-8 調査の概要（H21 塩分自記観測）

	内 容	備 考
調査内容	自記式塩分計を用いた連続観測	
調査項目	水温・塩分	2 項目
調査期間	H21.12.25 ～ H22.3.3	およそ 2 ヶ月間
調査範囲	KP0.0～KP8.0	9 地点

表 2-9 調査結果（H21 塩分自記観測）

	12/25～翌 3/3
広里流量	48～93m ³ /s
潮位	EL-1.0m～EL 0.8m
塩水遡上範囲	KP0.0

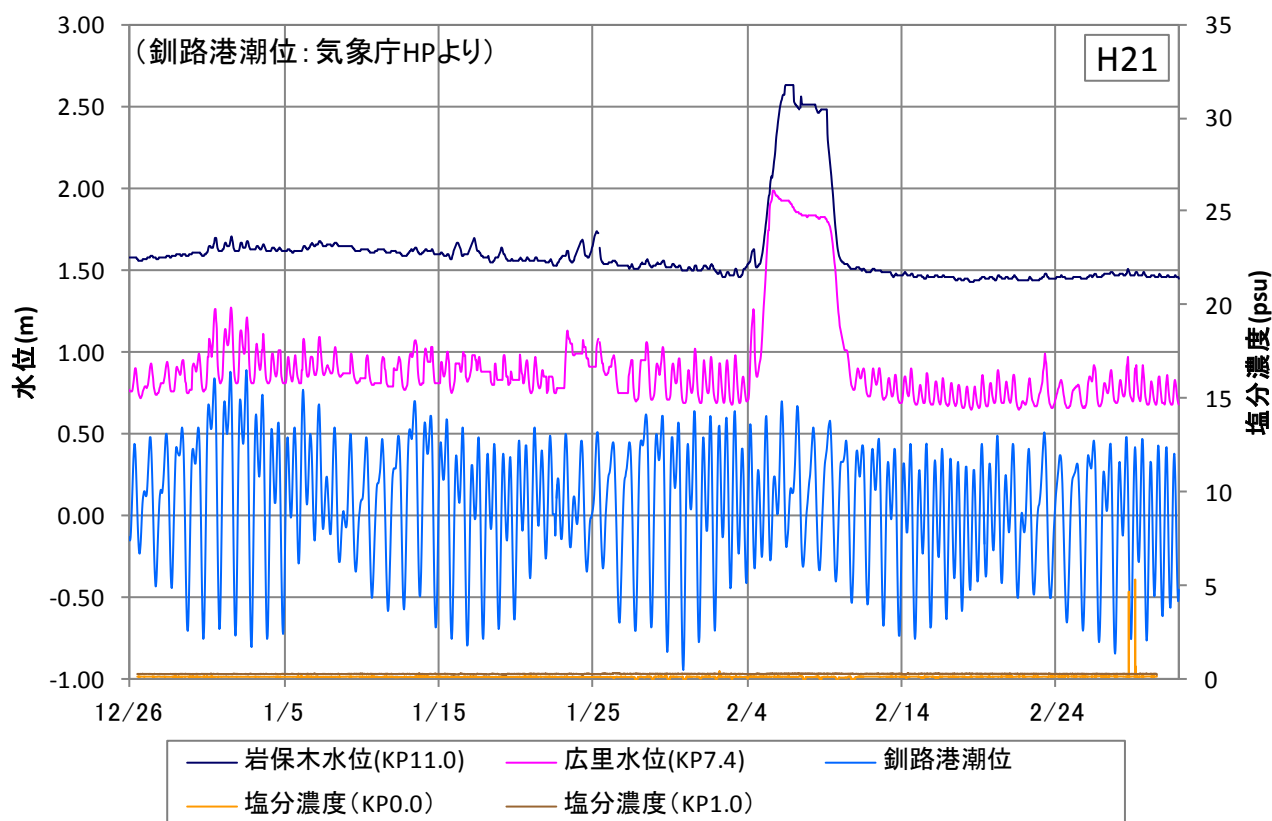


図 2-16 H21 塩分縦断観測時の潮位・水位状況

(2) H22 現地調査

①塩分縦断観測

平成 22 年度の塩分縦断観測は、KP-0.2～KP11.0 の区間（500m 間隔 24 地点）を対象とし、多項目水質計を用いた塩分等の鉛直観測を実施した。

小潮時（9/16）の調査では、平成 21 年度に実施した小潮時調査とほぼ同一の水理条件であったが、塩水の遡上は確認されなかった。一方、中潮時（11/8）の調査では、河川流量がほぼ同一の条件であったものの、小潮時と比較して潮位が 20cm 高く、KP0.0 地点においても高濃度（26psu 程度）の塩水遡上が確認された（図 2-17）。

表 2-10 調査の概要（H22 塩分縦断観測）

	内 容	備 考
調査内容	多項目水質計を用いた塩分などの鉛直分布・縦断分布の計測	
調査項目	水深・水温・塩分・濁度・chl-a・溶存酸素	6 項目
調査期間	H22.9.16 16:31～17:39（小潮時） H22.11.8 13:07～14:25（大潮時）	2 回
調査範囲	KP-0.2～KP11.0	24 地点

表 2-11 調査結果（H22 塩分縦断観測）

	9/16 小潮時	11/8 中潮時
広里流量	55m ³ /s	56m ³ /s
潮位	EL0.38m	EL0.58m
塩水遡上範囲	遡上なし	KP0.0

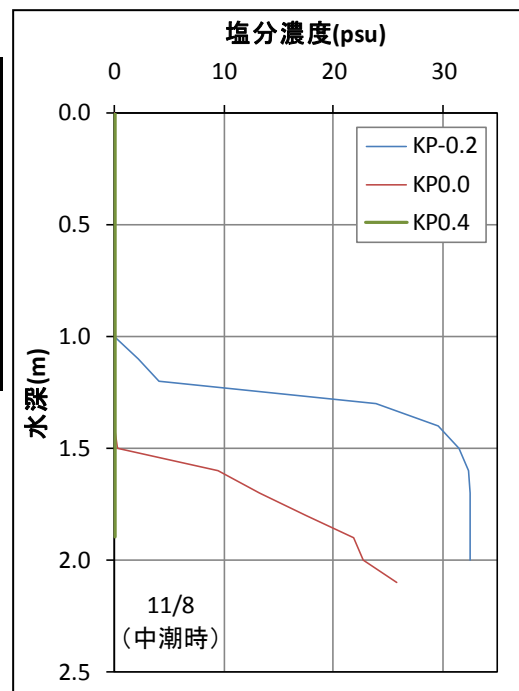


図 2-17 H22 縦断観測結果

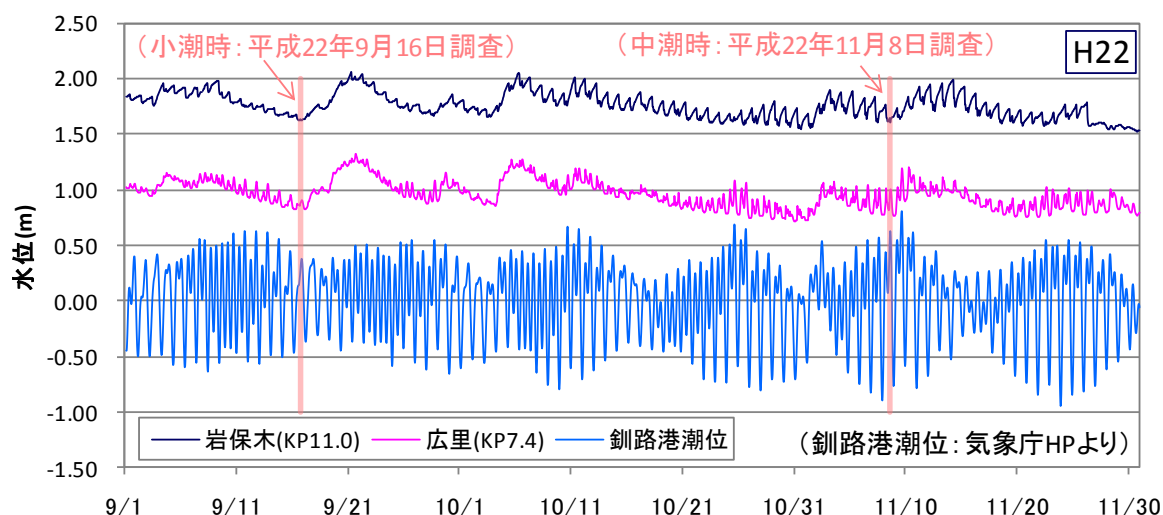


図 2-18 H22 塩分縦断観測時の潮位・水位状況

②自記塩分観測

平成 22 年度の自記塩分観測は、KP-0.2～KP2.0 の区間（500m 間隔 6 地点）を対象とし、8 月 20 日～12 月 20 日の約 4 ヶ月間にわたって、自記塩分計を用いた塩分観測を実施した。

観測期間中では、KP-0.2 および KP0.0 地点で海水に近い濃度まで塩分値が上昇する状況が確認されたが、KP0.4 地点まで塩水が到達する状況は確認されなかった。

表 2-12 調査の概要（H22 塩分自記観測）

	内 容	備 考
調査内容	自記式塩分計を用いた連続観測	
調査項目	水温・塩分	2 項目
調査期間	H22.8.20 ～ H22.12.20	およそ 4 ヶ月間
調査範囲	KP0.0～KP2.0	6 地点

表 2-13 調査結果（H22 塩分自記観測）

	8/20～12/20
広里流量	50～82m ³ /s
潮位	EL-1.0m～EL 0.8m
塩水遡上範囲	KP0.0

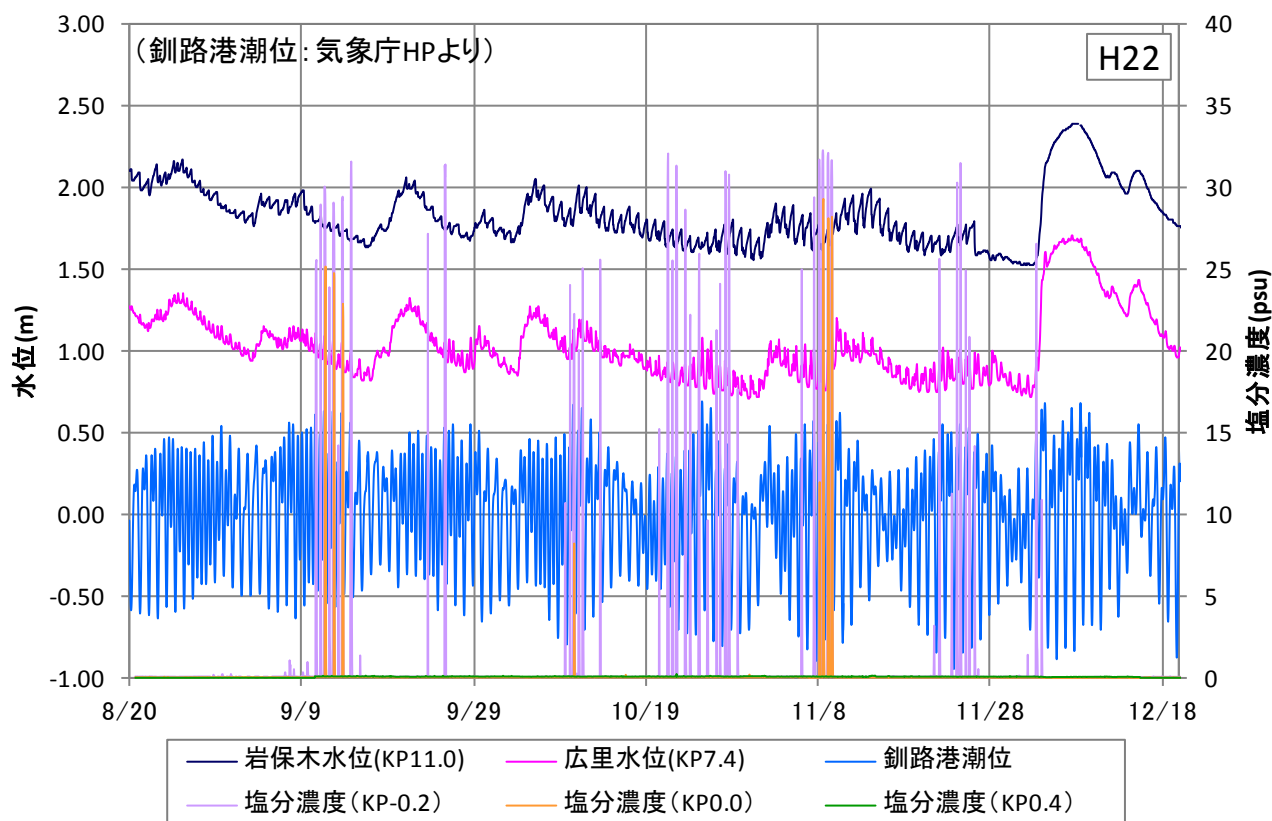


図 2-19 H22 塩分縦断観測時の潮位・水位状況

(3) 釧路川および旧雪裡川における現地調査

河道切替前の釧路川および旧雪裡川を対象に塩分観測を実施し、隣接した河川の塩水遡上範囲の把握を行った。

- ・現地観測は、平成 22 年 8 月 19 日に北見工業大学により実施された。
- ・塩水遡上範囲は、釧路川で河口から約 9km、旧雪裡川で河口から約 11.5km まで確認された。
- ・釧路川および旧雪裡川で現状でも塩水が遡上する要因としては、新釧路川の掘削に伴い上流部が締め切られた滞留水域であるのに加え、新釧路川とは異なり自然河道であるため水深が深いことが考えられる。
- ・また、塩水が遡上している範囲では水際にヨシが繁茂し、ハンノキ等の樹木は水際から離れた位置に生育しているのが確認された。



(4) 現地観測結果の総括

以上のように、平成 21 年～22 年度の 2 ヶ年にわたって実施した塩水遡上に関する現地観測から、以下に示す事項が明らかとなった。

- ・H21、H22 の 2 ヶ年で現地調査を行い、河口部の KP0.0 まで塩水遡上が確認された。
- ・渇水期の河川流量が小さい時期に、塩水が遡上しやすい傾向が見られた。
- ・釧路川、旧雪裡川では、河口から約 10km にわたって塩水の遡上が確認された。
- ・塩水遡上域にある釧路川、旧雪裡川の河岸植生は、ヨシを主体とし、ハンノキやヤナギ等の樹木が水際から離れた位置に生育しているのが確認された。

2.6 新釧路川周辺の地下水特性

1) 降雨との応答関係

A-A'断面及びF-F'断面における地質断面図と地下水位の関係を図2-21に示す。同図から、以下のことが言える。

- ・丘陵の地下水位を観測した地点では、地下水位が年間通じて概ね安定しており、降雨の影響をあまり受けていない（地点 M5）
- ・湿原域の地下水位は中部泥層を境にして上下層で異なる。中部泥層よりも下位の地層では地下水位が地表面よりも高く、上位の地層では地表面以深 1m 程度の範囲に地下水がある(地点 M1、M4)。これより、湿原域では中部泥層が難透水層となり、上下方向の地下水のやり取りを阻害している。

以上より、海面上昇に伴い塩水遡上が延伸した場合、塩水は難透水層である中部泥層より上位の地層に侵入することが想定される。

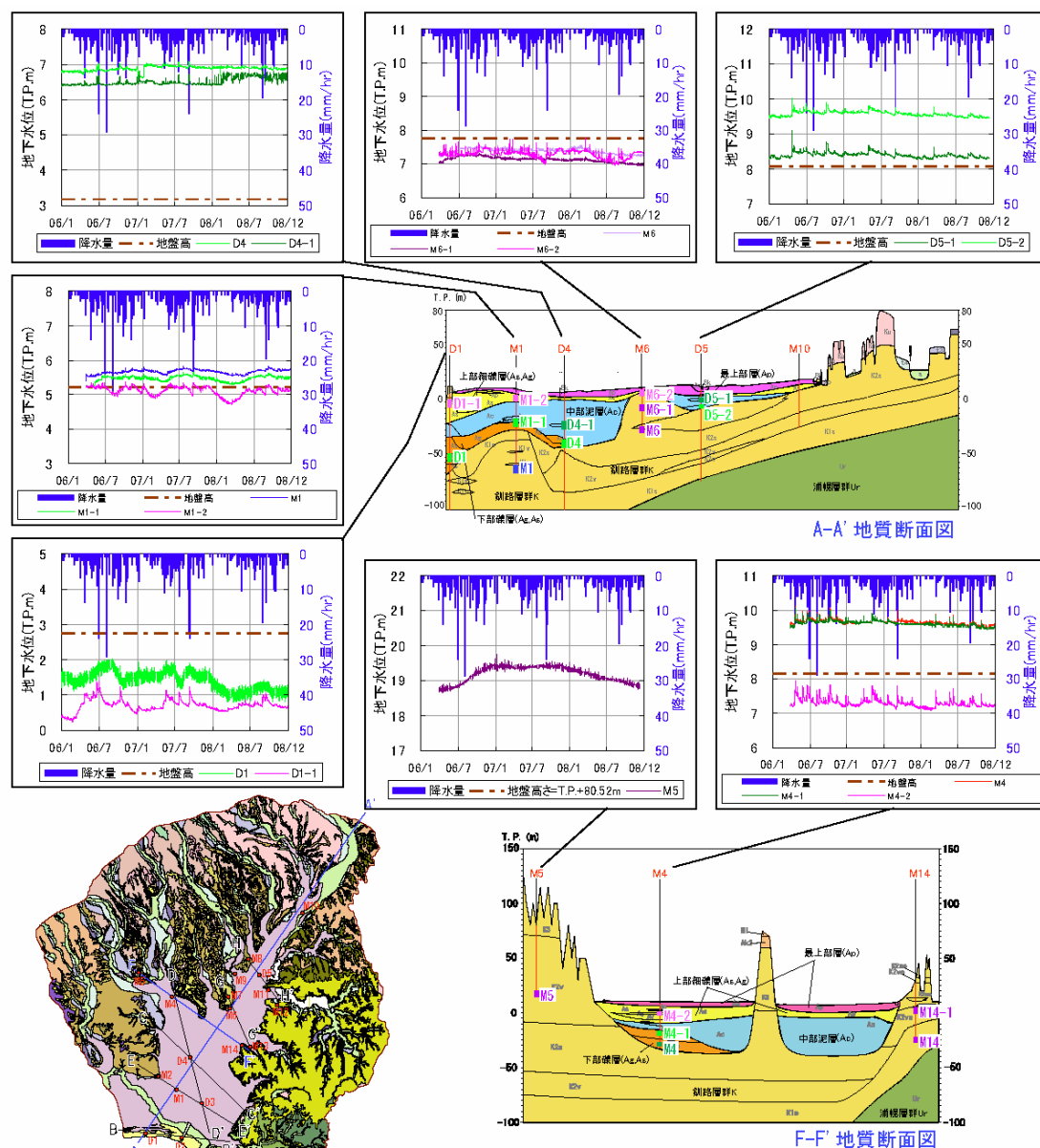


図2-21 地質構造と地下水位
(釧路湿原自然再生事業 水循環に関わる技術資料より)

2) 地下水位の平面分布

H21～H22 年にかけての北海道開発局所管の地下水観測位置（図中□）における平均的な地下水位と H14～H19 年にかけての環境省所管の地下水観測位置（図中☆）における平均的な地下水位を用いた地下水位コンター図を図 2-22 に示す。また、水位観測所近傍の代表地点における地下水位の時間変化を図 2-23～24 に示す。同図から、新釧路川周辺の地下水位には以下の特徴が見られた。

- ・地下水位勾配は右岸側が急で左岸側は緩やかである（図 2-22）
- ・昭和 No.8、湛水池 R は河川水位よりも高い水位で一年を通じて安定している（図 2-23）
- ・昭和 A、湿原 No.8、岩保木 1 号は、出水時に河川水位と連動している（図 2-23、2-24）

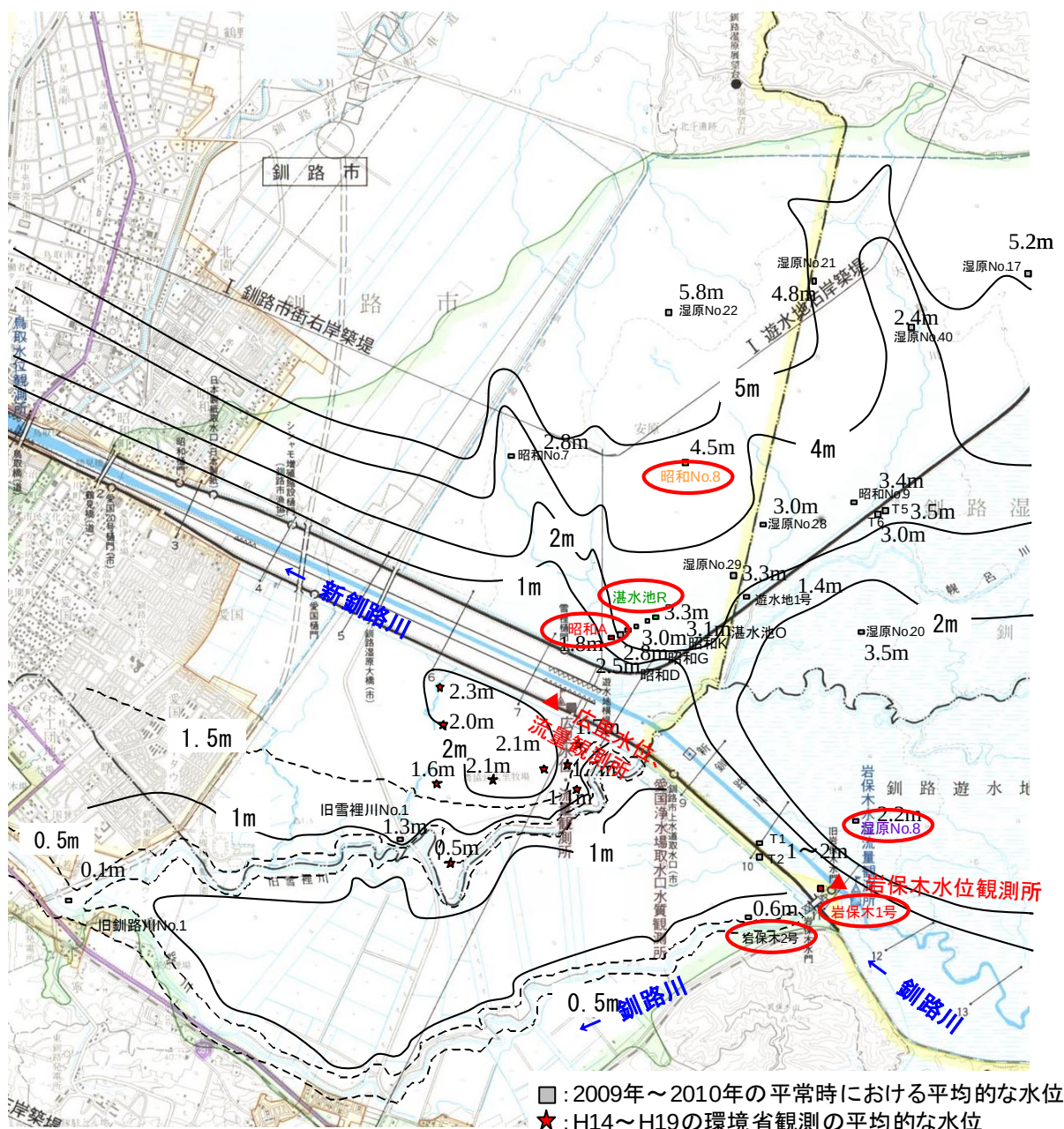


図 2-22 新釧路川周辺の地下水位コンター図

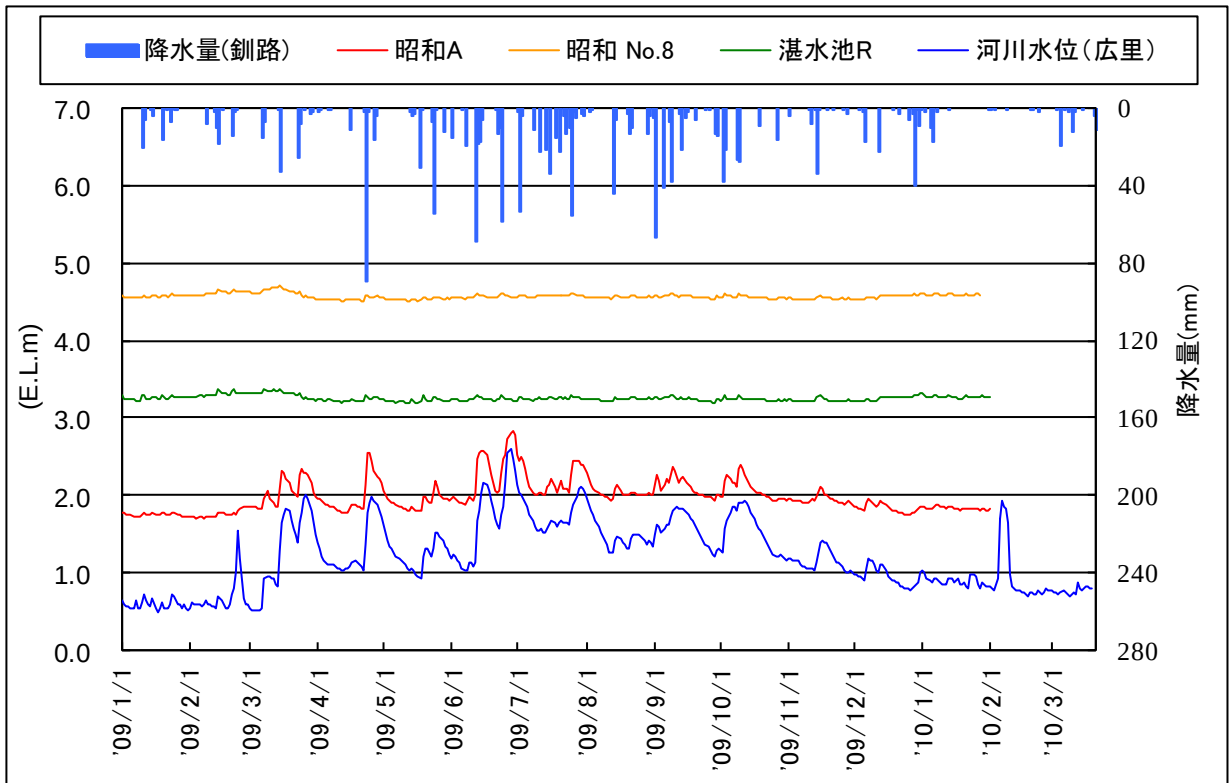


図 2-23 広里河川水位と地下水の関係（広里観測所周辺）

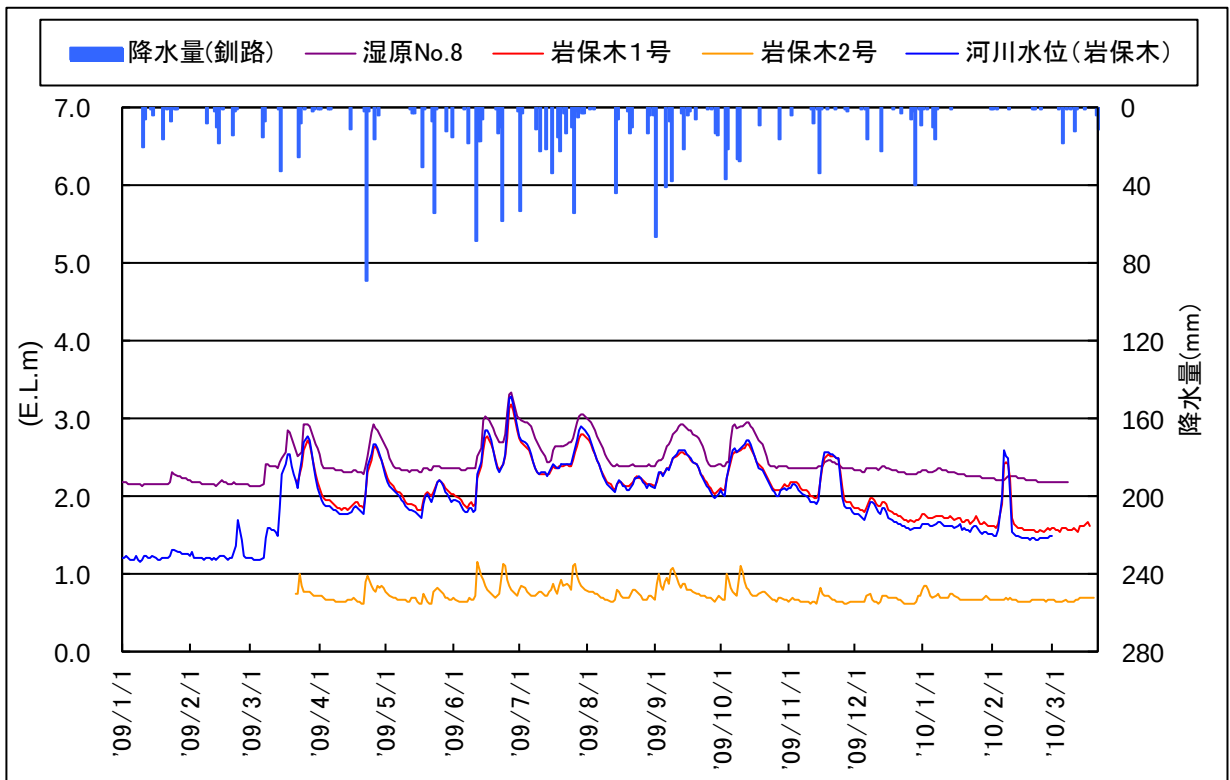


図 2-24 岩保木河川水位と地下水の関係（岩保木観測所周辺）

3. 釧路湿原周辺の地球温暖化による海面上昇の状況と周辺環境に与える影響項目の抽出

3.1 釧路湿原周辺の地球温暖化による海面上昇の状況

1) 現状の気候変動に伴う地球温暖化等の影響に係る報告について

主なものとして、以下に示すものが地球温暖化等の影響に係る報告として整理されている。

①気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第4次報告書の報告

■総合報告書

※日本語訳・資料は、環境省、文部科学省、経済産業省、気象庁が担当
平成19年11月17日

■第1作業部会報告（自然科学的根拠）

※日本語訳・資料は、環境省・経済産業省・気象庁・文部科学省が担当
平成19年2月2日

■第2作業部会報告（影響・適応・脆弱性）

※日本語訳・資料は、環境省・経済産業省・気象庁・文部科学省
平成19年4月10日

■第3作業部会報告（気候変動の緩和策）

※日本語訳・資料は、環境省・経済産業省が担当
平成19年5月4日

上記の内、本技術資料では総合報告書、第1作業部会報告、第2作業部会報告の報告書概要版及び資料を参照し、該当する内容を整理する。

②地球温暖化予測情報 第7巻 平成20年3月 気象庁

③国土交通省河川局の報告

■地球温暖化に伴う気候変化が水災害に及ぼす影響について 平成20年6月 国土交通省

■水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について（答申）

平成20年6月 社会資本整備審議会

④国土交通省土地・水資源局の報告

■「気候変動等によるリスクを踏まえた総合的水資源マネジメント」について（中間とりまとめ）
平成20年5月 「気候変動等によるリスクを踏まえた総合的な水資源管理のあり方について」
研究会

■「気候変動等によるリスクを踏まえた総合的水資源マネジメント」について（中間とりまとめ）
参考資料 平成20年5月「気候変動等によるリスクを踏まえた総合的な水資源管理のあり方
について」研究会

2) 各報告の概要

①IPCC 第4次報告による世界の気候変化予測の概要

IPCC (IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change (気候変動に関する政府間パネル)) とは、世界気象機関 (WMO) 及び国連環境計画 (UNEP) により 1988 年に設立された国連の組織である。任務各国の政府から推薦された科学者の参加のもと地球温暖化に関する科学的・技術的・社会経済的な評価を行い、得られた知見を政策決定者を始め広く一般に利用してもらうことを目的としている。構成最高決議機関である総会 3 つの作業部会及び温室効果ガス目録に関するタスクフォースから構成されている。

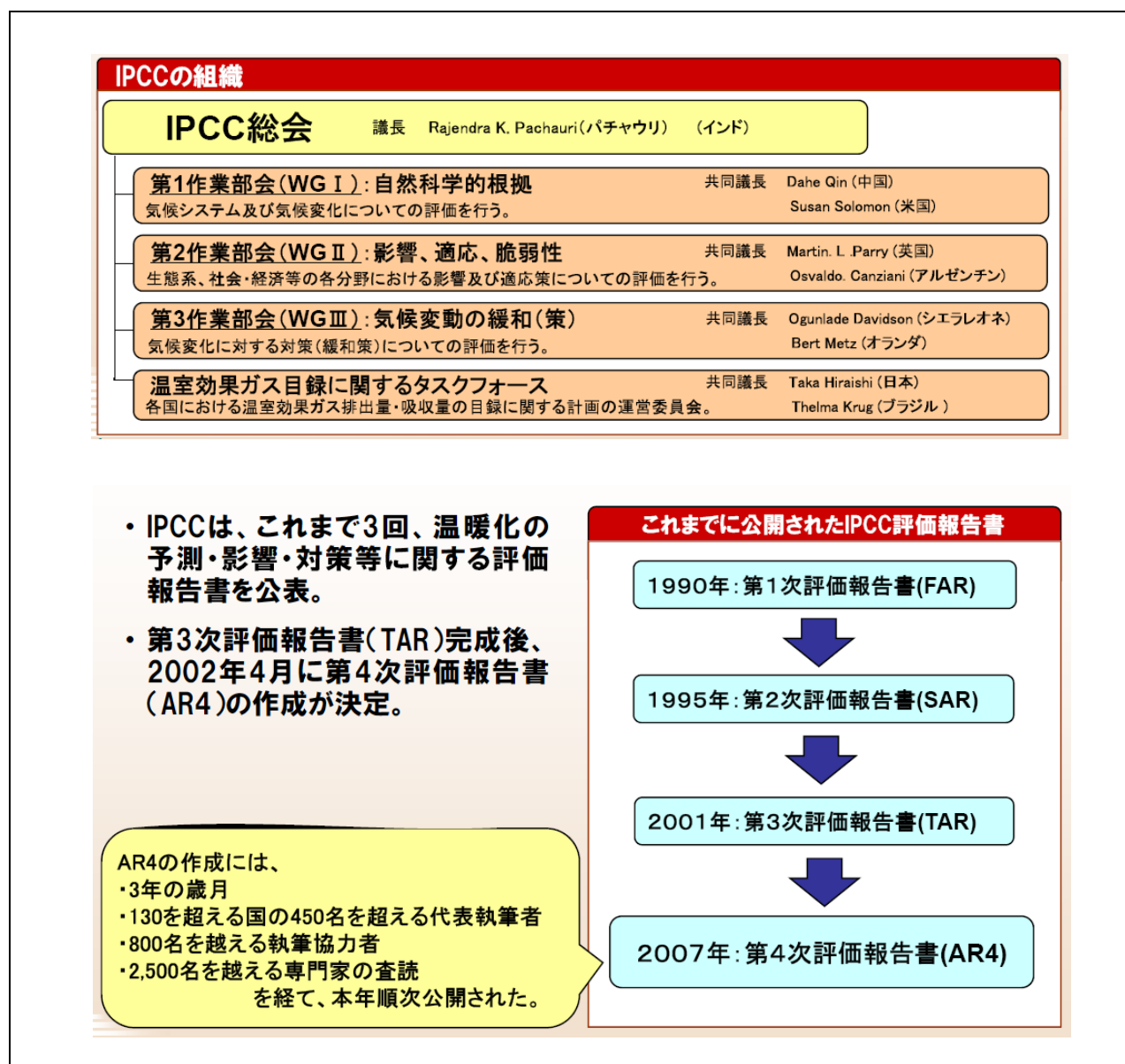


図 3-1 IPCC の組織とこれまでの公開された評価報告書について

予想される気候変化について、世界平均気温は 2100 年に 1.8～4.0 度上昇、世界平均海面水位は 0.18～0.59m 上昇すると予測され（図 3-2）、人為起源の温暖化によって、突然の、あるいは不可逆的な現象が引き起こされる可能性があるとされている。それらについての主な概要については、以下のとおりである。

□ 21 世紀末の気温と海面水位の予測

- ・現在の削減政策を継続した場合、世界の温室効果ガス排出量は、今後 20～30 年増加し続ける。
- ・温室効果ガスが現在と同程度、あるいはそれ以上の割合で増加し続けると、21 世紀にはさらなる温暖化がもたらされ、世界の気候システムに多くの変化が引き起こされる。その規模は、20 世紀に観測されたものよりも大きくなる可能性が非常に高い。

□ 世界平均気温の上昇

- ・予測シナリオ（図 3-3）の範囲では、今後 20 年間に、10 年あたり 0.2℃の割合で気温が上昇すると予測される。
- ・それ以降の温暖化の予測結果に対しては、予測シナリオの影響がより強まる。

□ 平均気温の上昇の分布

- ・21 世紀の温暖化予測は、シナリオにかかわらず、過去数十年間の観測値と似た地理的傾向を示す。
- ・温暖化は北半球高緯度の陸上で最大となり、南洋（南極近くの海洋）及び北大西洋北部において最小となる。

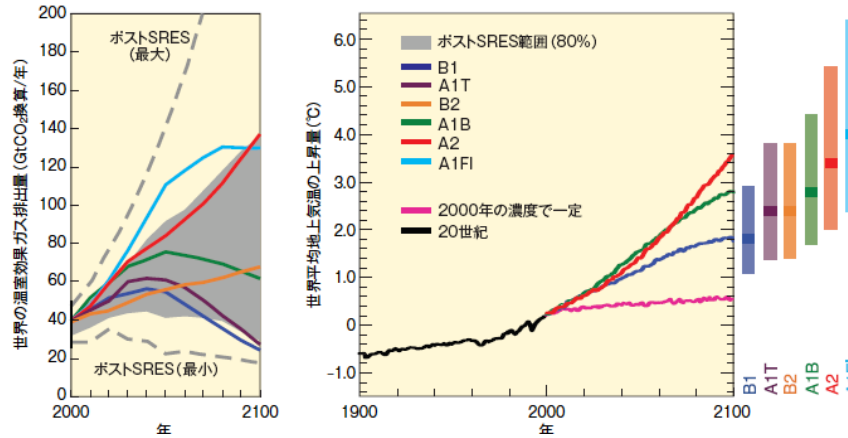
□ 海面上昇の要因

- ・1993～2003 年に気候が海面上昇に及ぼした寄与の総計は、直接観測された海面水位の上昇量と、不確実性の範囲内で一致している（図 3-4）。

□ 河川流量と利用可能水量の変化

- ・今世紀半ばまでに、中緯度の一部の乾燥地域と乾燥熱帯地域では、河川流量と利用可能水量が 10～30%減少すると予測されている。これらの地域の一部は、現在の一人あたりの利用可能水量が少ない地域である。
- ・高緯度地域と一部の湿潤熱帯地域では、河川流量と利用可能水量が 10～40%増加すると予測されている。
- ・アジアの多くの地域では河川流量が増加する（図 3-5）。

2000～2100年の温室効果ガス排出シナリオ（追加的な気候政策を含まない）及び地上気温の予測



シナリオ	気温変化 (1980～1999年を基準とした2090～2099年 の差 (°C)) ^{a,d}		海面水位上昇 (1980～1999年を基準とした2090～2099年の 差 (m))
	最良の推定値	可能性が高い予測幅	モデルによる予測幅 (急速な氷の流出の力学的な変化を除く)
2000年の濃度 で一定 ^b	0.6	0.3～0.9	資料なし
B1シナリオ	1.8	1.1～2.9	0.18～0.38
A1Tシナリオ	2.4	1.4～3.8	0.20～0.45
B2シナリオ	2.4	1.4～3.8	0.20～0.43
A1Bシナリオ	2.8	1.7～4.4	0.21～0.48
A2シナリオ	3.4	2.0～5.4	0.23～0.51
A1FIシナリオ	4.0	2.4～6.4	0.26～0.59

注釈：

a) 気温は、観測値による制約や複合度において様々な階層に属するモデルから得られる最良の推定値と不確実性の予測幅である。

b) 2000年の濃度で一定の構成は、大気海洋結合モデル（大気海洋大循環モデル（AOGCM））のみから得られたものである。

c) 上記シナリオはすべて、6つのSRESマーカーシナリオである。2100年における、人為起源の温室効果ガスとエアロゾルの影響による放射強制力に相当するCO₂換算濃度（第3次評価報告書第1作業部会報告p823を参照）は、B1、A1T、B2、A1B、A2及びA1FIの各SRESマーカーシナリオで、それぞれ約600、700、800、850、1250、1550ppmである。

d) 気温変化は、1980～1999年の期間との差として表わされている。1850～1899年の期間に対する変化を表すためには、0.5℃を足す。

図 3-2 気温変化及び海面水位上昇

○ A1 「高成長型社会シナリオ」

- ・世界中がさらに経済成長し、教育、技術等に大きな革新が生じる。

A1FI：化石エネルギー源を重視

A1T：非化石エネルギー源を重視
(新エネルギーの大幅な技術革新)

A1B：各エネルギー源のバランスを重視

○ A2 「多元化社会シナリオ」

- ・世界経済や政治がブロック化され、貿易や人・技術の移動が制限。
- ・経済成長は低く、環境への関心も相対的に低い。

○ B1 「持続的発展型社会シナリオ」

- ・環境の保全と、経済の発展を地球規模で両立する。

○ B2 「地域共存型社会シナリオ」

- ・地域的な問題解決や世界の公平性を重視し、経済成長はやや低い。
- ・環境問題等は、各地域で解決が図られる。



※これらのシナリオは、追加的な温暖化対策は含んでいない。

図 3-3 排出シナリオの概要

海面水位上昇の要因	海面水位の上昇率(mm/年)	
	1961～2003	1993～2003
熱膨張	0.42±0.12	1.6±0.5
氷河と氷帽	0.50±0.18	0.77±0.22
グリーンランド氷床	0.05±0.12	0.21±0.07
南極氷床	0.14±0.41	0.21±0.35
海面水位上昇に寄与する個別要因の合計	1.1±0.5	2.8±0.7
観測された海面水位上昇	1.8±0.5※1	3.1±0.7※1
差異(観測値から気候の寄与の推計値の総計を引いたもの)	0.7±0.7	0.3±1.0

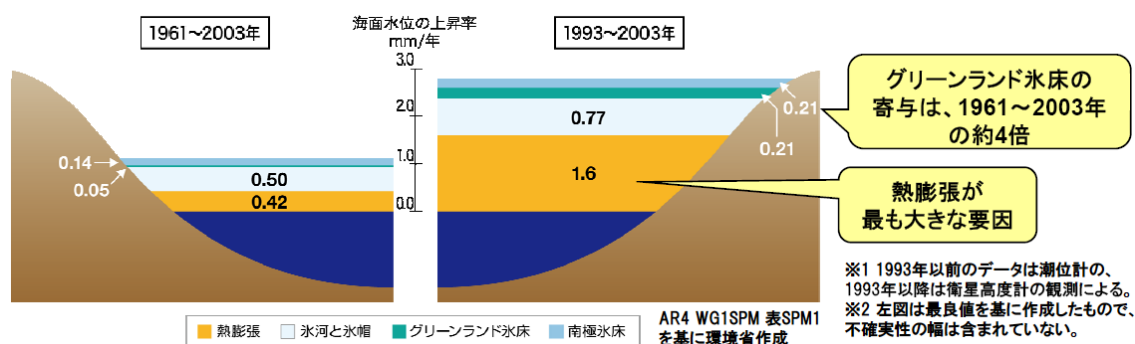


図 3-4 海面水位上昇の要因

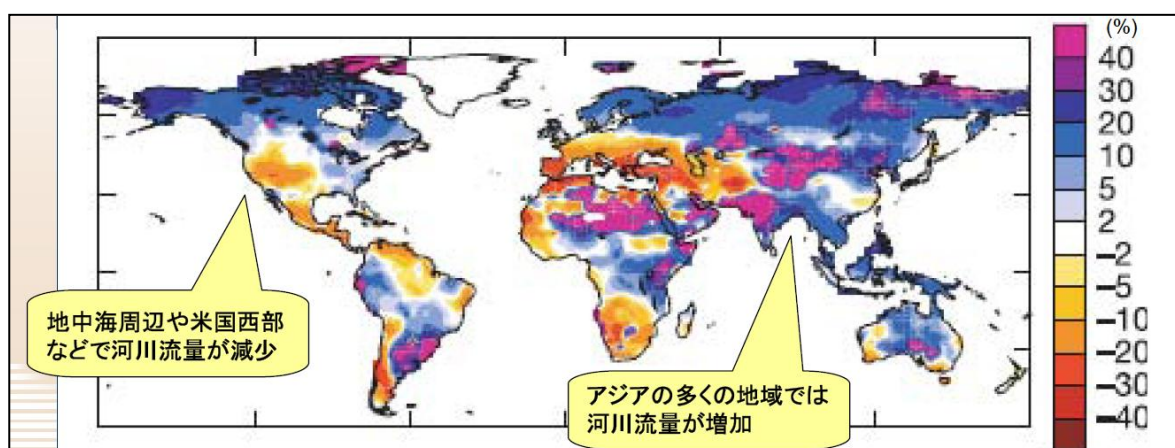


図 3-5 2050 年までの年間河川流量の平均変化 (%)

②地球温暖化予測情報第7巻（気象庁）による日本の気候変化予測の概要

地球温暖化予測情報第7巻（気象庁）より日本の気候変化予測の概要を以下に引用し示す。

気象庁では、地球温暖化による影響評価、地球温暖化の緩和策および適応策の検討の推進、地球温暖化に関する科学的知見の普及・啓発などに寄与することを目的に、平成8年度から地球温暖化予測モデルの結果を「地球温暖化予測情報」として公表している。

近年、我が国では、温暖化対策の策定に向けた取り組みが活発に行われており、これらの取り組みには、日本周辺の詳細な気候変化に関する予測が不可欠であることから、水平分解能 20km の地域気候モデルを用いた約 100 年後の日本周辺の詳細な予測実験の結果を「地球温暖化予測情報 第6巻」として平成 17 年に発行した。

今回の第7巻では、海洋モデルを結合させて地域ごとの気候特性をより明瞭に表現できるようになった大気・海洋結合地域気候モデル CRCM2 を用いて、これまで詳細な予測が行われていなかったわが国周辺の降雪や海洋の変化に着目して、日本付近の気候変化予測をとりまとめた。本書では、IPCC の SRES シナリオのうち、第4次評価報告書で主なシナリオとして取り上げられた A1B および B1 シナリオに基づく、日本付近の約 100 年後の寒候期（12～3 月）における大気の予測と年平均の海洋の予測を掲載している。

■ A1B シナリオの概要

高度経済成長が続き、世界人口が 21 世紀半ばにピークに達した後に減少、新技術や高効率化技術が急速に導入される未来社会を描いている。グローバル化が進み、社会構造や1人当たり所得の地域間格差は大幅に縮小する。化石燃料、非化石燃料のいずれのエネルギー源にも過度に依存することなく、すべてのエネルギー供給・利用技術の改善度が同じであると仮定している。

※A1 シナリオ群の内、化石エネルギー源を重視した最も危険側の A1F1 シナリオについては、地球温暖化予測情報第7巻のシナリオには含まれていない

■ B1 シナリオの概要

B1 シナリオで描かれる未来社会では環境が重視され、経済、社会及び環境の持続可能性のための世界的な対策に重点が置かれる。21 世紀半ばに世界人口がピークに達した後に減少するが、経済構造はサービス及び情報経済に向かって急速に変化し、物質志向は減少し、クリーンで省資源の技術が導入される。グローバル化が進み地域間格差が縮小する点については、A1B シナリオと同様である。

【寒候期の降水量の変化】

- 21 世紀末の寒候期の降水量は、沖縄・奄美を除いて増加傾向。
- 北海道、東北日本海側で 10～30%増加（A1B シナリオ）

大気・海洋結合地域気候モデル CRCM による現在気候(1981～2000 年平均)における寒候期（12～3 月）の降水量と、将来気候（2081～2100 年平均）における降水量の比を図 3-6（左：A1B シナリオによる予測、右：B1 シナリオによる予測）に示す。また、地域別に平均した降水量の変化を図 3-7 に示す。

A1B シナリオ、B1 シナリオとも、ほとんどの地域で降水量が増加する傾向となっており、特に北日本での増加が目立っている。この結果は、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第 4 次評価報告書で採用されている 21 の気候モデルの計算結果から解析された A1B シナリオにおける冬季（12～2 月）の降水量変化予測結果（図 3-8）と概ね一致する傾向の予測となっている。

地域別に平均した変化量（図 3-7）を見てみると、北海道、東北日本海側、および北陸では、A1B、B1 いずれのシナリオでも増加している。北海道と東北日本海側では、特に A1B シナリオでの増加率が大きく、現在気候における標準偏差の上限を A1B における降水量が上回っている。これは、現在気候で多雨・多雪とされる年の降水量が、A1B シナリオの将来気候では頻繁に出現することを意味している。A1B シナリオでは北海道で降水量が約 25%増加すると予測されており、これは降水量の絶対値では 80～100mm 程度の増加に相当する。後述する降雪量の変化の予測によれば、北海道の標高の高い地域では、これと同程度の降雪量の増加が予測されており、増加する降水量の大半が雪として降ることを示している。一方、標高の低い地域では降雪量はほとんど変化しないと予測されていることから、逆に増加する降水量のほとんどが雨として降ることを示している。東北以南では、降水量が増加する一方で、降雪量が減少するため、雨として降る降水量が増加することになる。B1 シナリオの三陸沖では、海面水温の変動の影響で降水量の減少域が現れている。大気と海洋は、温室効果ガスの増加に伴い長期的な傾向としては温暖化しつつも、数年から数十年周期の自然変動による一進一退を繰り返す。気候モデルでもこのような自然変動が現れ、B1 シナリオの将来気候では三陸沖で低温傾向となっており、結果としてこの海域では温暖化による変化量が一部打ち消されている。三陸沖の海面水温の変動は、東北太平洋側の降水量予測にも影響を与えている可能性があり、変化量の解釈には注意を要する。

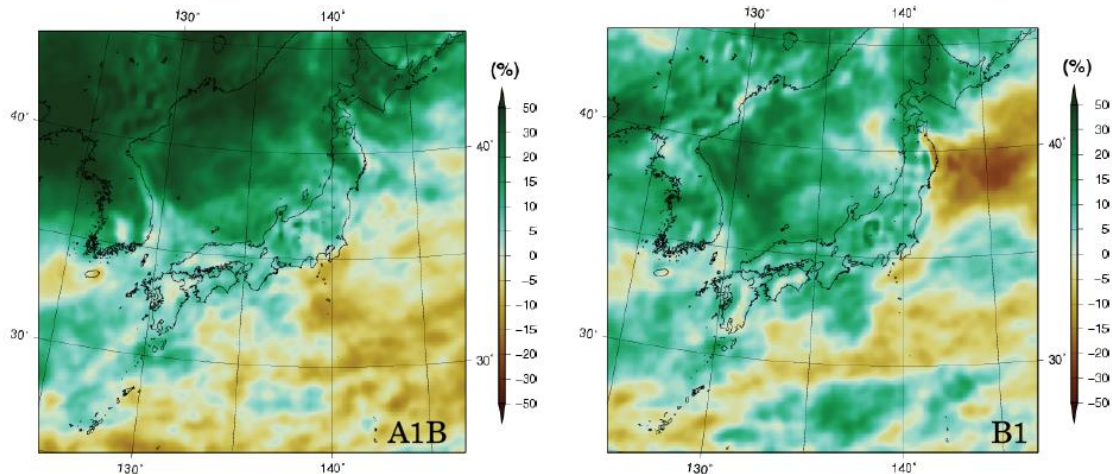


図 3-6 CRCM による寒候期（12～3 月）の降水量の将来変化予測（%）

※左：A1B シナリオ、右：B1 シナリオ。B1 シナリオで三陸沖に見られる降水量減少域は、温暖化とは異なる要因による自然変動を反映したものと考えられる。

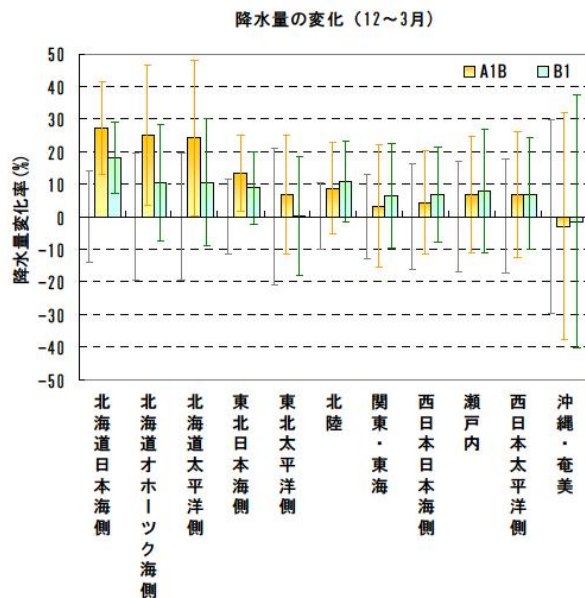


図 3-7 CRCM による寒候期（12～3 月）の地域別
降水量の将来変化予測

※橙色の棒グラフは A1B シナリオ、緑色の棒グラフは B1 シナリオで、現在との比として示されている。灰色、橙色、緑色の細線はそれぞれ現在、A1B、B1 における年々変動の標準偏差の幅を表す。

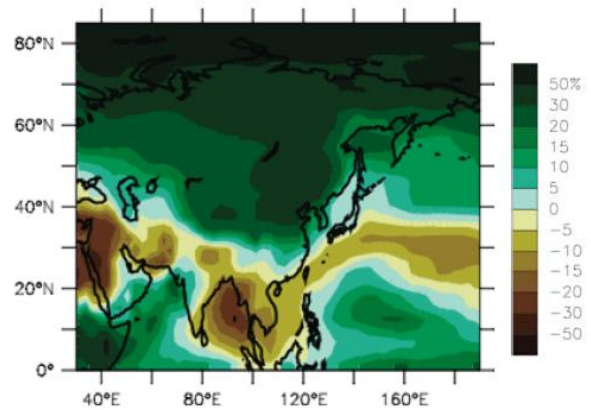


図 3-8 気候変動に関する政府間パネル
（IPCC）第 4 次評価報告書第 1 作業部会報告書で地球温暖化予測に用いられた 21 の気候モデルの冬季（12～2 月）の降水量変化予測結果

※1980～1999 年の平均降水量に対する 2080～2099 年の平均降水量の変化率で、A1B シナリオに基づいている。日本付近では高緯度ほど増加率が大きい。同報告書第 11 章より引用

【降雪量の変化】

- 21 世紀末の日本の降雪量は、北海道を除くほとんどの地域で、A1B シナリオ、B1 シナリオともに減少し、B1 よりも A1B で減少量が多い。
- 北海道の標高の高い地域では、A1B シナリオ、B1 シナリオともに降雪量が増加し、B1 よりも A1B で増加量が多い。

大気・海洋結合地域気候モデル CRCM による現在気候(1981～2000 年平均)における寒候期(12～3 月)の総降雪量と、将来気候(2081～2100 年平均)における総降雪量の差を図 3-9(上:A1B シナリオによる予測、下:B1 シナリオによる予測)に示す。また、地域別の 12～3 月の総降雪量の変化を、標高の低い地域(300m 未満)の平均と標高の高い地域(300m 以上)の平均に分けて図 3-10 に示す。降雪量の算出にあたっては、日平均地上気温が 4℃以下の日の降水を降雪とみなし、現在気候と将来気候における総降雪量の 20 年平均の変化量を降水量換算(mm)で表している。

北海道を除く地域では、A1B、B1 シナリオとも寒候期を通算した総降雪量は減少となっている。A1B での減少量が大きく、現在気候の年々変動の標準偏差の下限を下回っている。これは、現在気候で少雪とされる年の降雪量が、将来気候では頻繁に出現することを意味している。

北海道では、12～3 月を通算した降雪量は標高の低い所では減少も見られるものの、標高の高い所では北海道内全域でシナリオに関わらず増加している。A1B シナリオの日本海側とオホーツク海側では、降雪量の増加が現在気候の年々変動の標準偏差の上限を上回っており、これは現在気候で多雪とされる年の降雪量が、将来気候では頻繁に出現することを意味している。

一般に、北海道から西日本にかけての日本海側では、大陸からの寒冷な季節風が比較的暖かい日本海から水蒸気の供給を受けて雲が発生し、雪を降らせる。太平洋側とオホーツク海側では、大陸から南下する寒気の前面で発達する低気圧によって降雪がもたらされる場合が多い。温暖化に伴って降雪量が増加又は減少する要因として、

- ①気温が上昇すると大気に含まれる水蒸気量が増えるため増加
- ②海面水温が上昇して海面から大気により多くの水蒸気供給されるため増加
- ③気温が上昇し雪ではなく雨として降る場合が増えるため減少

が挙げられる。北海道から西日本にかけて総降水量で見ると増加する傾向が予測されているが、東北以南では温暖化に伴って③の効果が卓越して降雪量が減少するものと考えられる。一方、北海道の標高の高い地域では、温暖化しても十分に寒冷なため③よりも①②の効果が上回って降雪量が増加するものと考えられる。

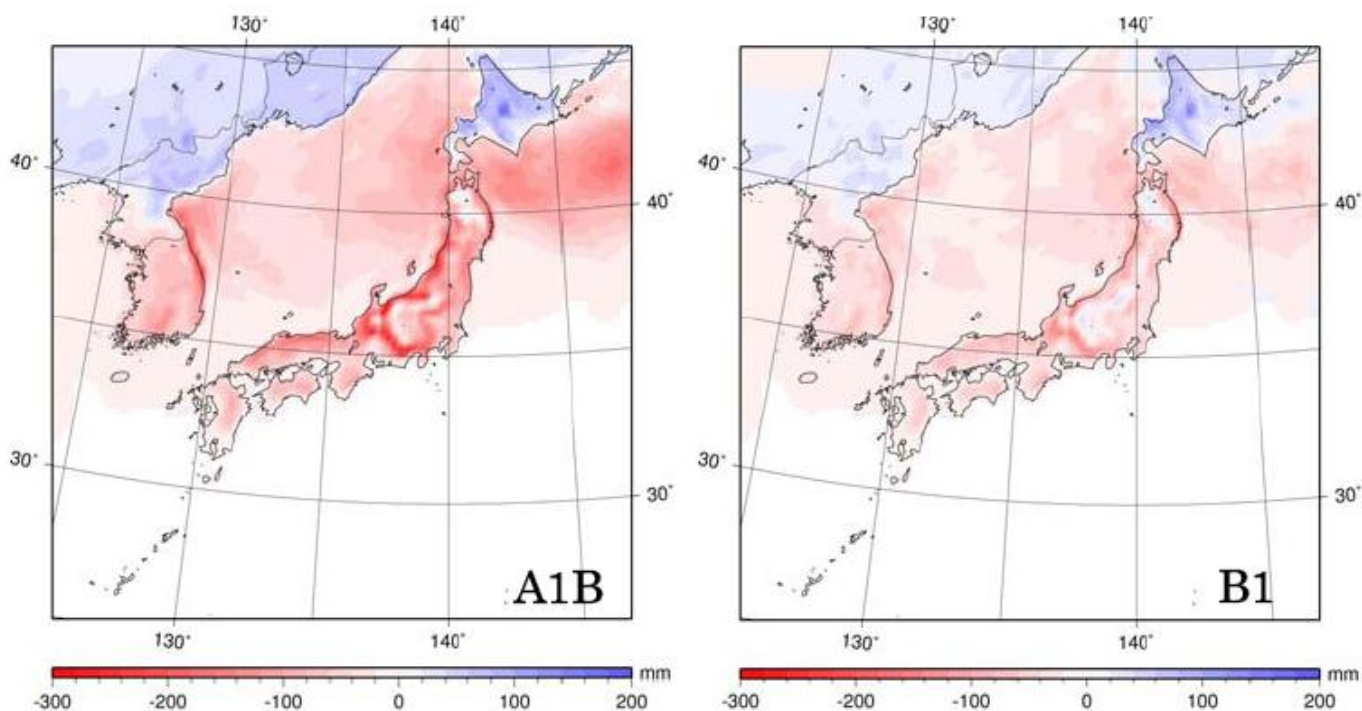


図 3-9 CRCM による寒候期（12～3 月）の総降雪量の将来変化量予測

※降水量に換算した値(mm)で示す。左：A1B シナリオ、右：B1 シナリオ

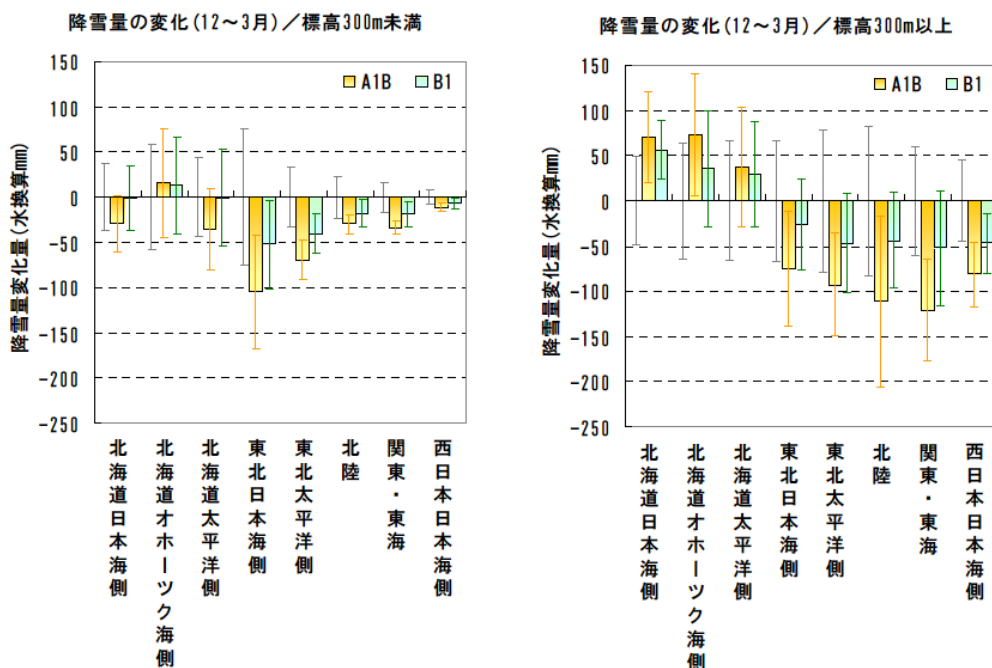


図 3-10 CRCM による寒候期（12～3 月）の地域別総降水量の将来変化予測

※降水量に換算した値(mm)で示す。橙色の棒グラフは A1B シナリオ、緑色の棒グラフは B1 シナリオで、現在との差として示されている。灰色、橙色、緑色の細線はそれぞれ現在、A1B、B1 における年々変動の標準偏差の幅を表す。左は標高の低い地域（300m未満）、右は標高の高い地域（300m以上）の平均

【年平均海面水位の変化】

- 日本付近の海面水位は上昇し、21 世紀末までの長期変化傾向は、A1B シナリオの場合で 100 年あたり 0.09～0.19m 程度、B1 シナリオの場合で 100 年あたり 0.05～0.14m 程度である（ただし、グリーンランドや南極の氷床など陸氷の縮小による寄与は含まれていない）。
- A1B シナリオの海面水位の上昇は、すべての海域で B1 シナリオよりも大きい。

北太平洋海洋モデルNPOGCMの1981～2100年までの将来予測から算出した日本近海の海域ごとの年平均海面水位の長期変化傾向（100年あたりの変化量）を、図3-11に示す。

21 世紀末の日本付近の海面水位は、A1B シナリオの場合で 100 年あたり 0.09～0.19m 程度、B1 シナリオの場合で 100 年あたり 0.05～0.14m 程度上昇する予測となっている。ただし、この上昇量は温暖化に伴う海水温の上昇による熱膨張と海流の変化による水位変化から算出されており、グリーンランドや南極の氷床など陸氷の縮小による寄与は含まれていないため、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第4次評価報告書（2007）に示された21世紀末の全球平均海面水位の上昇量（A1B シナリオ:0.21～0.48m、B1 シナリオ:0.18～0.38m）よりも小さい値となっている。しかし、同報告書と同様に、すべての海域で B1 シナリオよりも A1B シナリオで海面水位の上昇量が大きい。

海域別の特徴を見てみると、南西諸島では A1B、B1 いずれのシナリオでも他の領域と比較して海面水位の上昇量がやや大きくなっている。

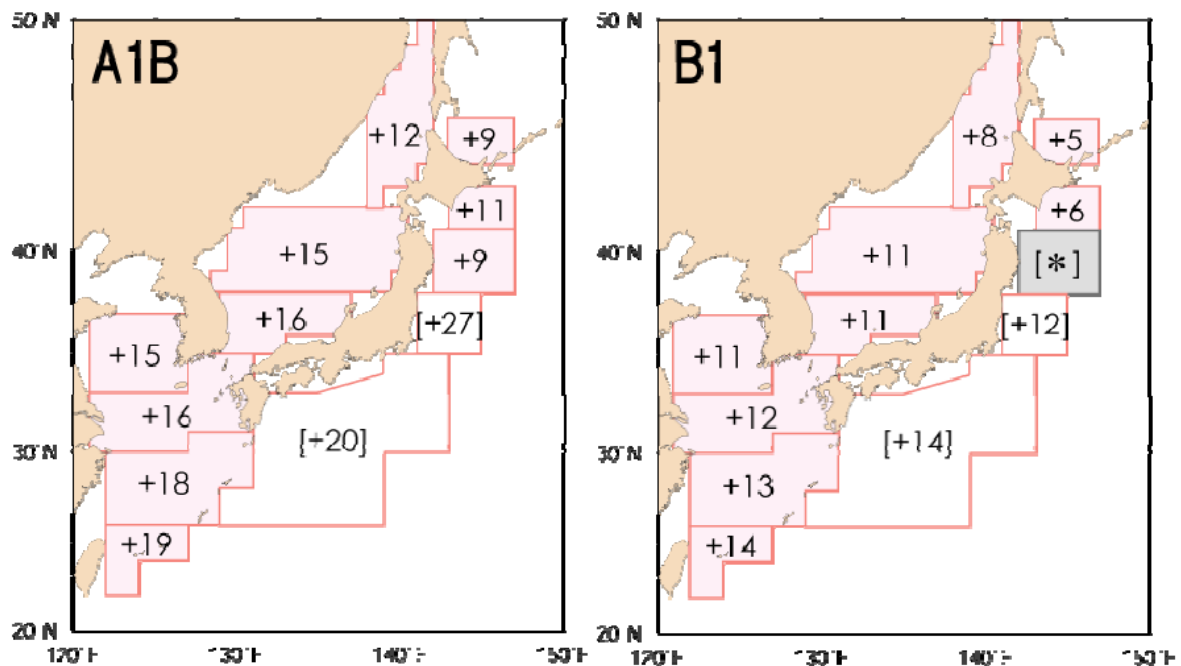


図3-11 日本近海の海域別海面水位（年平均）の長期変化傾向の将来予測（cm/100年）

※NPOGCMによる1981～2100年の将来予測をもとに、一次回帰分析によって求めた海域別海面水位の100年あたりの変化量。左はA1Bシナリオ、右はB1シナリオによる予測結果を示す。

[*]で示す海域は、長期変化傾向が統計的に有意でないことを示す。数値を大括弧[]で囲んだ海域は将来予測の長期変化傾向の不確か性が大きいと考えられるため、利用する場合には留意する必要がある。

③地球温暖化に伴う気候変化が水災害に及ぼす影響及び適応策の概要

国土交通省河川局の「地球温暖化に伴う気候変化が水災害に及ぼす影響及び適応策の概要」から将来予測に係る部分について抜粋した。

当該資料では、地球温暖化が水分野にもたらす脅威を図 3-12 に示す通り設定しており、災害の観点からの整理がされている。

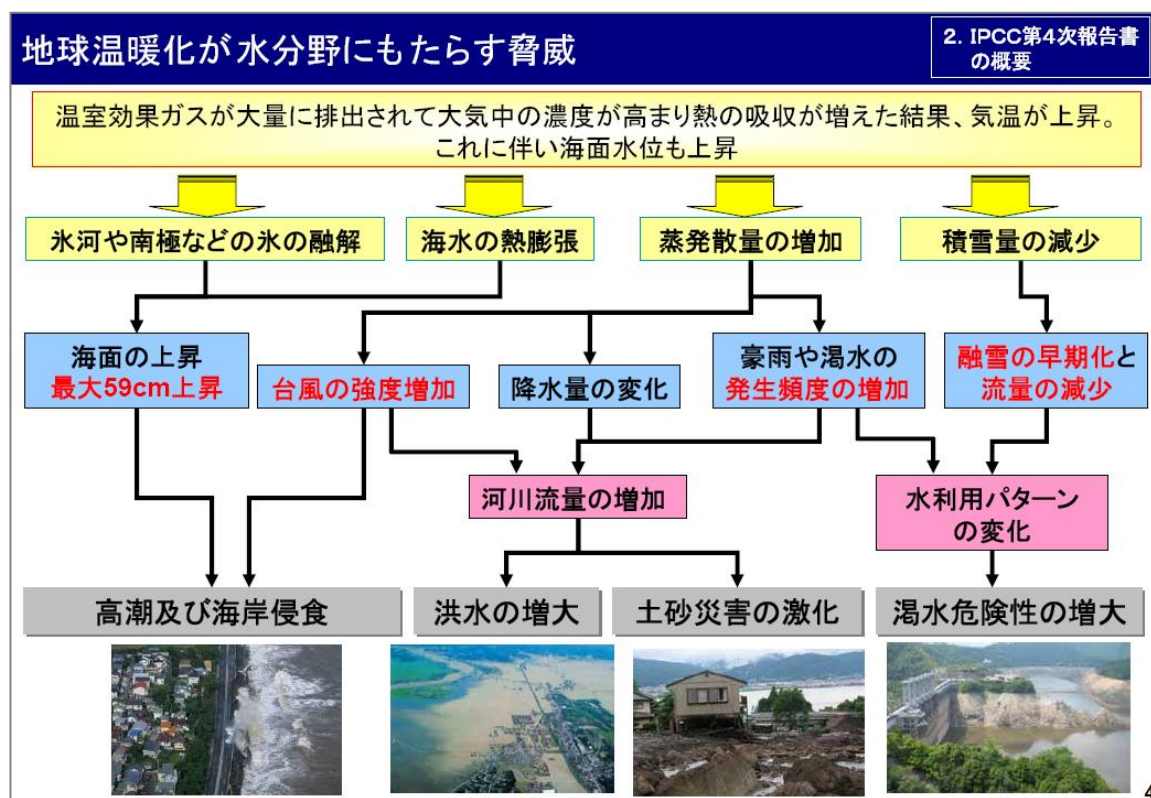


図 3-12 地球温暖化が水分野にもたらす脅威

気候変動に伴う将来変化に関連する記述としては、降水量の増加と渇水の頻発・深刻化に関する地域別の予測値が示されている。

北海道の降水量は「2080～2099 年の平均値」を「1979～1998 年の平均値」で除した場合 1.24 という数値が得られており、将来的に増加していく傾向にあるものと考えられる（図 3-13）。

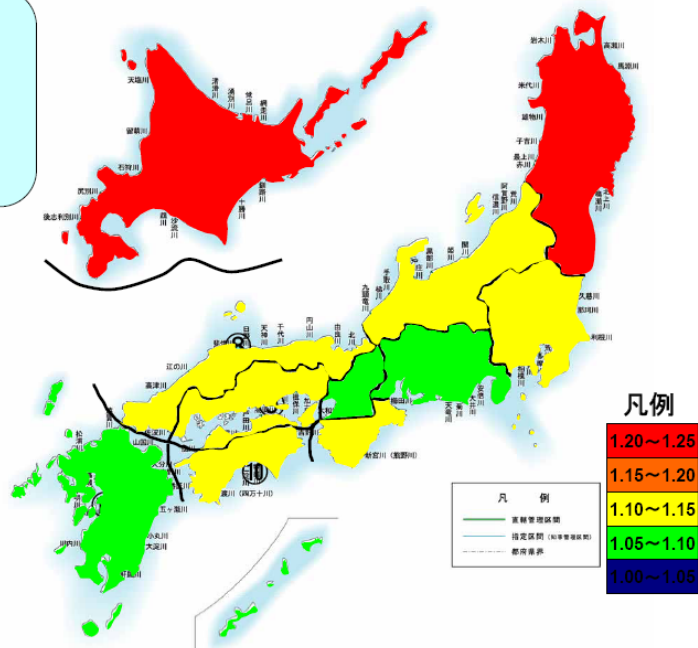
また、河川流量に及ぼす降雪量と降雨量を加算した地表到達量については、釧路川流域は「1≦将来／現在<1.2」のグループに属しており、こちらについても将来的に増加していく傾向にあるものと考えられる（図 3-14）。

降水量増加の地域分布

4. 豪雨 による影響

GCM20(A1Bシナリオ)で求めた
各調査地点の年最大日降水量から
(2080-2099年の平均値)
(1979-1998年の平均値) を求め
将来の降雨量を予測(上記の中位値)

①	北海道	1.24
②	東北	1.22
③	関東	1.11
④	北陸	1.14
⑤	中部	1.06
⑥	近畿	1.07
⑦	紀伊南部	1.13
⑧	山陰	1.11
⑨	瀬戸内	1.10
⑩	四国南部	1.11
⑪	九州	1.07



10

図 3-13 降水量増加の地域分布

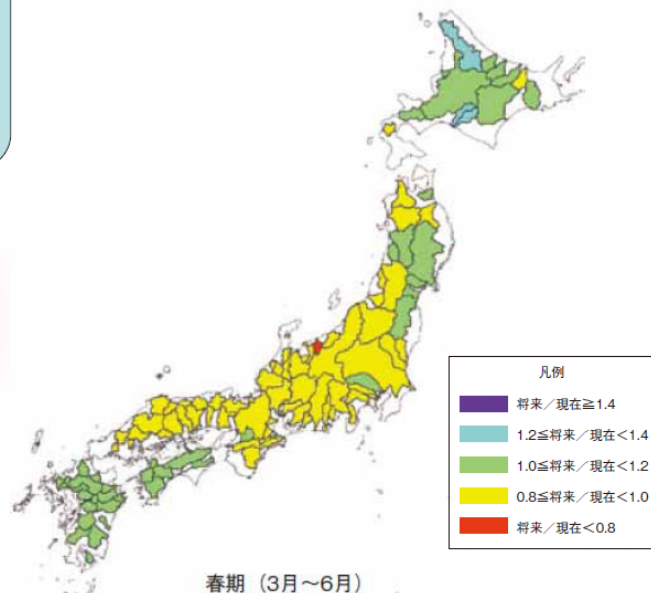
渇水の頻発・深刻化：地球温暖化による河川流量の変化

5. 渇水 による影響

河川流量に影響を及ぼす、
降雪量と降雨量を加算した
地表到達量について、
現在と100年後を比較すると、
3～6月の間は多くの地域で減少

代かきなどの農業用水の需要期に
河川の流量が減少し、
水利用に支障を来す恐れ

一級水系における現況(1979～1998年)と
将来(2080～2099年)の地表到達水量の比較



(出典) 平成19年版 日本の水資源 国土交通省 土地・水資源局

14

図 3-14 地球温暖化による河川流量の変化

④気候変動等によるリスクを踏まえた総合的水資源マネジメントの概要

国土交通省河川局の地球温暖化に伴う気候変化に伴う気候変化が水災害に及ぼす影響及び適応策の概要について HP の資料の抜粋を以下に示す。

国土交通省土地・水資源局の「気候変動等によるリスクを踏まえた総合的水資源マネジメントの概要」から将来予測に係る部分について抜粋した。

当該資料では、気候変動の影響を図 3-15 に示す通り設定しており、水資源の観点からの整理がされている。

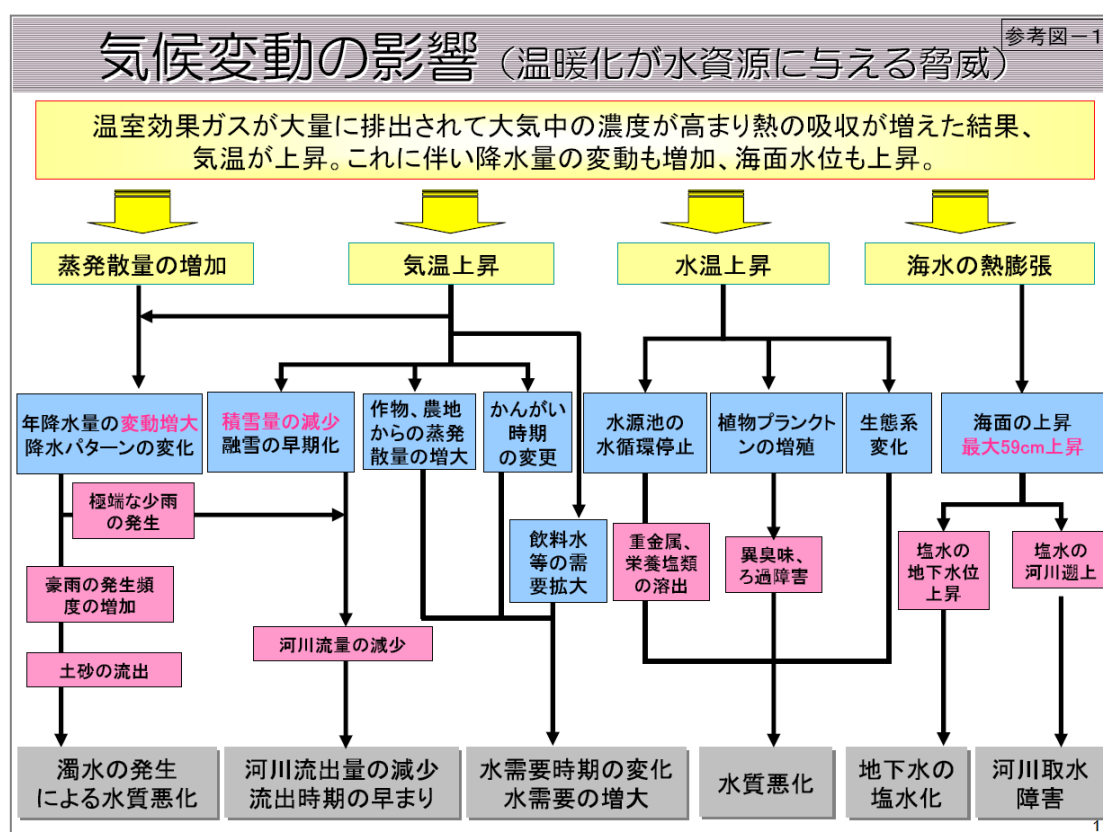


図 3-15 温暖化が水資源に与える脅威

気候変動に伴う将来変化に関連する記述としては、降水量と積雪量に関する予測値が示されている。期別降水量／現在の期別降水量は、冬期は東日本から九州にかけて、春期は西日本を中心に少なくなる傾向が見られるが、釧路川流域については増加傾向が見られる（図 3-16）。

また、年間降雪量の変化量については、北海道から山陰にかけて日本海側を中心に大きく減少する傾向が見られるが、釧路川流域についてはあまり変動のない領域に含まれている（図 3-17）。

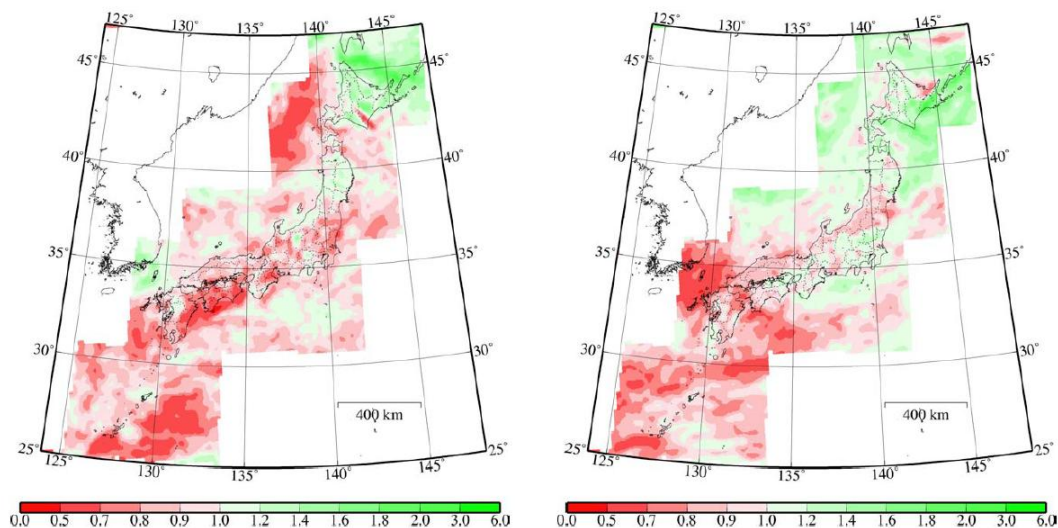
気候変動予測 (将来の降水量の変化 (RCM20 ; A2モデル))

参考図-2

100年後の20年で2位（少雨）の期別降水量は、冬期は東日本から九州にかけて、春期は西日本を中心に少なくなる。 ⇒ 将来、自然現象面では渇水リスクを高める。

冬期

春期



※変化率: 将来の期別降水量 / 現在の期別降水量

(出典: 気象庁公表資料に基づき、国土交通省水資源部が作成)

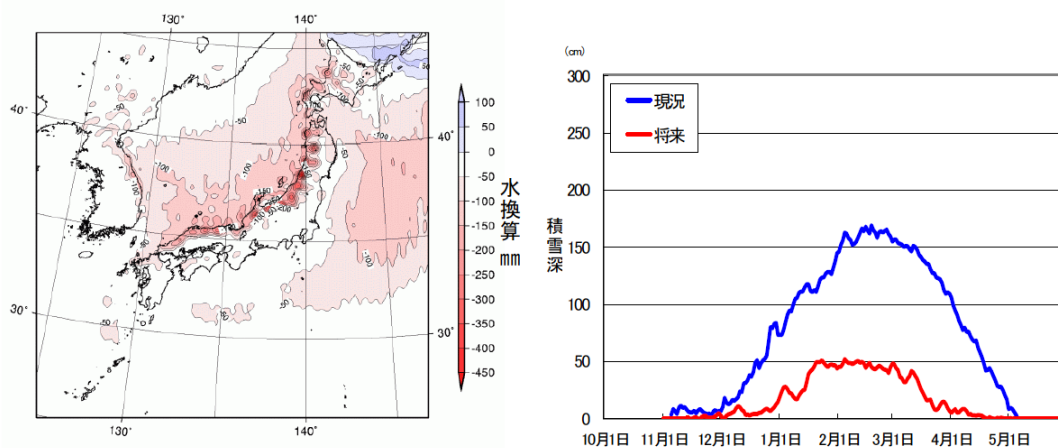
2

図 3-16 将来の降水量の変化

気候変動予測 (積雪量)

参考図-3

- ・降雪量は、北海道から山陰にかけての日本海側を中心に大きく減少
- ・100年後の利根川上流域では、積雪深が大幅に減少



年間降雪量の変化量

(2081～2100年平均値) - (1981～2000年平均値)

(注) 1. 現況は、1992～2006年の積雪量の平均値
2. 将来は、約100年後(Model RCM20, A2)
3. 国土交通省水資源部による試算

100年後の積雪深の変化(藤原)

(出典: 地球温暖化予測情報第6巻 (気象庁))

3

図 3-17 将来の積雪量の変化

⑤水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について

社会資本整備審議会の「水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について（答申）」では、国土・社会への影響について、流域を「①上流域」、「②中流域」、「③下流域・海岸域」に分け、典型的な例を用いて想定される影響が整理されている。

上記の内、本書が対象としている「③下流域・海岸域」について整理されている部分について抜粋した。

【下流域・海岸域における気候変動の影響】

下流域・海岸域では、低平地やゼロメートル地帯が広がる地域において、降水量や短時間降雨強度の増加、海面水位の上昇、台風の激化、中流部からの洪水や氾濫水による影響等により、堤防決壊等による氾濫や浸水頻度の増加が想定される。低平地やゼロメートル地帯では、市街化の進展により流出量が増加している上に、排水が困難であることから、洪水や高潮による外水や内水の氾濫による浸水が長時間に及ぶことが想定される。特に三大湾（東京湾、伊勢湾、大阪湾）のゼロメートル地帯においては、平均海面水位がIPCC第4次評価報告書の予測上限値である59cm上昇すると仮定した場合、海面水位以下となる面積、人口が約5割増加すると予想されており、高潮等による被害は増大する。

下流域・海岸域には人口、資産が集積していることが多く、特に三大都市圏においては、社会経済活動の中核機能が集積していることから、水害や高潮災害等は国民の生命・財産への影響のみならず、国家機能の麻痺や国際競争力の低下につながる懸念される。

また、海岸域では現時点でも供給土砂量の減少により海岸侵食が進行しているところもある中で、さらなる海面水位の上昇や台風の激化により、砂浜の消失など海岸侵食の増加が想定される。30cmの海面水位の上昇により、我が国の砂浜の約6割が消失するとの予測もある。

このように、海面水位の上昇や台風の激化などによる影響は、国土保全の観点から大きな支障となる。

一方、気候変化による渇水が、人口等が集積している下流域・海岸域で発生した場合には、都市用水等に深刻な影響を与え、都市機能や生産活動の著しい低下等を招くことが懸念される。さらに、海面上昇による塩水の遡上域の拡大や地下水の塩水化により、河川水や地下水の取水への影響も懸念される。

上記の一般論の内、釧路湿原を対象とした場合に最も影響が大きいと考えられるものに、「海面上昇による塩水の遡上域の拡大や地下水の塩水化」が挙げられる。本資料では河川水や地下水の取水への影響について記述されているが、塩水遡上や地下水の塩水化は湿原に生息する生物にとって重大な環境変化になるものと考えられる。

3.2 海面上昇に伴う周辺環境への影響項目の抽出

気候変動に伴う地球温暖化の影響に係る報告についての整理結果を表 3-1 に示す。

これら資料の内、気温変化や海面上昇の予測値が示されているのは、IPCC の第四次評価報告書および気象庁の地球温暖化情報の 2 資料であり、その他の資料はこれら予測値に基づく現状と想定されるリスクへの対応をまとめた資料と位置付けることができる。

予測値を出している資料の内、IPCC による予測資料については、全地球的な予測を基にして作成されているため、日本における影響を詳細に把握し、政策に活かしていくためには、ダウンスケーリングをするなど日本周辺の現象をより詳細に表現できるモデルによる検討が必要となる。

一方、気象庁による予測資料は、IPCC の全てのシナリオに関する検討は行われておらず、海面上昇の予測に陸氷の縮小による寄与を含まないなど、将来の日本の気候変化の傾向を把握する上で有効な情報ではあるが、不確実性が伴っていることに注意が必要である。

そのため、釧路周辺の変化について、IPCC および気象庁の両予測から危険側の値を抽出すると以下のように要約することができる。

- 気温は、概ね 4℃上昇する可能性がある。
- 海面水位は 59cm 程度上昇する可能性がある。
- 北海道では渇水被害の増大に係る明確な予測値は出されていない。

以上より、渇水被害の拡大に係る明確な予測値は無いものの、海面水位については危険側で 59cm 程度上昇するとされており、河道の塩水侵入のリスクは現在よりも高まることが想定される。

表 3-1 気候変動に伴う地球温暖化の影響に係る報告についての整理結果

資料名	出典	年月	シナリオ	気温変化	(対象地域)	海面上昇	(対象地域)	降水量、利用可能水量
第四次評価報告書	IPCC	H19年11月	2000年濃度で一定	0.6(0.3～0.9)℃	世界平均	資料なし	世界平均	・中緯度の一部の乾燥地域と乾燥熱帯地域では、河川流量と利用可能水量が10～30%減少 ・アジアの多くの地域では河川流量が増加
			B1シナリオ	1.8(1.1～2.9)℃		0.18～0.38m		
			A1Tシナリオ	2.4(1.4～3.8)℃		0.20～0.45m		
			B2シナリオ	2.4(1.4～3.8)℃		0.20～0.43m		
			A1Bシナリオ	2.8(1.7～4.4)℃		0.21～0.48m		
			A2シナリオ	3.4(2.0～5.4)℃		0.23～0.51m		
			A1F1シナリオ	4.0(2.4～6.4)℃		0.26～0.59m		
地球温暖化情報(第7巻)	気象庁	H20年 3月	B1シナリオ	1.5～2.0℃	北海道	0.06m	釧路沖	・北海道で降水量が10%増加 ・北海道を除く地域で降雪減少 ・北海道で降水量が25%増加 ・北海道を除く地域で降雪減少
			A1Bシナリオ	3.0℃以上		0.11m		
地球温暖化に伴う気候変化が水災害に及ぼす影響について	国土交通省河川局	H20年 6月	IPCC(A1F1)で整理	4℃	-	0.26～0.59m	-	・極端な大雨の頻度は引き続き増加 ・淡水利用可能性は2050年までに中央・南・東・東南アジア、特に大規模河川の流域で減少
気候変動等によるリスクを踏まえた総合的水資源マネジメントについて	国土交通省土地・水資源局	H20年 5月	-	-	-	-	-	・期別降水量は、冬期は東日本から九州にかけて、春期は西日本を中心に少なくなる ・降雪量は北海道から山陰にかけての日本海側を中心に大きく減少
水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について(答申)	国土交通省河川局	H20年 6月	IPCC資料	・全地球的な予測を基にして作成されているため、日本における影響を詳細に把握し、政策に活かすには、ダウンスケーリングをするなど日本周辺の現象をより詳細に表現できるモデルによる検討が必要				
			気象庁資料	・予測結果に関するものは、将来の日本の気候変化の傾向を把握する上で有効な情報であるが、不確実性を伴ったものである事に留意が必要				

また、下流域・海岸域で生じる気候変動の影響の内、釧路湿原域に最も関連するものとして海面上昇による塩水の遡上域の拡大や地下水の塩水化が挙げられ、予測される影響として以下が想定される。

- 海面上昇に伴う恒常的な新釧路川への塩水遡上
- 海面上昇に伴う恒常的な新釧路川への塩水遡上による地下水への塩水侵入
- 塩水遡上域の拡大に伴う河川の低水路内の植生分布の変化
- 地下水への塩水の侵入に伴う河川の高水敷及び湿原内の植生分布の変化
- 植生分布の変化に伴う河川や湿原の自然環境及び景観の変化

■塩水遡上の現状

2ヶ年(H21～H22)の現地調査から、新釧路川では河口部で塩水遡上が確認された。
釧路川、旧雪裡川では、河口から約10km程度まで塩水遡上を確認した。

■地下水位の現状

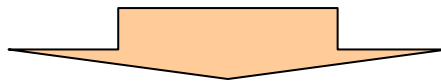
新釧路川周辺の地下水勾配は右岸側で急、左岸側で緩やかである。

■塩水遡上域の植生(現状)

塩水遡上域にある釧路川、旧雪裡川の河岸植生は、ヨシを主体とし、ハンノキやヤナギ等の樹木が水際から離れた位置に生育。

■地球温暖化の影響(将来予測)

IPCCの予測結果から、最大で0.59m程度の海面上昇が発生

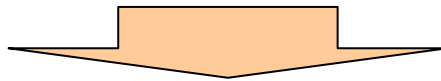


■河川の塩水遡上(将来変化)

海面上昇に伴い新釧路川の塩水遡上距離が延伸する可能性がある。

■地下水への塩水侵入(将来変化)

新釧路川への塩水遡上に伴い、地下水を通じて塩水が釧路湿原周辺に侵入する可能性がある。
特に、左岸側では、地下水位勾配が緩いため塩水の侵入距離が延びる可能性がある。



■周辺環境への影響(将来変化に伴う影響)

塩水侵入範囲の拡大に伴い耐塩性を持たない植生が消失し、耐塩性を有する植生に遷移する可能性がある。
上記の結果として河川や湿原の自然環境及び景観に影響が生じる可能性がある。

4. 釧路湿原を形成する植生の耐塩性に係わる実験的検討

4.1 新釧路川周辺の植生分布

耐塩性試験の対象種を選定するため、平成 22 年 9 月 21 日～22 日にかけて河道内及び河岸部を対象とした現地踏査を実施した。新釧路川周辺の主な植生と特徴的な植物は、図 4-1 に示すとおりである。

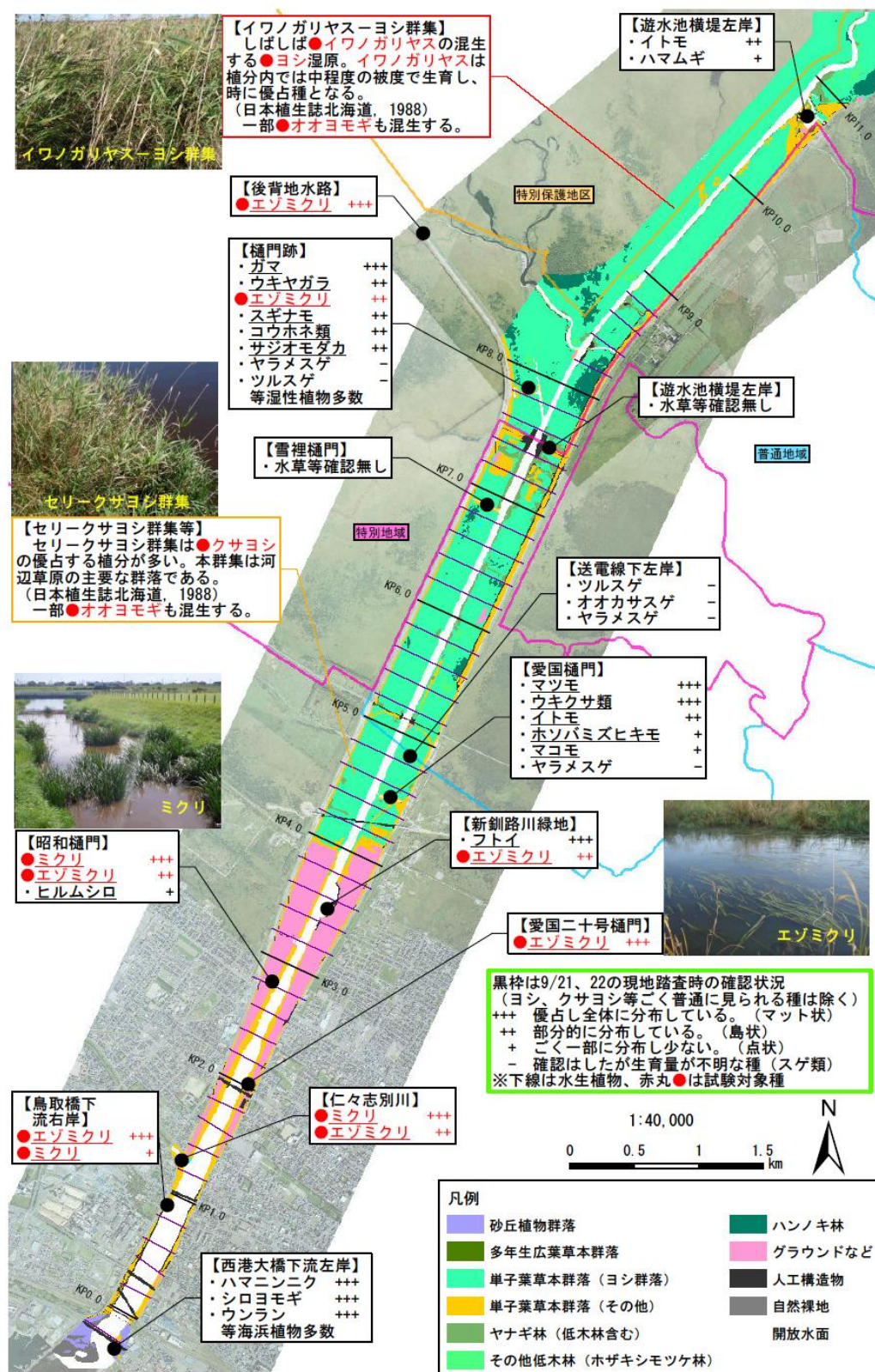


図 4-1 水生植物等特徴的な植物 (H22 年度 現地踏査結果より)

4.2 耐塩性に係る実験の対象植物

耐塩性に係る実験の対象種は、「塩水遡上の影響が想定される河道内及び河岸に分布する、河川及び湿原環境を構成している植生の主要な優占種」を対象とした。なお、他河川のモニタリングなど今後の応用も想定し、一般的な種を選定している。

表 4-1 実験の対象植物と選定理由

区域	種名	生活型	環境	選定理由	備考
河道内 (水中)	エゾミクリ	水生植物 (沈水～抽水)	湖沼 流水	・緩流水際や流水中によく見られる重要種	重要種 (北 RDB : 希少)
	ミクリ	水生植物(抽水)	湖沼 小川	・緩流水際によく見られる重要種	重要種 (国 RDL : 準絶、北 RDB : 希少)
河岸 (水 際 ～ 高水敷)	ヨシ	水生植物(抽水) ～陸生植物	河原 湖沼 湿原	・低層湿原(イワノガリヤスーヨシ群集)等の優占種	
	イワノガリヤス	陸生植物	草地 湿原	・低層湿原(イワノガリヤスーヨシ群集)等の優占種	
	クサヨシ	水生植物(抽水) 陸生植物	草地 湿原	・湿性草地(セリークサヨシ群集等)の優占種	外来種
	オオヨモギ	陸生植物	平地 山地	・上記選定種に準じた生育量であり 草地に代表的なキク科植物	高水敷の草地に混生



写真 4-1 実験対象植物

4.3 実験条件

1) 試験因子

塩水遡上の影響因子としては、塩分濃度、遡上頻度、遡上時間、土壌等の因子が考えられる。ここでは、塩水遡上の影響因子の中で、最も植物の生育に影響を与える塩分濃度を選定した。

・0、5、10、20、34(海水)psu の5 ケース

※psu：海水の電気伝導度の測定から塩分を求めた際に用いられる実用塩分単位

2) 試験方法

試験方法は、活性低下等、塩分濃度以外の影響因子を排除するため、試験は温室内で実施した。

- ・根系ごとに掘り取ったサンプルをバット等の容器に収め、塩水を給水して試験室内で暴露させた。
- ・陸生植物の注水高さは概ねポット高の 3/4 程度（過湿に弱いオオヨモギは 1/4 程度）とし、水生植物は現地の生育状況と同様に冠水させた。
- ・サンプル点は1種1濃度あたり5サンプルを設定。
- ・試験期間は各種最長2ヶ月とした。

3) モニタリング項目

モニタリング項目として、活性度等の定性的なデータに加えて、計測器（葉緑素計）による定量的なデータ（SPAD 値）の記録も行なった。

- ・活力度、草色、枯損率、草高、SPAD 値※、定点写真、気温・湿度
- ・定性的な記録に加え、葉緑素計等計測器による定量データも取得。
- ・開始後新苗の伸長が見られたため、新苗本数と新苗最大長も記録。

表 4-2 モニタリング項目一覧

項目	計測方法	記録頻度
活力度	以下の基準に基づきサンプル毎に活力度を記録した。 5：葉の枯損がごく僅かに見られる程度で、良好に生育している。 4：一部に葉の枯損が見られるが、生育に問題ないと判断される。 3：葉の枯損が半分程度見られ、生育不良となる可能性がある。 2：葉の枯損が著しく、枯死に至る恐れがある。 1：茎葉全体が枯損し、枯死している。	2回／週 （水生植物については試験開始直後は毎日記録した。状況に応じて1回／週とした。）
葉色	葉色カラスケールを用いて、サンプルの平均的な葉色を記録した。	
枯損率（％）	全体のうち枯れている葉の割合を目視により記録した。	
草丈（cm）	緑色を呈している葉をのばした長さを計測した。（イヅミクリを除く）	1回／週 （水生植物については、試験開始直後は毎日記録した。）
SPAD値※	葉緑素計（SPAD-502Plus）を用いて、良好な葉色を示している葉の3～5箇所を計測し平均値を算出した。	
枯損率（％）	全体のうち枯れている葉の割合を目視により記録した。	
定点写真	スケールをあてた写真を撮影した。	適宜
新苗本数・最大長	新苗の出芽が見られたため、本数と最大長（cm）を記録した。	
気温・湿度	データロガーを用いて、温室内外の気温・湿度を記録した。	試験全期間

※コニカミノルタ葉緑素計の指示値。試料中の葉緑素濃度と相関があるとされる。

4) 実施状況

(1) 対象サンプル

サンプリングの結果、6 種 9 区分 225 サンプルを対象に試験を行った。サンプル数は、各種各濃度水準 5 サンプルを基本とした。ヨシ（採取・育苗）については、試験開始直後に枯死した個体が各水準で見られたため、それらの個体を除外し各濃度水準 4 サンプルで結果を整理した。

表 4-3 試験実施状況（H22 年度に実施）

種名	調達方法	採取地	採取	開始日	終了日	日数	冠水高	備考
ミクリ	現地採取	道央	10/14、16	10/26	11/23	28	+3cm	20、34psuは11/9に、10psuは11/12に終了。
	ポット苗	—	—	10/26	11/30	35	±0cm	
エゾミクリ	現地採取	道央	10/14、18	10/26	11/23	28		20、34psuは11/9に、10psuは11/12に終了。
ヨシ	現地採取・育苗	釧路	10/14、15	12/7	2/8	63	－5cm	採取後、枯死した地上部を刈り取って育苗し使用した。
	ポット苗	—	—	11/2	1/3	62	－1cm	
イワノガリヤス	現地採取・育苗	釧路	10/14、15	12/7	2/8	63	－4cm	採取後、枯死した地上部を刈り取って育苗し使用した。
	現地採取	道央	10/18	11/2	1/3	62	－4cm	
クサヨシ	現地採取・育苗	釧路	10/14、15	11/16	1/18	63	－4cm	採取後、枯死した地上部を刈り取って育苗し使用した。
オオヨモギ	ポット苗	—	—	11/2	1/3	62	－8cm	

(2) 試験環境

試験実施期間は冬期間であり、外気温は低下傾向となっていたが、温室内は日平均 16℃前後に保たれていた。湿度は期間中を通じて漸減傾向であったが、概ね 50～80%を保っていた。屋外の湿度よりやや低い傾向があった。

なお、試験中は電照により日射を補い、水生植物、ヨシの試験育苗中はエアポンプを使用し枯損を避け、育苗中はヒーターを用いて早期の成長を促す等の工夫を行った。



①サンプリング



②塩水作成



③試験状況



④計測状況

写真 4-2 試験実施状況

4.4 実験結果

1) 本試験概要

本試験によって得られた試験結果を以下に示す。

- ・河道内の対象種では、エゾミクリ、ミクリの耐塩性が低く、枯損速度が速いことから短時間の塩水遡上でも影響が生じる。(図 4-2、図 4-3、図 4-4(1)~(3))
- ・河岸部の対象種では、ヨシやクサヨシの耐塩性が高い。(図 4-2、図 4-3、図 4-4(4)~(9))
- ・全体的に 10psu 以上の塩分濃度で影響が顕著で 5psu 以下では序々に進行する。(図 4-4(1)~(9))

※枯損速度 (%/日) = 各サンプルの試験期間内の最大枯損率(%) / 最大値に達した日数
(対象サンプルの値を基準(0)とした。小さいほど耐塩性が高い。)

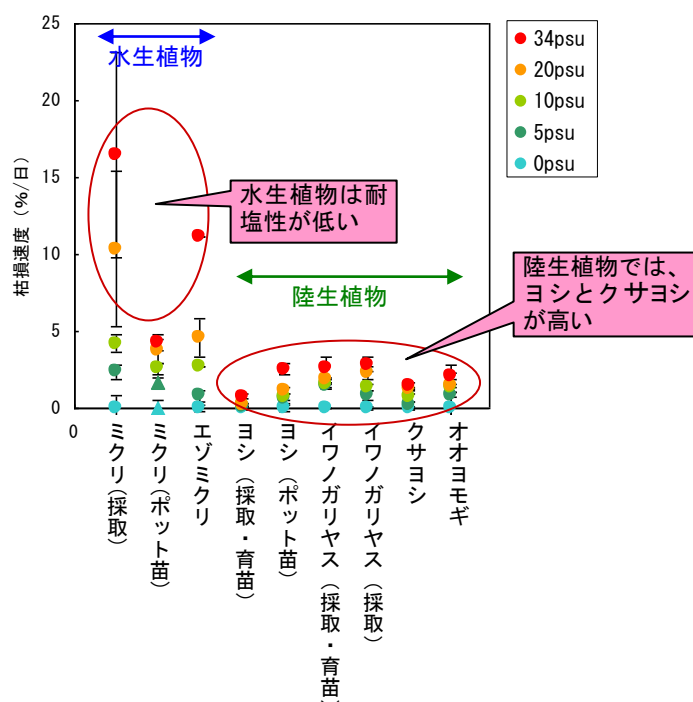


図 4-2 種別枯損速度平均値

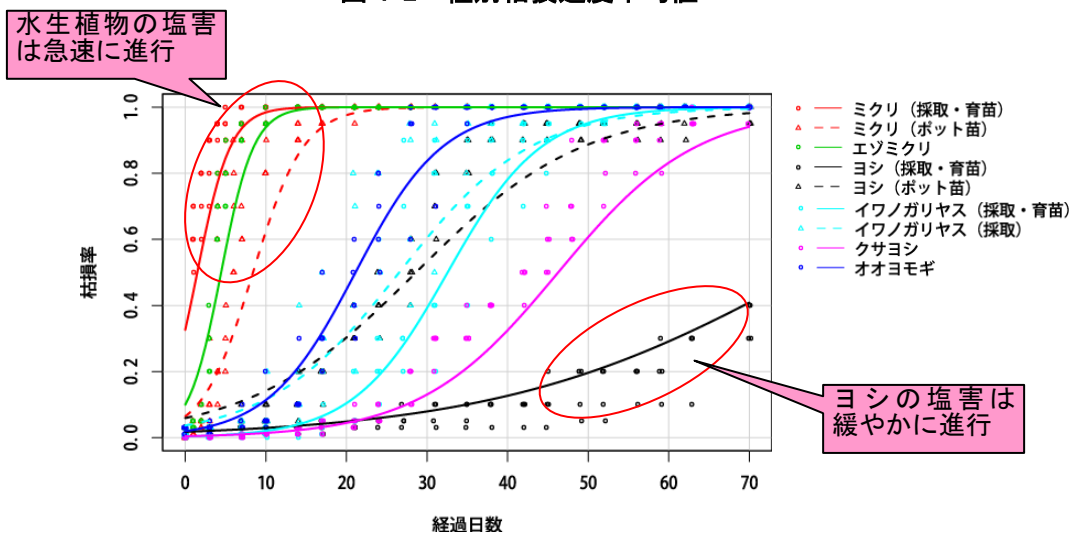


図 4-3 枯損率のロジスティック回帰 (20psu)

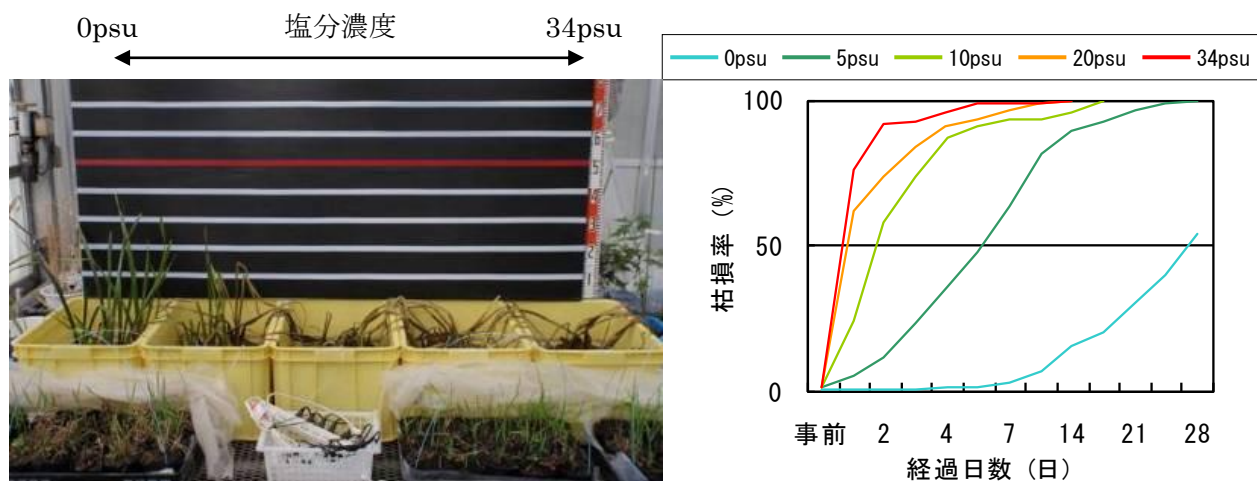


図 4-4(1) 1 週間後の試験状況と塩分濃度別の枯損率（ミクリ 採取・育苗）

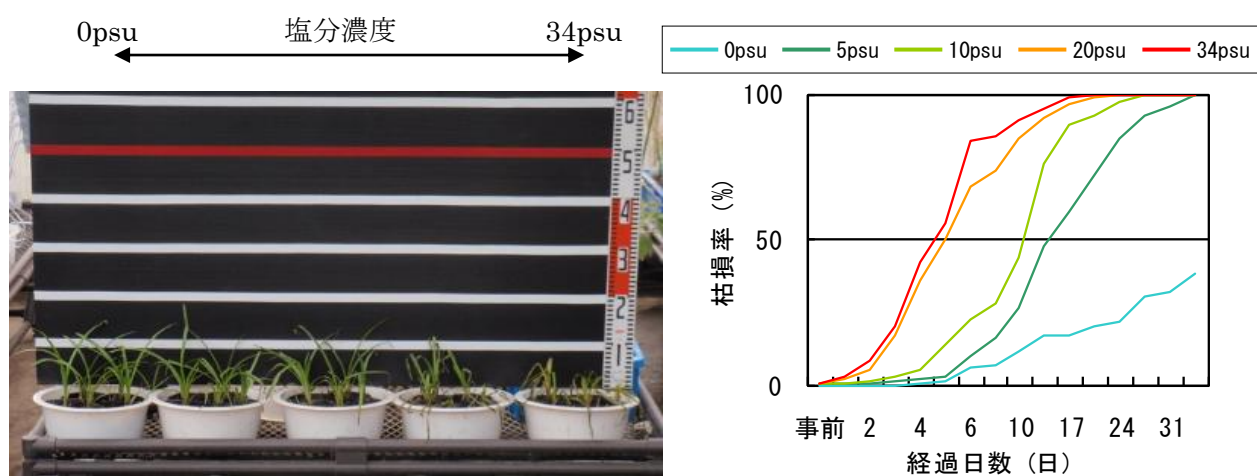


図 4-4(2) 1 週間後の試験状況と塩分濃度別の枯損率（ミクリ ポット苗）

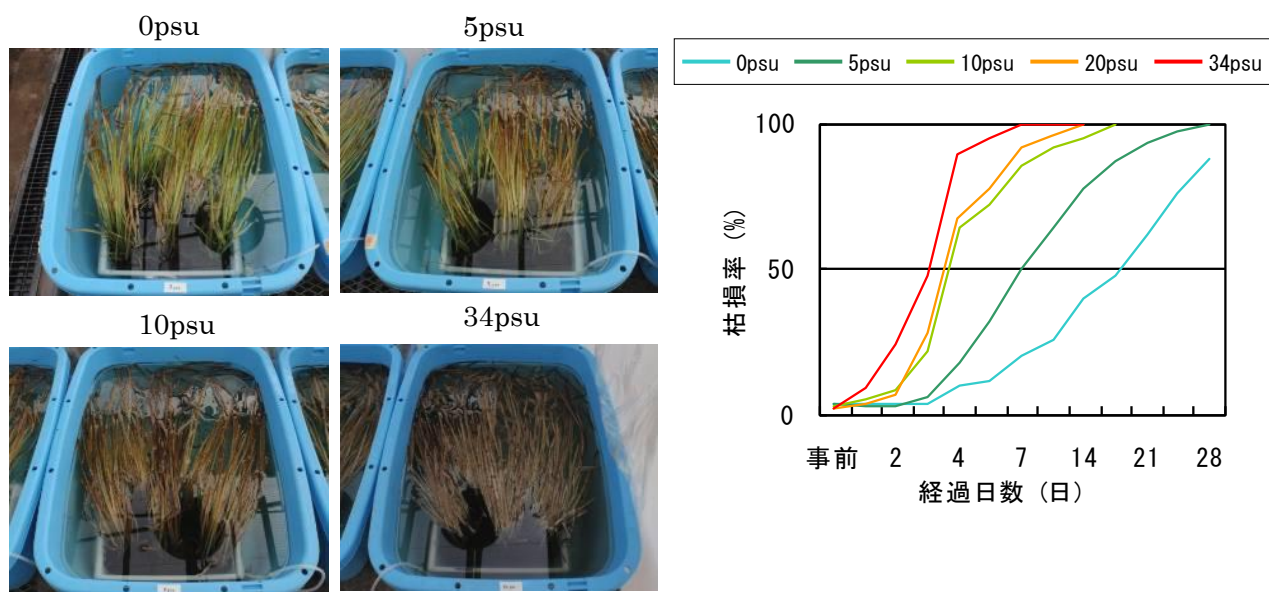


図 4-4(3) 1 週間後の試験状況と塩分濃度別の枯損率（エゾミクリ）

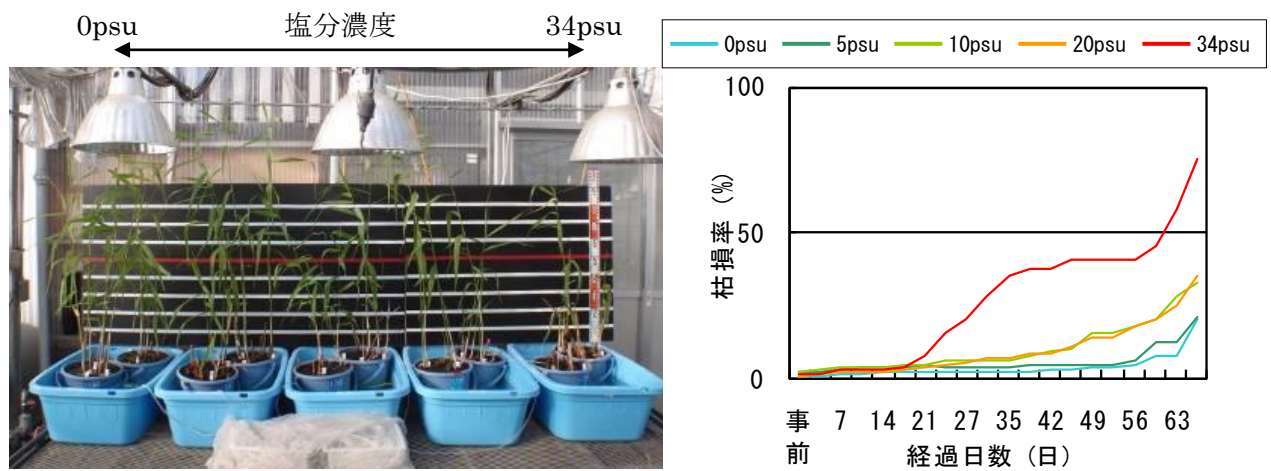


図 4-4 (4) 7 週間後の試験状況と塩分濃度別の枯損率 (ヨシ 採取・育苗)

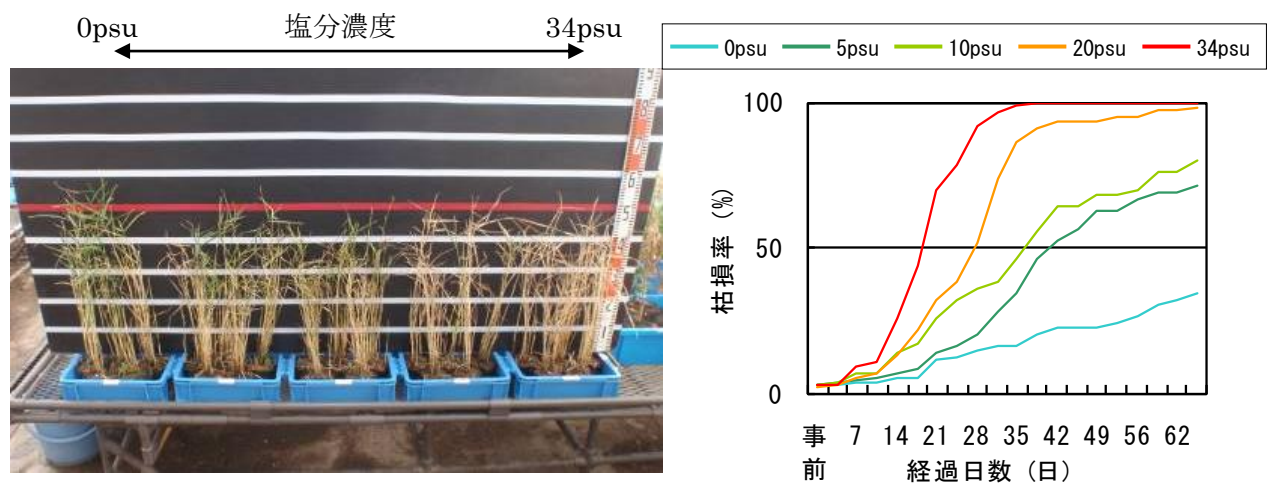


図 4-4 (5) 7 週間後の試験状況と塩分濃度別の枯損率 (ヨシ ポット苗)

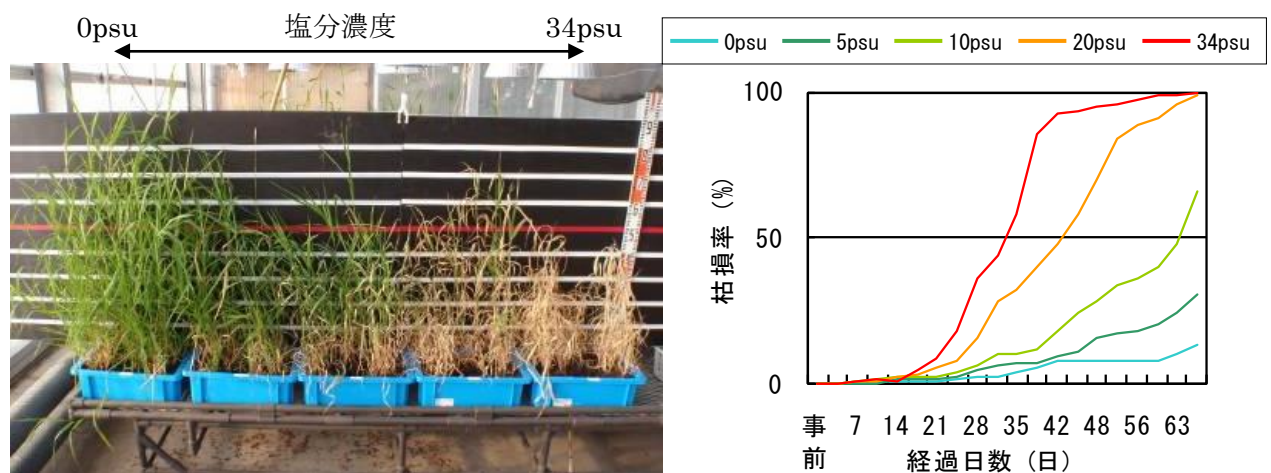


図 4-4 (6) 7 週間後の試験状況と塩分濃度別の枯損率 (クサヨシ)

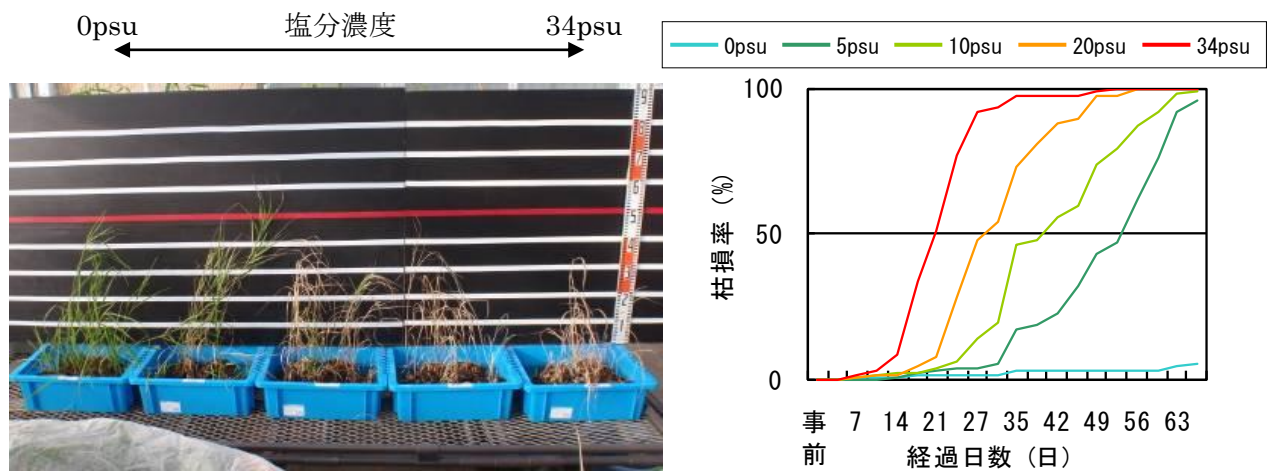


図 4-4(7) 7 週間後の試験状況と塩分濃度別の枯損率 (イワノガリヤス 採取・育苗)

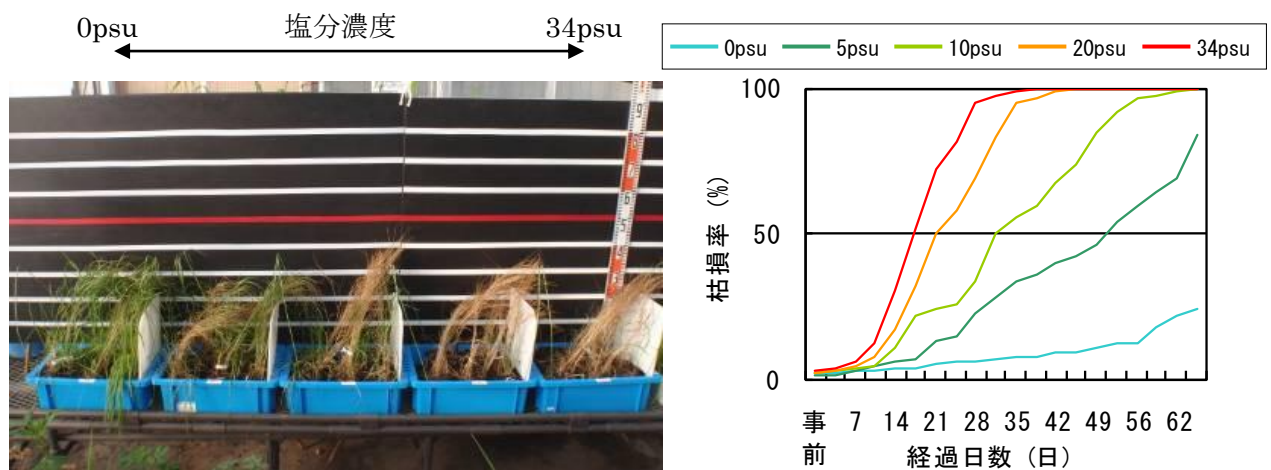


図 4-4(8) 7 週間後の試験状況と塩分濃度別の枯損率 (イワノガリヤス 採取)

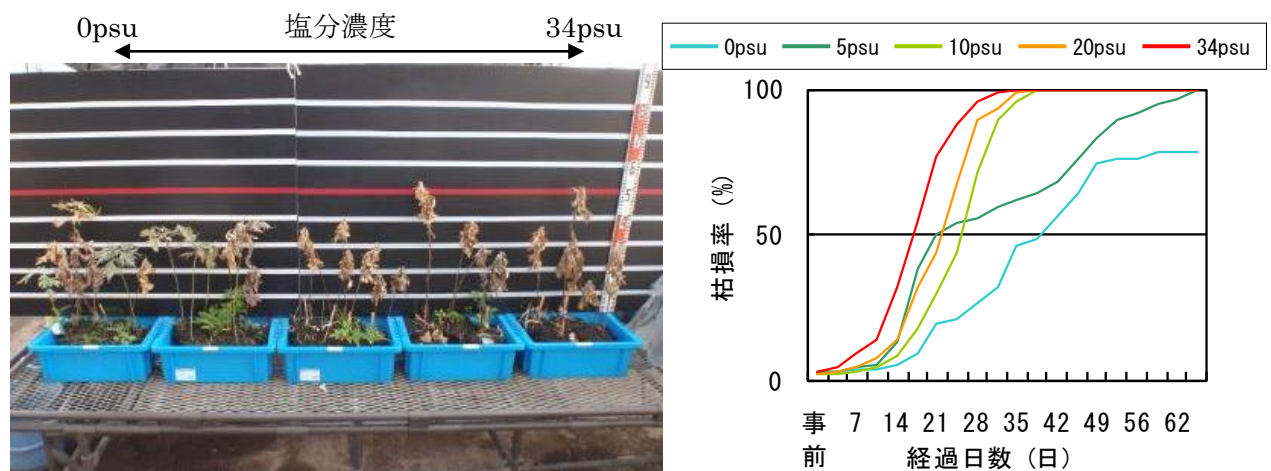


図 4-4(9) 7 週間後の試験状況と塩分濃度別の枯損率 (オオヨモギ)

2) 追加試験による確認項目と試験結果

影響予測に資すると考えられた、以下に示す 3 つの条件下での影響把握を目的に、追加試験を実施した。

表 4-4 追加試験一覧

追加試験	対象種	試験水準	記録項目
①本試験終了後の再生状況	ミクリ（採取）	10、20、35psuの3水準	新苗数、新苗最大長
	ミクリ（ポット苗）	0、5、10、20、35psuの5水準	
	エゾミクリ	10、20、35psuの3水準	
②冠水高の違いによる影響の差	ミクリ（ポット苗）	+2cm、±0cm、-2cmの3水準	枯損率、草丈
	ヨシ	+3cm、±0cm、-3cmの3水準	
	クサヨシ	±0cm及び対照+3cm（真水）	
③短時間暴露後の塩害進行	ミクリ（ポット苗）	処理（6時間塩水暴露に真水に入れ替え）及び対照サンプル	枯損率、草丈
	エゾミクリ		枯損率

追加試験結果の概要を以下に示す。

①試験終了後の再生状況

試験の終了したミクリ、ミクリ（ポット苗）とエゾミクリを真水に戻し経過を観察した。

⇒地上部が枯損した水生植物を真水に戻すと、種によっては再生が見られた。

- ・エゾミクリは 10psu 以下で旺盛な再生が見られた。ミクリとミクリ（ポット苗）は、新苗の出芽は見られるものの、塩害による成長阻害が確認された。

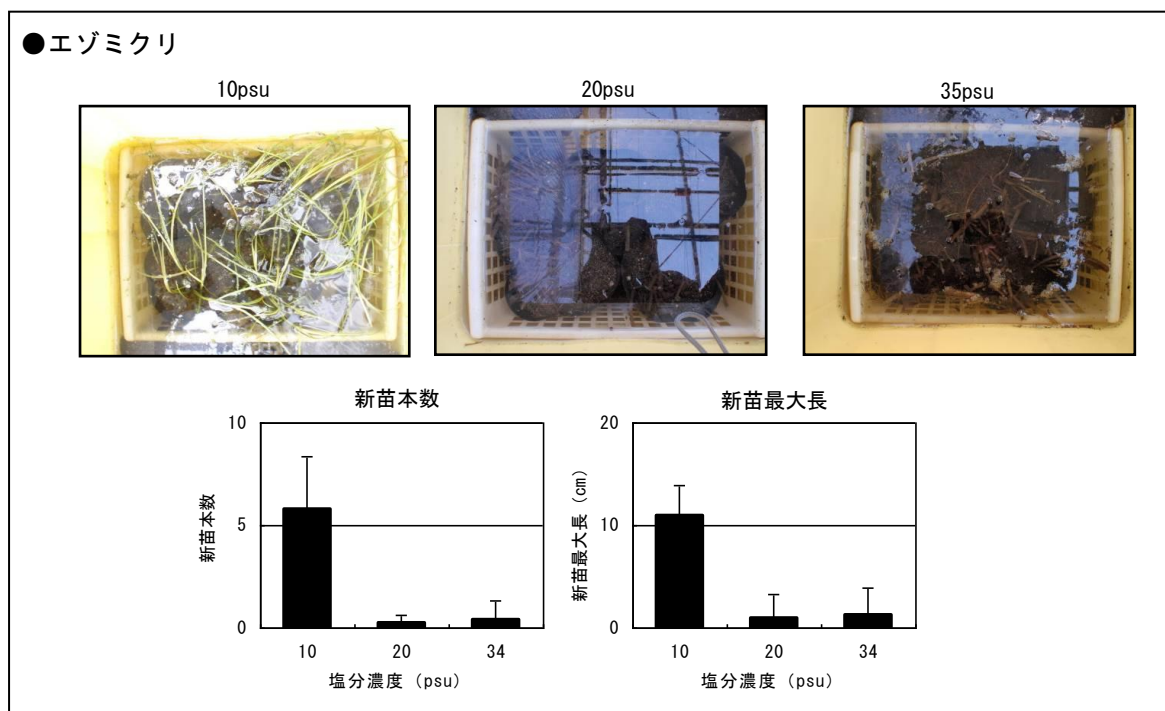


図 4-5 試験終了後の再生状況

②冠水高の違いによる影響の差

ミクリ（ポット苗）とヨシを対象に、冠水高さを±2～3cm に段階的に設定した追加試験（34psu）を実施した。

⇒冠水高により塩害の程度には差が生じ、冠水高が高いほど影響は大きくなった。

- ・両種とも冠水高が高いほど、枯損の程度が大きかった。

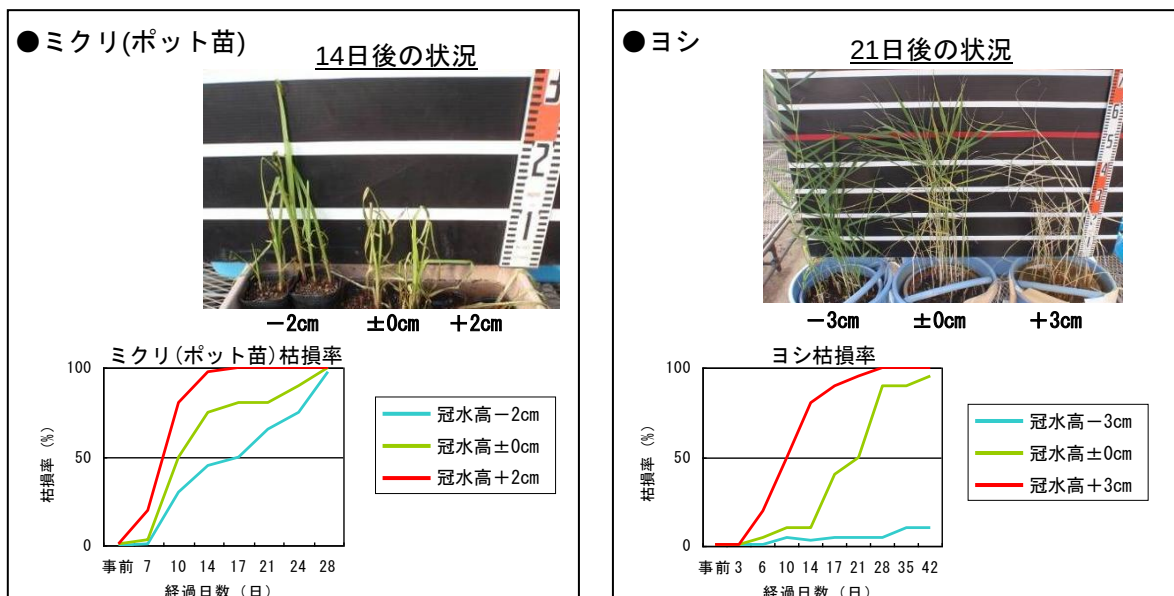


図 4-6 冠水高の違いによる影響

③短時間暴露後の塩害進行

ミクリ（ポット苗）とエゾミクリを対象に、6 時間塩水（34psu）に浸した後、サンプルを真水に戻し、その後の経過を観察した。

⇒水生植物においては、短時間の塩水暴露でもその後塩害が進行し、既存の葉身は枯損した。

- ・両種とも真水に戻した後も塩害が進行し、7～14 日で既存の葉身は全体が枯損した。エゾミクリは、その後新苗が伸長し、再生の兆候が見られた。

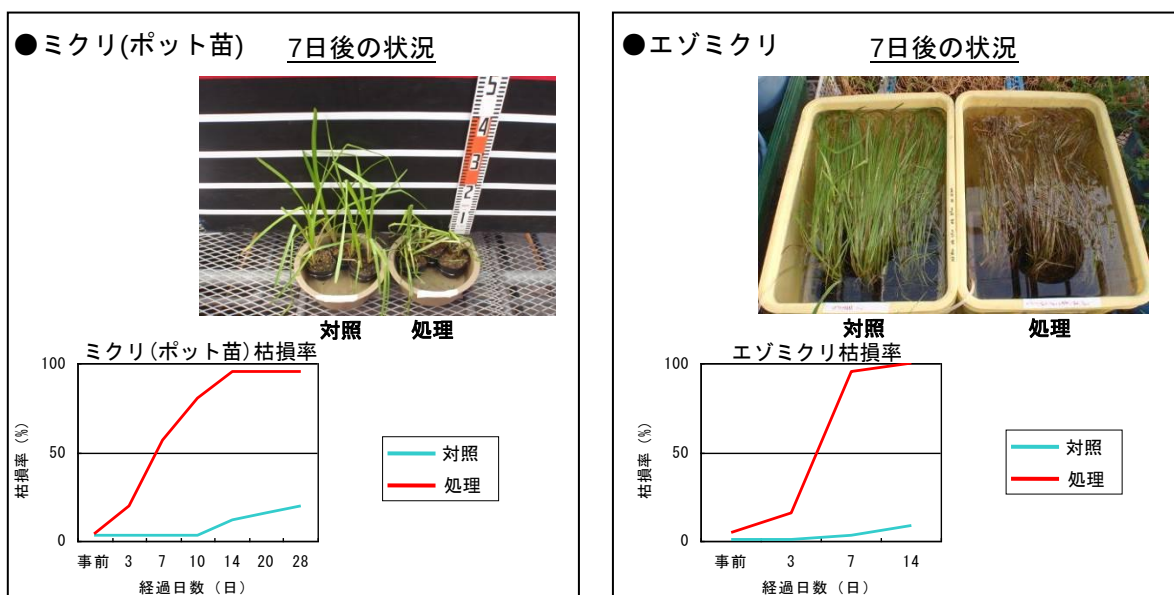


図 4-7 短時間暴露後の塩害進行

4.5 実験によって得られた知見

耐塩性試験により得られた知見から、将来的に地球温暖化に伴う海面上昇により河道内の塩水遡上および塩水遡上に伴う地下水への塩水侵入が発生した場合には、生息位置及び耐塩性（強度）に応じた影響が生じると予測される。

よって、地球温暖化に伴う海面上昇が湿原環境に及ぼす影響を把握するためには、まず河道内の塩水遡上および河道内の塩水遡上に伴う地下水への塩水侵入範囲を推定し、現存植生に影響が及ぶ範囲を明確にすることが重要であると考えられる。

表 4-5 生育立地別の海面上昇による植生影響

生育立地		対象植物	影響予測
河口部付近		塩生植物 (海浜植物等)	現存の塩生植物（海浜植物等）は維持され、上流域への分布域の拡大・侵入の可能性がある。
塩水 侵入 区間	河道内	水生植物	塩水の影響を受けやすく、海面上昇後には塩水遡上範囲内に生育するミクリ、エゾミクリは消失する可能性が高い。
	中水敷 (塩水冠水範囲)	湿性植物	耐塩性の高いヨシが優占し、耐塩性を持たない種は消失する可能性が高い。 場合によっては塩生植物（海浜植物等）が下流から侵入する恐れがある。
	高水敷（地下水への 塩水侵入範囲）	陸生植物 木本類	一般的には耐塩性を持たないため、海面上昇後には塩水侵入範囲内の木本は消失することが想定される。

■ 河口部付近

- ・河口部付近の既存の塩生植物（海浜植物等）が維持される。
- ・塩水遡上に伴い塩生植物（海浜植物等）の分布域が上流へ拡大する。

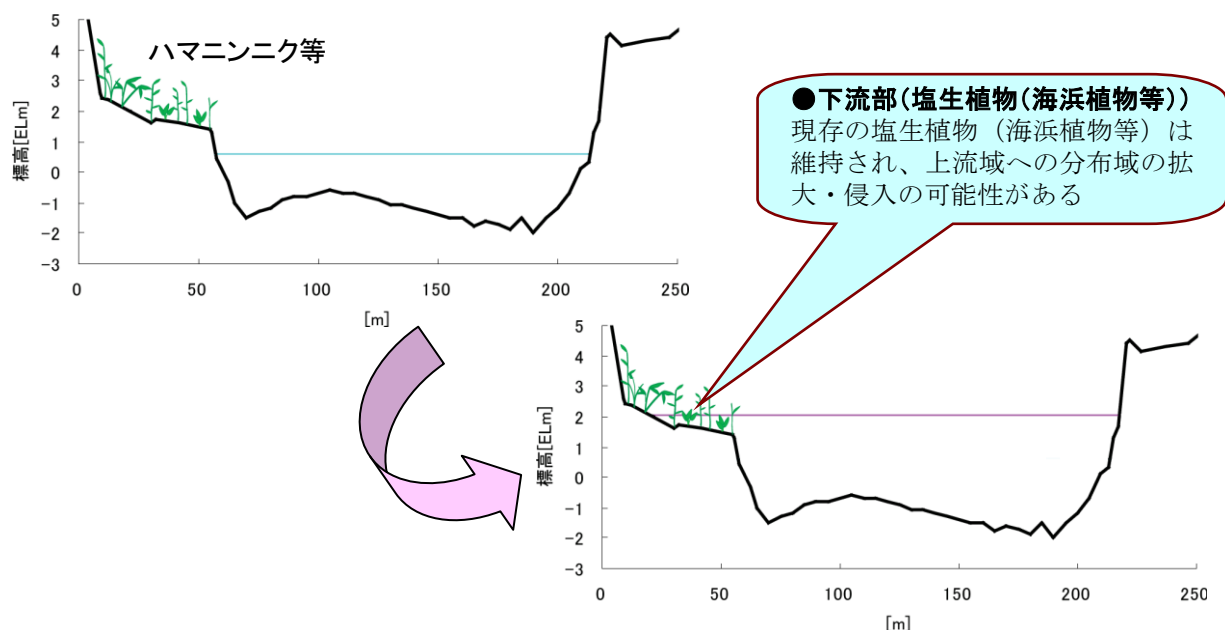


図 4-8(1) 植生変化のイメージ図（下流区間）

■ 塩水侵入区間

- ・塩水遡上に伴い、河道内ではミクリ、エゾミクリが消失し、中水敷では耐塩性の高い種が優占又は塩生植物（海浜植物等）の分布域が拡大する。
- ・地下水への塩水侵入範囲の増大に伴い侵入範囲内の木本類は消失し、耐塩性の高い種が優占する。

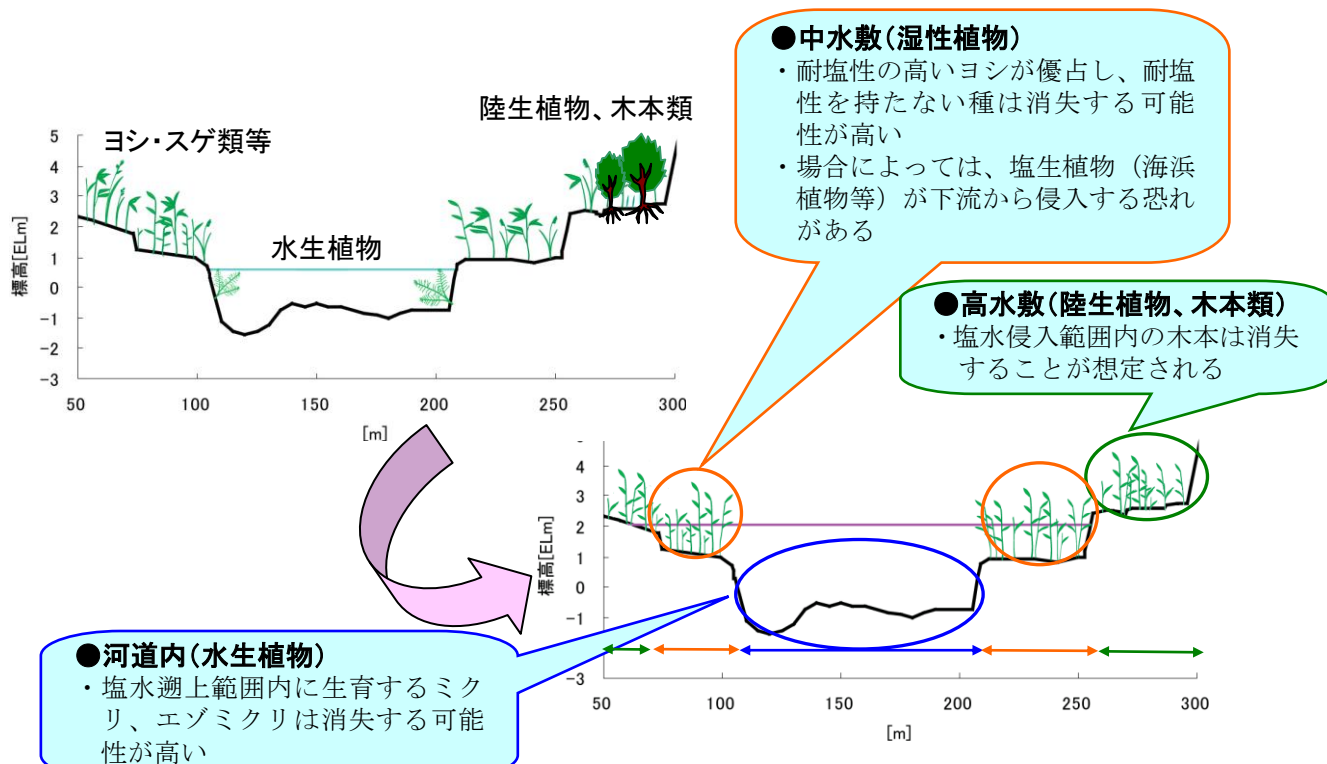


図 4-8(2) 植生変化のイメージ図（塩水侵入区間）

5. 釧路湿原周辺の地球温暖化による海面上昇に伴う周辺環境への影響予測と評価

5.1 影響予測と評価の概説

海面上昇に伴う釧路湿原周辺への影響を評価するためには、新釧路川の塩水遡上と地下水への塩水侵入範囲が今後どのように変化するかを予測する必要があることから、本検討では図 5-1 に示す手順により、新釧路川の塩水遡上と地下水への塩水侵入範囲が今後どのように変化するかについての予測を行った。

具体的な手順としては、まず今後想定される海面上昇を条件として塩水遡上範囲の将来予測を行い、次に塩水遡上範囲の予測計算結果から、海面上昇時の河川水位と塩淡水境界面高を条件として、地下水への塩水侵入範囲を予測した。

また、海面上昇に伴う塩水遡上と地下水への塩水侵入範囲の予測結果をもとに、河川への塩水遡上および地下水への塩水侵入域の拡大が、新釧路川周辺の植生分布や魚類、両生類、鳥類等の生息環境に及ぼす影響について評価を行った。

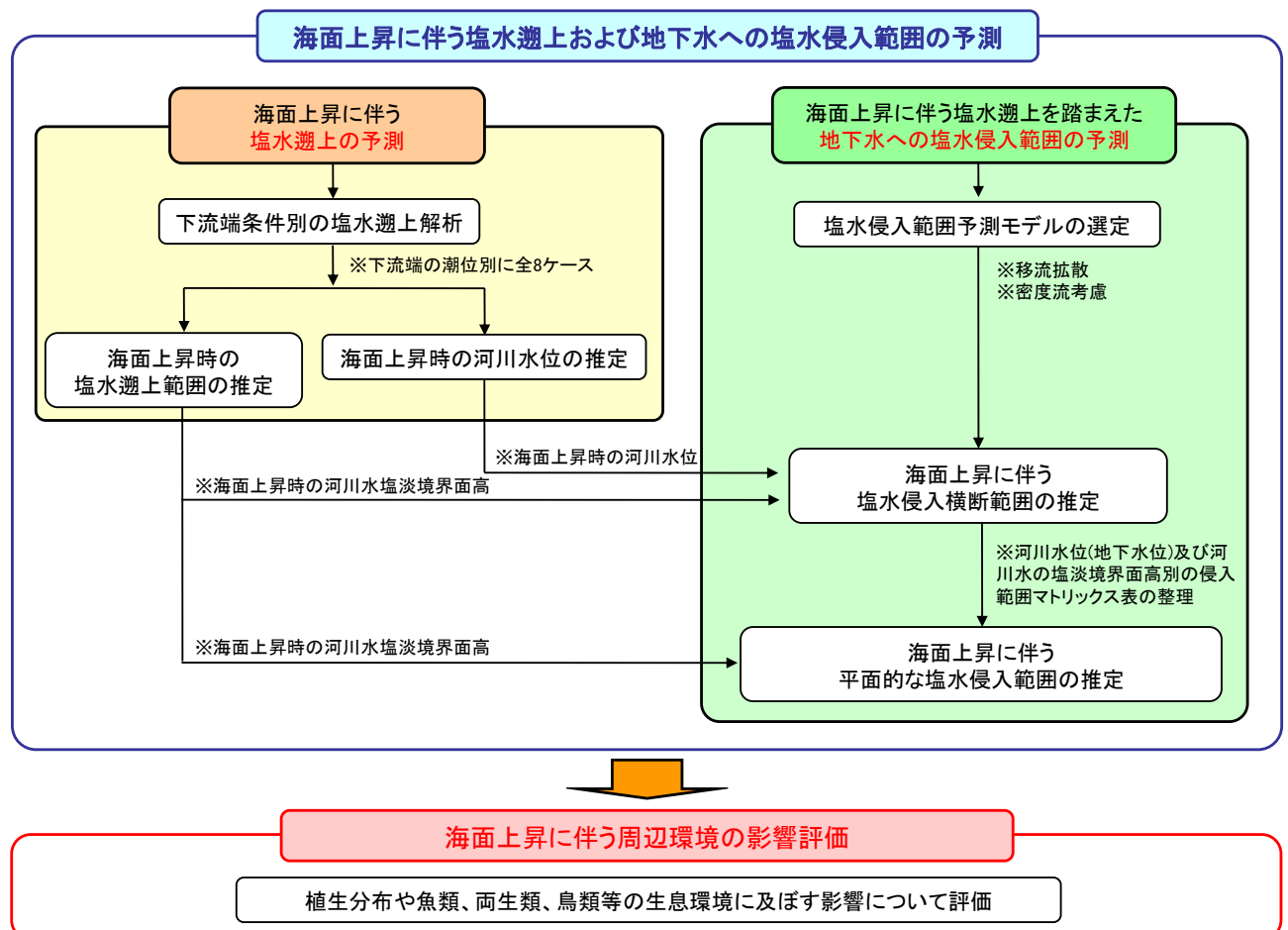


図 5-1 海面上昇に伴う影響予測と周辺環境への影響評価フロー

5.2 海面上昇に伴う塩水遡上の予測

1) 塩水遡上の予測方法について

新釧路川では、三次元シミュレーションモデルを用いて、海面上昇に伴う釧路湿原への塩水遡上域の影響範囲を検討した。

■ 計算手法

本検討では、首都大学東京の新谷助教によって開発された環境流体解析を目的とした存在する唯一のオブジェクト指向型環境流体モデルである「Fantom3D」を用いてシミュレーションを実施した。以下に、Fantom3D の概要を述べる。

- ・ 参考 URL : 首都大学東京 HP (<http://www.comp.tmu.ac.jp/shintani/>)
- ・ 参考文献 : 「環境流体解析を目的としたオブジェクト指向型流体モデルの開発と検証」
新谷哲也・中山恵介 水工学論文集, 第 53 巻 2009 年 2 月
: 「環境流体解析のための簡易 Wetting and Drying スキーム」
新谷哲也, 中山恵介, 中本篤嗣 水工学論文集, 第 56 巻, 2012 年 2 月
: 「斜面を遡上する内部波の数値計算と可視化実験」
新谷哲也・梅山元彦 土木学会論文集, No768/II-68 2004 年 8 月

本数値モデルは、新谷・梅山（2004）で開発したコードが基にされた非静水圧 3 次元モデルである。ここでは、上記参考文献を基に数値モデルの概要について記述する。

■ オブジェクト指向プログラミングの概要

オブジェクト指向プログラミングのメリットとして、複雑形状領域の解析や並列化を目的とした領域分割法の適用が容易であることが挙げられる。湖や閉鎖性港を解析する場合、その境界条件として、河川の流入や外洋への接続が考えられる。多くのモデルでは、河口部で流量を与え、外洋接続部では潮位を与えてその影響を考慮する。しかしながら、感潮河川と接続する湖沼、外洋と接続する閉鎖性港の解析では、計算領域外に一度持ち出された水塊が領域に戻ってくること（水域間の相互作用）を考慮しなければならない。このような場合、当然従来型のモデルでも解析することができるが、オブジェクト指向で設計されたコードはより容易かつ柔軟に対応できる。

■ 基礎方程式

水域内の流動を支配する基礎方程式は、質量保存式、運動方程式、密度の保存式である。非圧縮及び、対象領域内の密度差が非常に小さいことを考慮してブジネスク近似を仮定すると基礎方程式はテンソル形式で次式のように示される。

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (5.2.1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho_1} \frac{\partial p}{\partial x_i} - \frac{\rho - \rho_1}{\rho_1} g \delta_{i2} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\nu + \nu_t) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right\} \quad (5.2.2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + u_j \frac{\partial p}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\frac{\nu}{S_c} + \frac{\nu_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial p}{\partial x_j} \right\} \quad (5.2.3)$$

ここで、 u_i は x_i 方向の速度成分であり（ $i=1, 2$ ）、 x_1 は水平方向、 x_2 は鉛直方向の座標軸である。ただし、重複する添え字に対しては総和規約が適用されるものとする。 p は圧力、 ρ は密度、 ρ_1 は上層の初期密度、 ν と ν_t はそれぞれ動粘性係数と渦動粘性係数、 δ はディラックのデルタ関数であり、 S_c と σ_t はそれぞれシュミット数と乱流シュミット数である。

■ 基礎方程式の離散化

計算格子は、セル中心に圧力とスカラー量、セル面に運動量を置くスタッガード格子とし、基礎方程式は一般座標系に基づき離散化を行う。ただし、成層強度が強い水域の解析を主として考えているため、鉛直方向は常にデカルト座標（z-coordinate）に基づいて離散化する。

運動量、水温、塩分の移流計算には、Ultimate Quickest 法を用いる。一方、粘性（拡散）項は2次精度の中心差分で離散化する。粘性項を陽的に解析する際には、拡散数に依存する時間ステップの制限が生じる。そのため、本モデルでは、水平拡散に関しては陽的に計算し、鉛直拡散は陰的（Backward-Euler）に計算を行う。解法にはフラクショナルステップ法を用い、移流項、順圧勾配項、鉛直拡散項以外の時間積分は、1次精度のオイラー陽解法を用いる。

密度は、水温と塩分の関数であり、本モデルでは UNESCO の状態方程式を用いて計算を行い、複雑な地形はマスキング手法により再現し、水域セルのみを計算対象とすることで計算速度の効率化を図る。

■ 非静水圧と水面変動の解法

内部波運動など鉛直加速度が重要となる現象を解明するためには、圧力の非静水圧成分に関する連立方程式を解く必要がある。連立方程式を解く際には、タイムステップ毎に各ドメインでSOR法を1回適用し、次に全ドメインの残差を合計し収束判定を行い、残差が判定基準を満足していない場合はドメイン間で境界条件の受け渡しを行った後、上記の操作を繰り返すことで連結領域の収束解を得ることができる。なお、本モデルでは残差計算の高速化のため、残差切除法が利用されている。

水面変動（順圧成分）の計算には、水面波の波速に依存する時間ステップの制限を回避するため鉛直積分された平面2次元の長波方程式を陰的（Backward-Euler）に解く手法を用いる。

■ 乱流モデル

乱流モデルは LES モデルを用い、本検討では水平拡散係数を 0.01 とする。なお、一般的には 0 とすることが多いが、危険側（塩水の遡上しやすい条件）として水平拡散係数を 0.01 として検討を実施した。塩水遡上の観測データがある水域においては実測データによる検証を行うことが望ましい。なお、当該水域では、平成 21～22 年度に実施した塩水遡上調査において KP0.0 まで塩水が遡上した状況が確認されているが、それより上流への塩水遡上は観測されていない。

■ 境界条件

各ドメインの境界条件は、上下流端に塩分、水温、流量（上流端）、水位（下流端）を与え、壁面を滑り面、底面を壁面として与える。

また、圧力の境界条件は、壁面では法線方向の勾配をゼロに、水面で圧力がゼロとなるように与える。

<参考> オブジェクト指向型環境流体モデル FANTOM 3D について

FANTOM3D の最も大きな特徴はオブジェクト指向 (Object-Oriented Programming) に基づいて構築されているところにある。オブジェクト指向で設計されたソフトウェアを身近なもので例えれば、プレキャストコンクリート部材やおもちゃの積み木に近いと思われる (図 1)。つまり、特定の機能・特徴を有した“オブジェクト=もの”を組み合わせることで目的とする対象を構築するということになる。これまで多くみられる環境流体解析のような一枚岩構造のソフトウェア(例えば POM, ROMS, ELCOM など)とは異なり、モデルの変更や機能追加が部分的となり (保守コストが低減)、また必要な部品や機能だけを組み合わせるため多様で効率的な計算が可能になる (必要なときだけ接続して使用する USB 接続周辺機器のようなイメージ)。各々の部品 (オブジェクト) は、繰り返し使用されるために品質・信頼性が向上するというメリットもある (トヨタなどが自動車部品を共通化することと同じ)。FANTOM3D を構成するオブジェクト群は、設計時から並列化計算を考慮しているため、現在一般的となった複数の CPU (正確にはコア) を持つ PC で効率的に計算を実行することができる。以下にモデルの主な仕様を箇条書きで記す。

1. 3次元静水圧・非静水圧の非定常流れ解析 (1次元, 2次元計算も可能)
2. 実験室スケールから現地スケール (図 2) まで「単一の実行ファイル」で対応
3. 様々な初期・境界条件の設定 (河川流入, 潮汐, 気象を含む)
4. ULTIMATE-QUICKEST, CIP 移流スキームによる物質輸送の高精度予測
5. 陰的スキームの導入による計算効率化
6. 領域分割・並列化による計算効率化 (OpenMP)
7. パーティクルトレーサー追跡計算

その他、環境流体を解析する上で便利な機能として、水面下の地形を柔軟に表現するためマスキング手法に加え、Partial-Step 法の導入による滑らかな地形再現が可能である。また、部分的に空間解像度や時間解像度を向上させるアルゴリズム (Nesting, Field オブジェクトの概念) も導入している。上述のようにオブジェクトの取り外し・入れ替えがプログラムを修正せずに可能なため、例えば移流、拡散 (乱流モデルの違い)、コリオリ力、非静水圧など様々な効果の有無が流れ場や物質輸送に与える影響を簡単に解析することができる。将来的に、生物・化学的現象の諸過程を組み込む際も、移流や拡散などの基本的な運動は新たなプログラミングを必要とせず、固有の部分 (生成項) のみを記述・追加すれば他のすべての物理量と同様に計算・出力される。

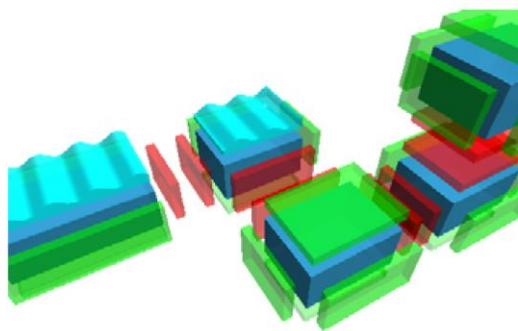


図 1 : オブジェクトの接続イメージ

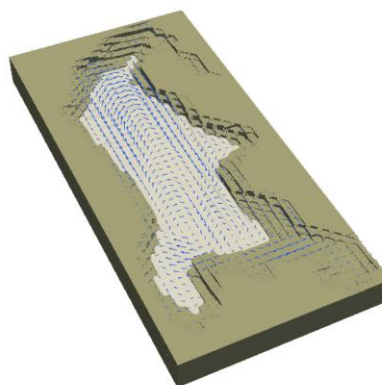


図 2 : 現地スケールへの適用例

(首都大学東京 新谷助教 提供資料)

2) 解析条件

塩水遡上解析は、オブジェクト指向型環境流体モデル（Fantom3D）を用いて実施した。

なお、計算に必要となる水温、塩分、流量、潮位等については以下の通り設定し、8 ケースの計算を実施した。

表 5-1 塩水遡上解析条件

項 目		設 定 値	設 定 根 拠
解析モデル		Fantom3D	Wet & Dry処理を可能としたオブジェクト指向型環境流体モデル(図5-2)
計算延長		河口～KP12.0	海面上昇後の感潮域を計算対象区間として設定
上流境界条件	流量 (定常)	本川 $Q=24.50\text{m}^3/\text{s}$ 支川 $Q=7.40\text{m}^3/\text{s}$ (合流後 $Q=31.90\text{m}^3/\text{s}$)	危険側の条件として広里地点における1/10洪水流量(3位/30年)を採用 上流端境界に与える本川 Q と支川 Q は流域面積比により配分 (広里 $A=2172.1\text{km}^2$ 、本川 $A=1668.0\text{km}^2$ 、支川 $A=504.1\text{km}^2$ で設定)
	塩分	0.0psu	淡水の塩分濃度
	水温	8.9℃	水質自動監視装置により測定された河川水温(瀬文平橋)の年平均値
下流境界条件	潮位 (非定常)	Case1 : Max 0.92m (現況)	気象庁HPで収集可能な天文潮位の収集期間最大値 (釧路港天文潮位:H14.12.5 22:00～12.6 22:00・・・25hr)
		Case2 : Max 1.07m	Case1+0.15m
		Case3 : Max 1.22m	Case1+0.30m
		Case4 : Max 1.37m	Case1+0.45m
		Case5 : Max 1.52m	Case1+0.60m
		Case6 : Max 1.82m	Case1+0.90m
		Case7 : Max 2.12m	Case1+1.20m
		Case8 : Max 2.44m (将来)	Case1+1.52m [内訳:IPCC予測値(+0.59m)+気象偏差(+0.93m:H18.10.8)]
	塩分	34.0psu	海水の塩分濃度
	水温	8.3℃	公開されている釧路港表層水温(函館海洋気象台HPより)の年平均値
地形条件		主にH21測量河床	最新の測量成果を採用、並列計算を行うため13のドメインに分割(図5-3) (メッシュサイズ:横断方向10m間隔、縦断方向10m間隔、鉛直方向0.2m間隔)

※解析に用いる潮位は、Case1（現況）を天文潮位とし、Case8（将来）で界面上昇に加えて潮位偏差を考慮

※psu：海水の電気伝導度の測定から塩分を求めた際に用いられる実用塩分単位

【Wet&Dry 処理の概念】

Wet&Dry の概念を図 5-2 に示す。Wet&Dry の概念を考慮しない場合、表層メッシュ 1 層で水位変動を与える必要があり、鉛直混合が過度に進み塩水遡上が過小評価される。

一方、Wet&Dry の概念を組みこんだ場合、鉛直方向メッシュ数で水位変化を与えることが可能となり、淡水が表層付近を薄く流下する現象を再現することが可能となる。

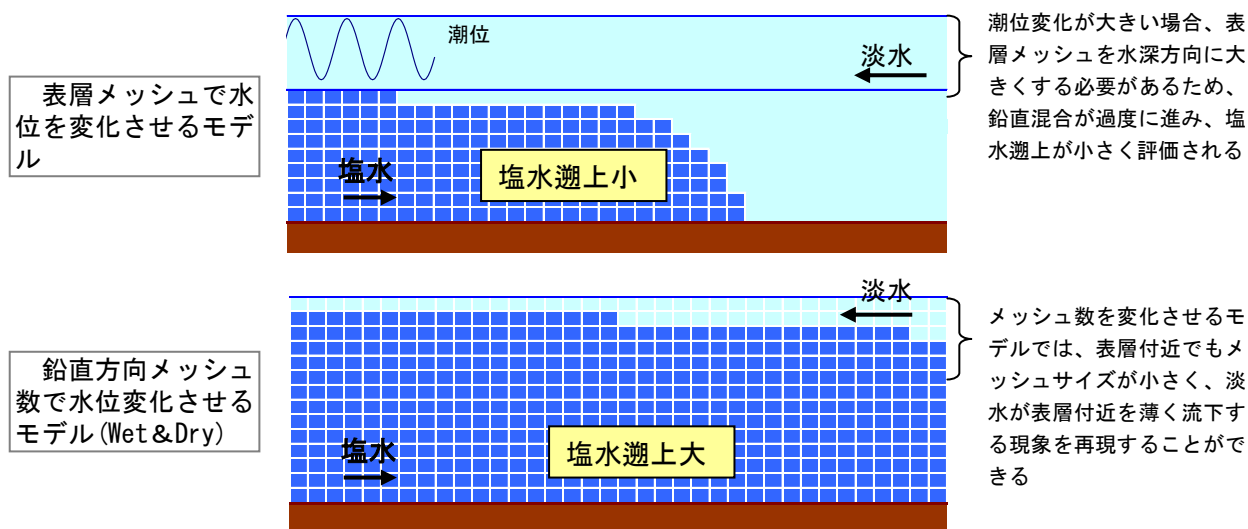


図 5-2 Wet&Dry 処理を可能とした最新のオブジェクト指向型環境流体モデル

【計算に用いた潮位波形】

計算に用いた潮位波形を図 5-3 に示す。Case①は現況の天文潮位とし、将来予測値に海面上昇の予測値と気象偏差の最大値を考慮することで、危険側の将来予測を行うものとした。また、順応的管理に向けて Case1 から Case8 の潮位を 0.15m～0.3m 毎に分割し、潮位レベルに応じて塩水遡上距離がどのように変化していくかを把握した。

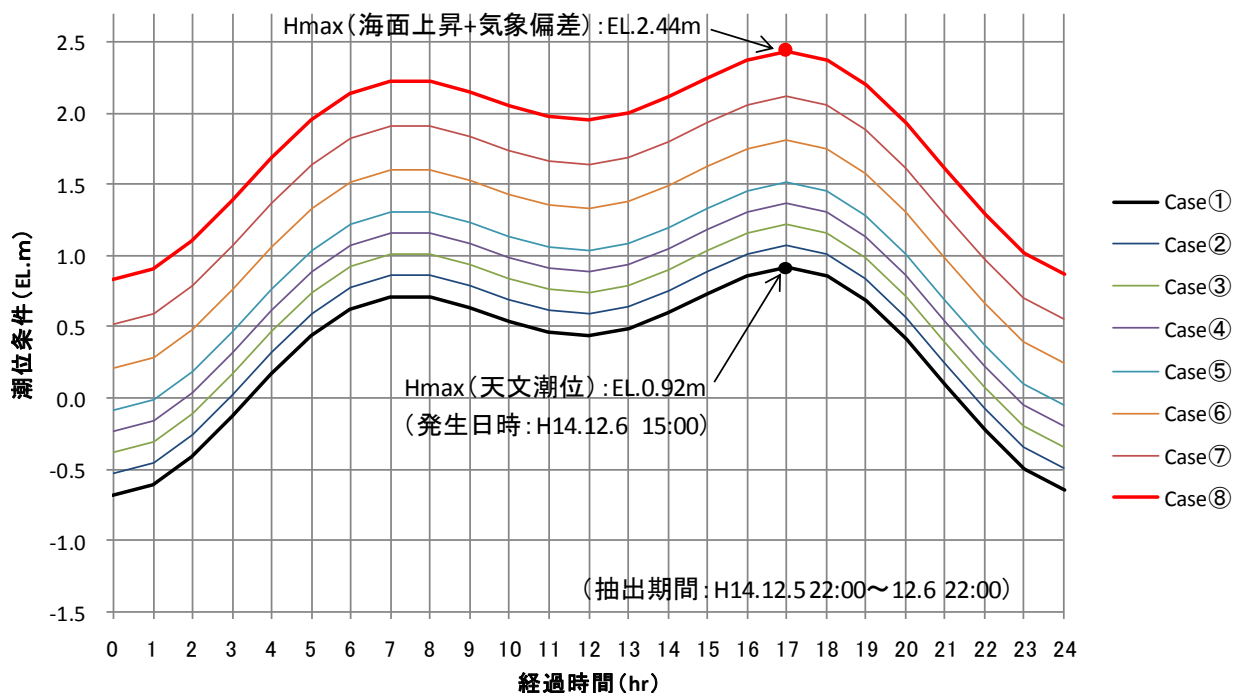


図 5-3 塩水遡上解析のケース設定（順応的管理に向けて海面上昇レベルを変化させた 8 ケース）

【計算に用いたドメイン分割】

河岸形状と計算に用いたドメイン分割を図 5-4 に示す。

計算効率を高めるため、まずは計算対象外のメッシュが少なくなるように横断方向のドメインサイズを決定し、次に各ドメインの有効メッシュ数に大きな差が生じないように縦断方向のドメインサイズを設定した。

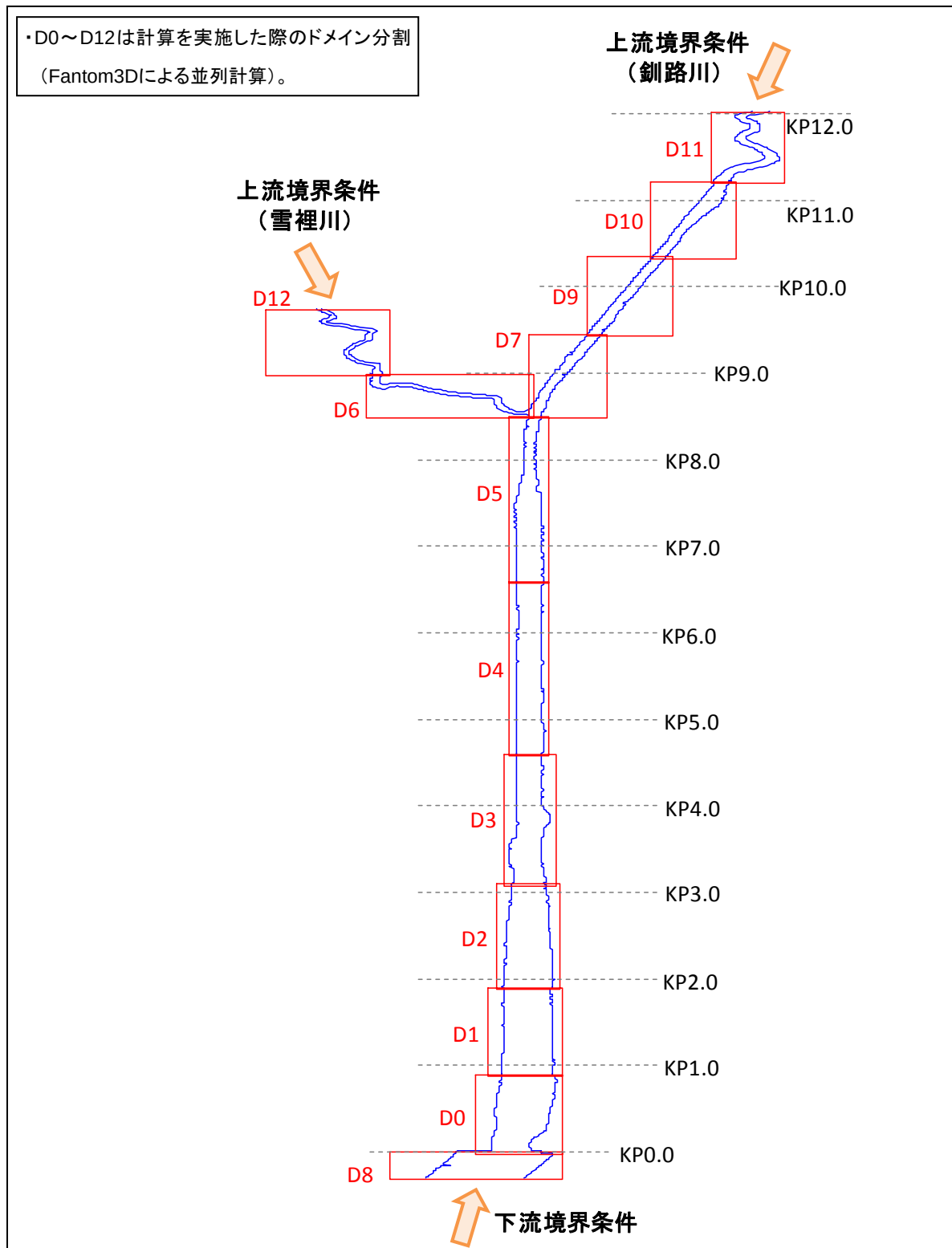


図 5-4 計算に用いた河岸形状と並列計算を実施するドメイン分割

3) 解析結果の抽出

本検討では、図 5-3 に示した平成 14 年 12 月 5 日～12 月 6 日にかけての釧路港天文潮位を下流端に与える基本波形として選定し、同一波形を繰り返し与えることで 5 日間の非定常計算を実施した。

なお、解析の安定を図るため、基本波形の最大値を初期値（0hr）として設定した。

解析を行った結果、計算開始から 33hr 以降では、同一潮位条件の解析結果がほぼ同一となる周期的な解析結果が得られることを確認した。

そのため、図 5-5 に示す最低潮位時（33hr）および最高潮位時（50hr）の計算結果を抽出し、潮位条件の各レベル（Case1～Case8）に応じた塩水遡上域の変化を予測した。

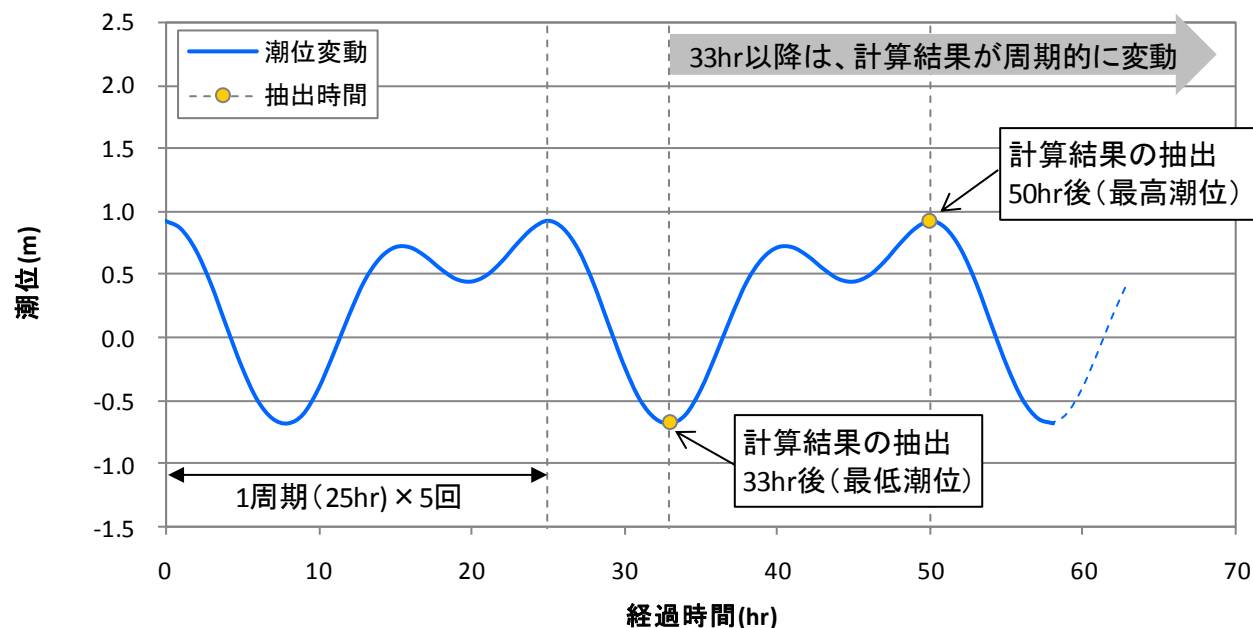


図 5-5 計算に与えた潮位波形と計算結果抽出時間の設定

4) 解析結果

Case1～Case8 の解析結果から得られた最低潮位時（33hr 後）および最高潮位時（50hr 後）における塩水遡上縦断図を図 5-6 に、潮位条件の変化に伴う Case1～Case8 の塩水遡上範囲の変化を図 5-7 に示す。

■ Case1 潮位=EL-0.68~0.92m（現況）

- ・ 現況で危険側の流量条件を設定した場合、高濃度（20psu 程度）の塩水は、**KP4.0** 付近まで遡上し、10psu 程度まで希釈された塩水は、**KP5.4** 付近まで遡上する結果が得られた。
- ・ 潮位低下時には **KP1.0** 付近の深掘れ部に若干の残留塩分を残すが、塩水は河川水によりほぼ全量押し戻される結果が得られた。

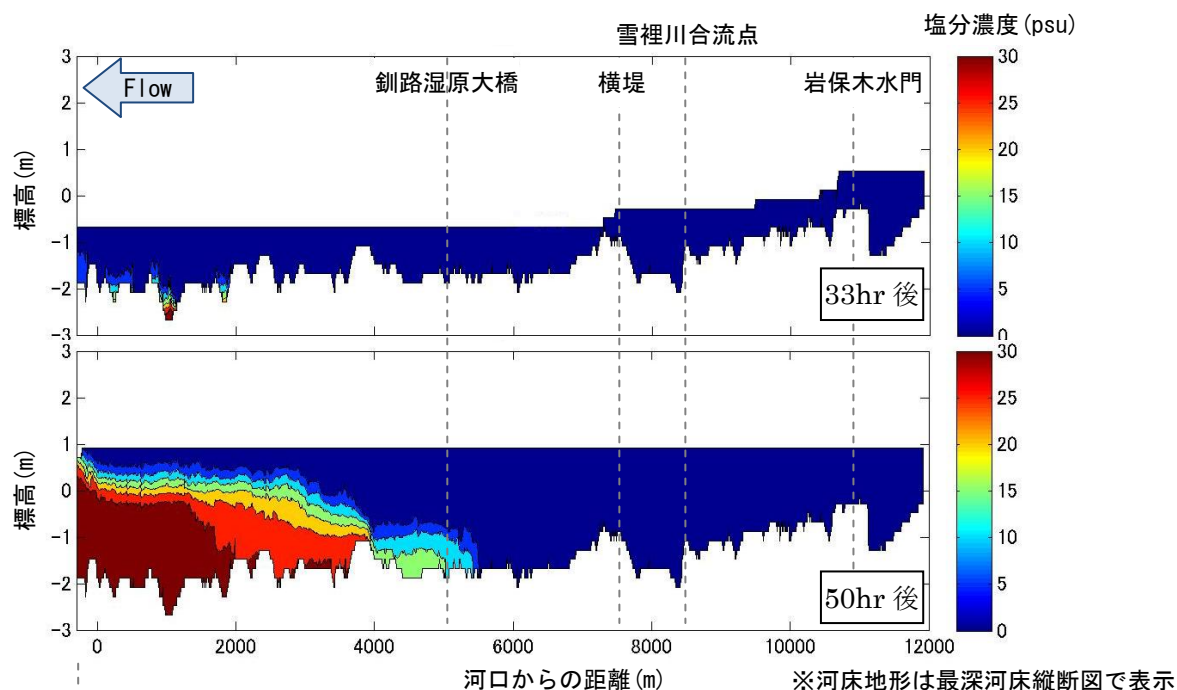


図 5-6(1) 塩水遡上縦断面図 (Case1)

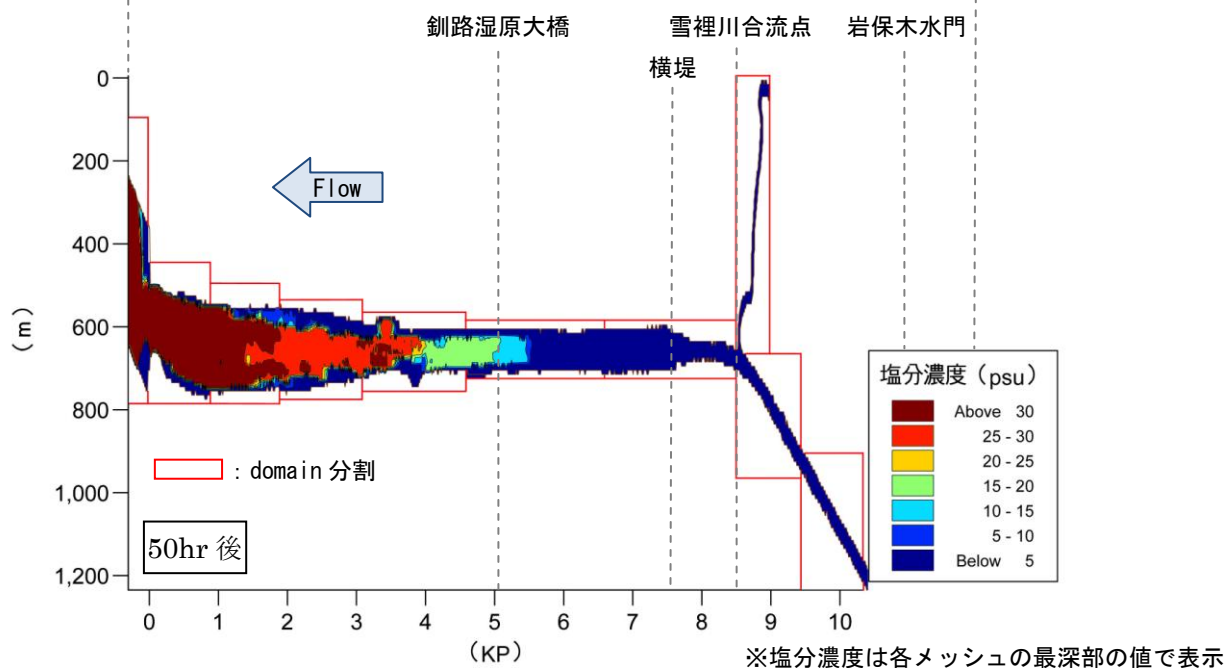


図 5-6(2) 塩水遡上平面図 (Case1)

■ Case2 潮位=EL-0.53~1.07m（現況+0.15m）

- ・高濃度（20psu 程度）の塩水は、**KP5.5** 付近まで遡上し、10psu 程度まで希釈された塩水は、**KP6.2** 付近まで遡上する結果が得られた。
- ・潮位低下時には **KP1.0** 付近の深掘れ部に塩分が滞留し、恒常的に塩水に暴露される環境となる結果が得られた。

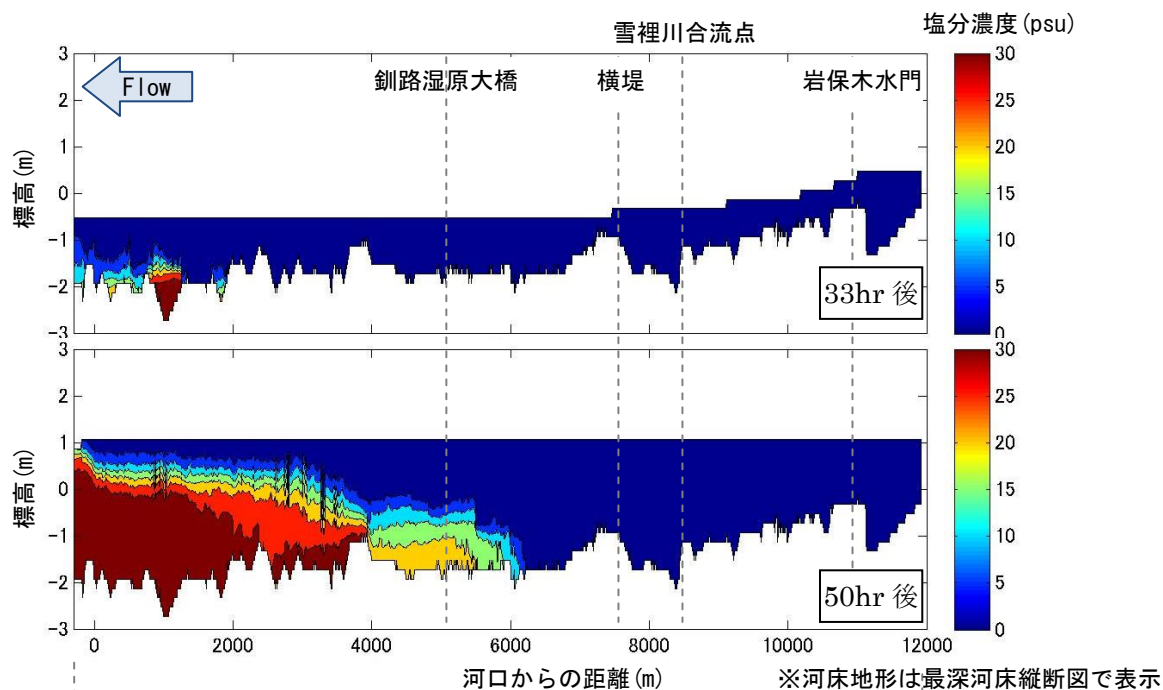


図 5-6(3) 塩水遡上縦断面図 (Case2)

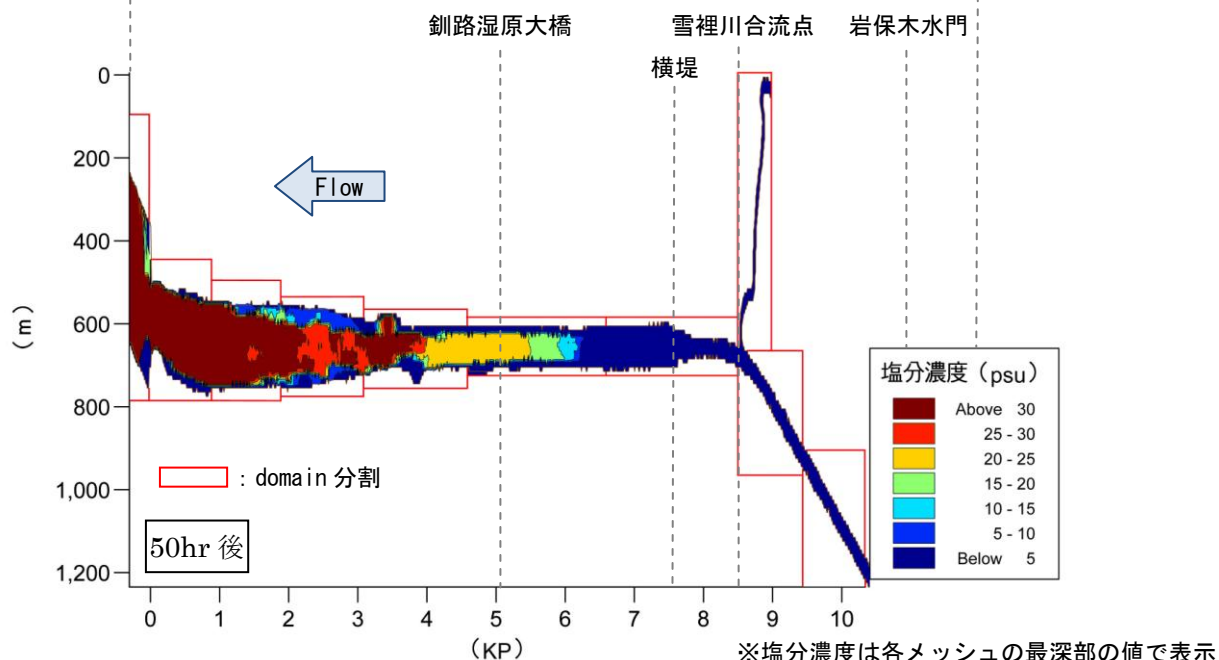


図 5-6(4) 塩水遡上平面図 (Case2)

■ Case3 潮位=EL-0.38~1.22m（現況+0.30m）

- ・高濃度（20psu 程度）の塩水は、**KP6.3** 付近まで遡上し、10psu 程度まで希釈された塩水は、**KP7.0** 付近まで遡上する結果が得られた。
- ・潮位低下時には **KP1.9** 付近より下流の下層部に塩分が滞留し、恒常的に塩水に暴露される環境となる結果が得られた。

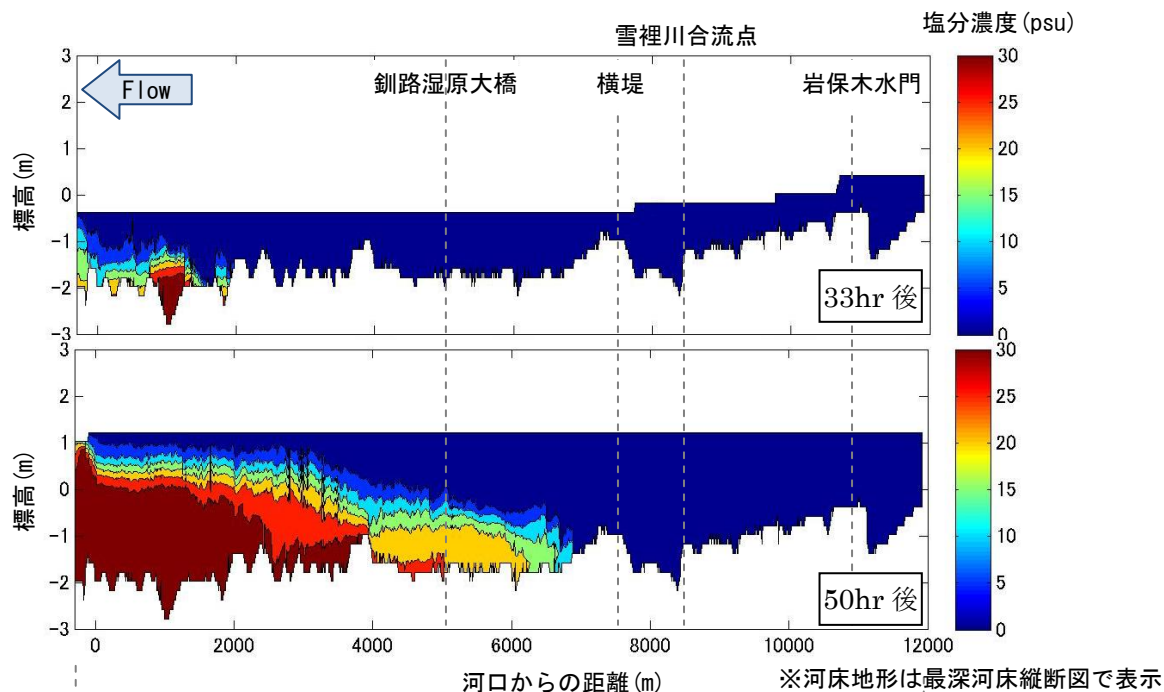


図 5-6(5) 塩水遡上縦断面図 (Case3)

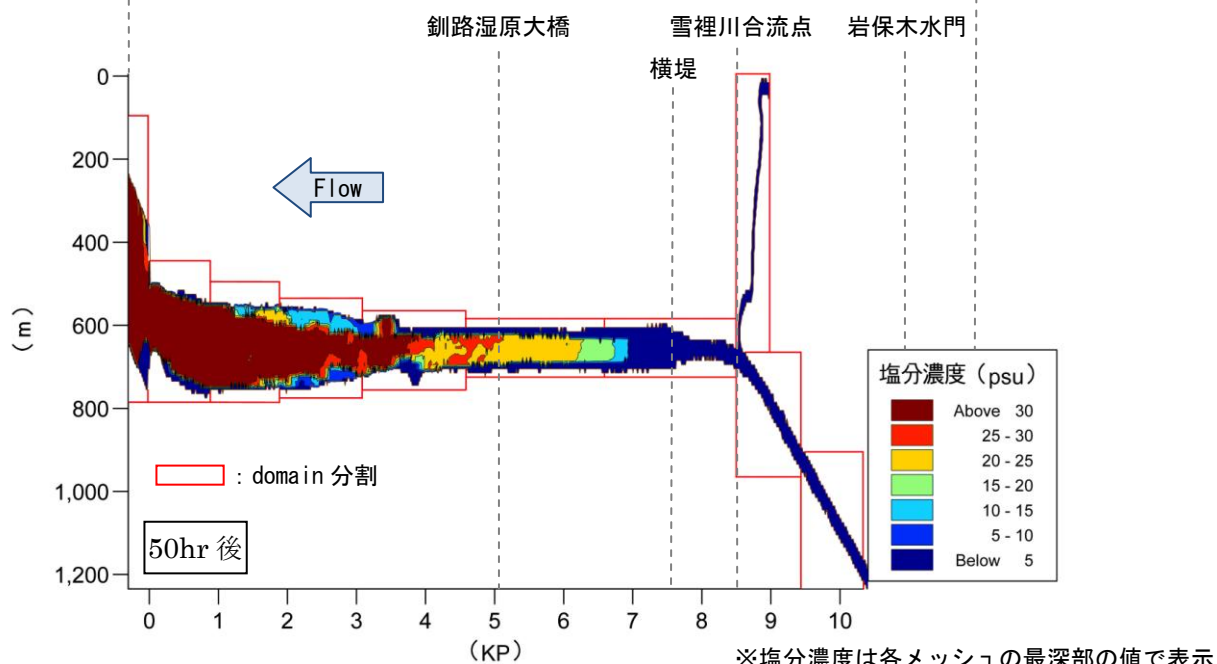


図 5-6(6) 塩水遡上平面図 (Case3)

■ Case4 潮位=EL-0.23~1.37m (現況+0.45m)

- ・高濃度 (20psu 程度) の塩水は、**KP7.1** 付近まで遡上し、10psu 程度まで希釈された塩水は、**KP7.5** 付近まで到達する結果が得られた。
- ・潮位低下時には **KP1.9** 付近より下流の下層部に塩分が滞留し、恒常的に塩水に暴露される環境となる結果が得られた。

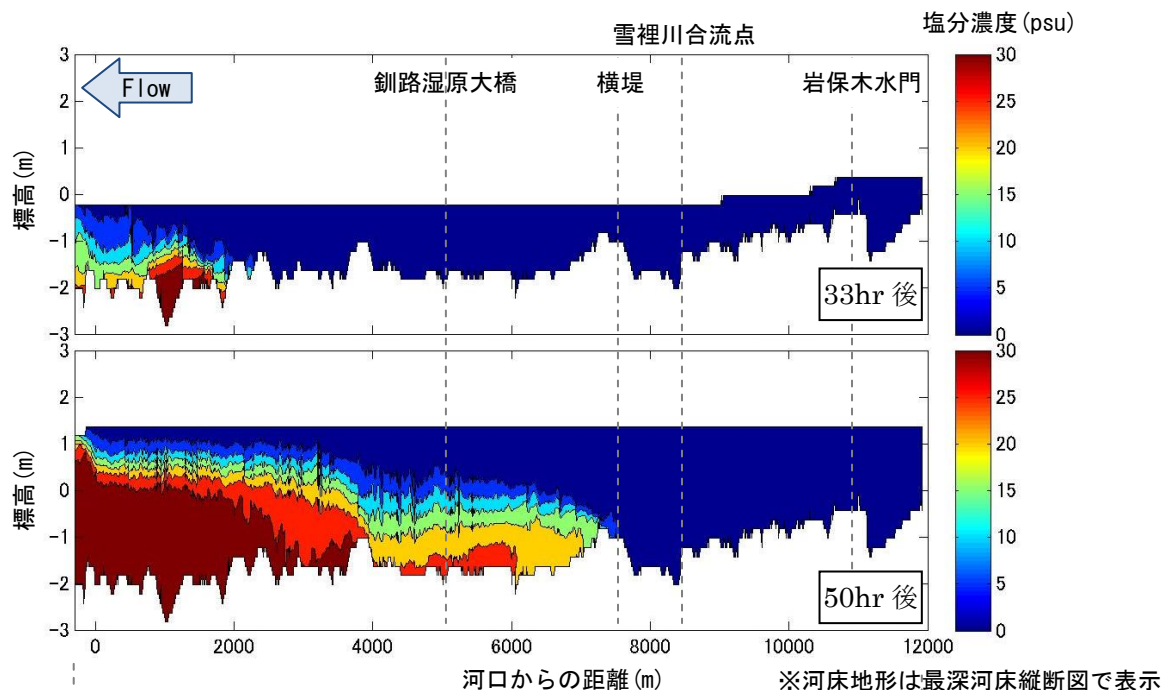


図 5-6(7) 塩水遡上縦断面図 (Case4)

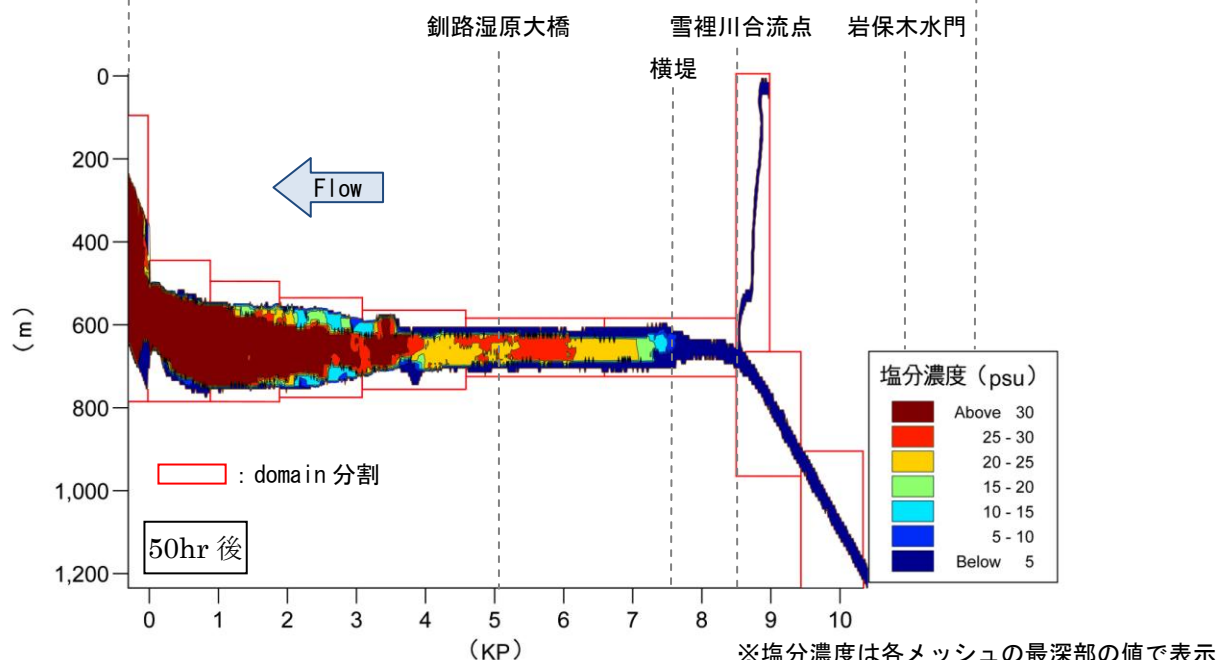


図 5-6(8) 塩水遡上平面図 (Case4)

■ Case5 潮位=EL-0.08~1.52m（現況+0.60m）

- ・高濃度（20psu 程度）の塩水は、**KP7.6** の横堤付近まで遡上し、10psu 程度まで希釈された塩水は、横堤を超えて **KP8.1** 付近まで到達する結果が得られた。
- ・潮位低下時には **KP2.4** 付近より下流の下層部に塩分が滞留し、恒常的に塩水に暴露される環境となる結果が得られた。

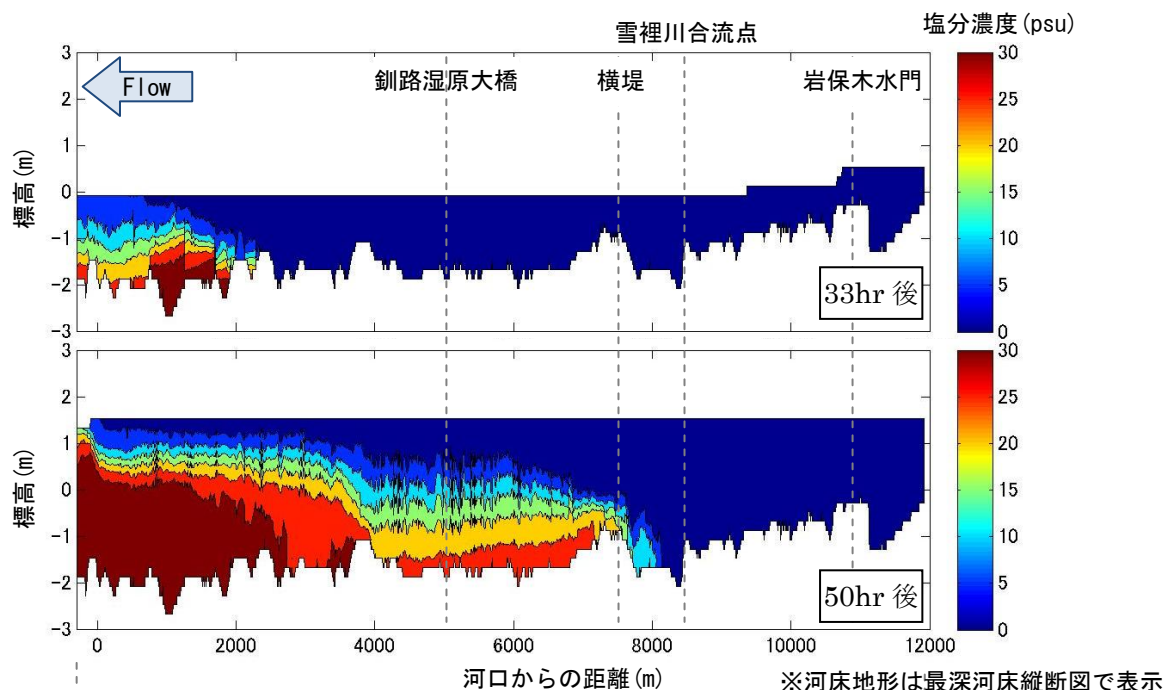


図 5-6(9) 塩水遡上縦断面図 (Case5)

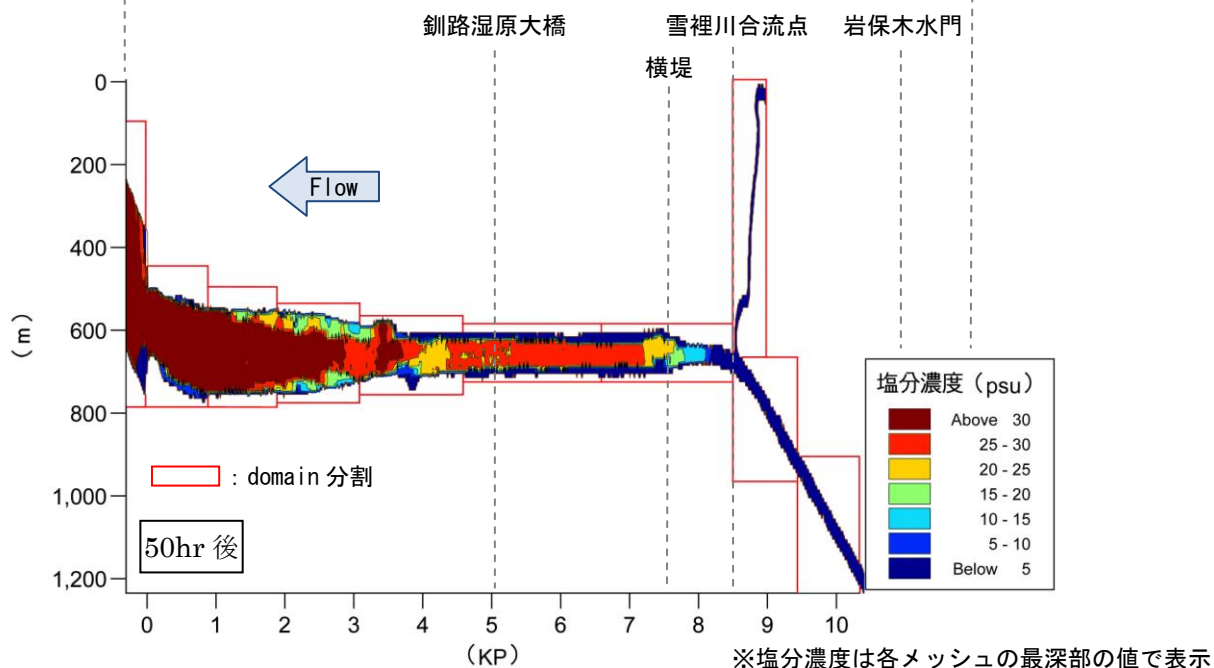


図 5-6(10) 塩水遡上平面図 (Case5)

■ Case6 潮位=EL0.22~1.82m（現況+0.90m）

- ・高濃度（20psu 程度）の塩水は、横堤を超えて雪裡川合流点 **KP8.3** 付近まで遡上し、10psu 程度まで希釈された塩水は、**KP8.9** 付近まで到達する結果が得られた。
- ・潮位低下時には **KP2.8** 付近より下流域に塩分が滞留し、恒常的に塩水に暴露される環境となる結果が得られた。

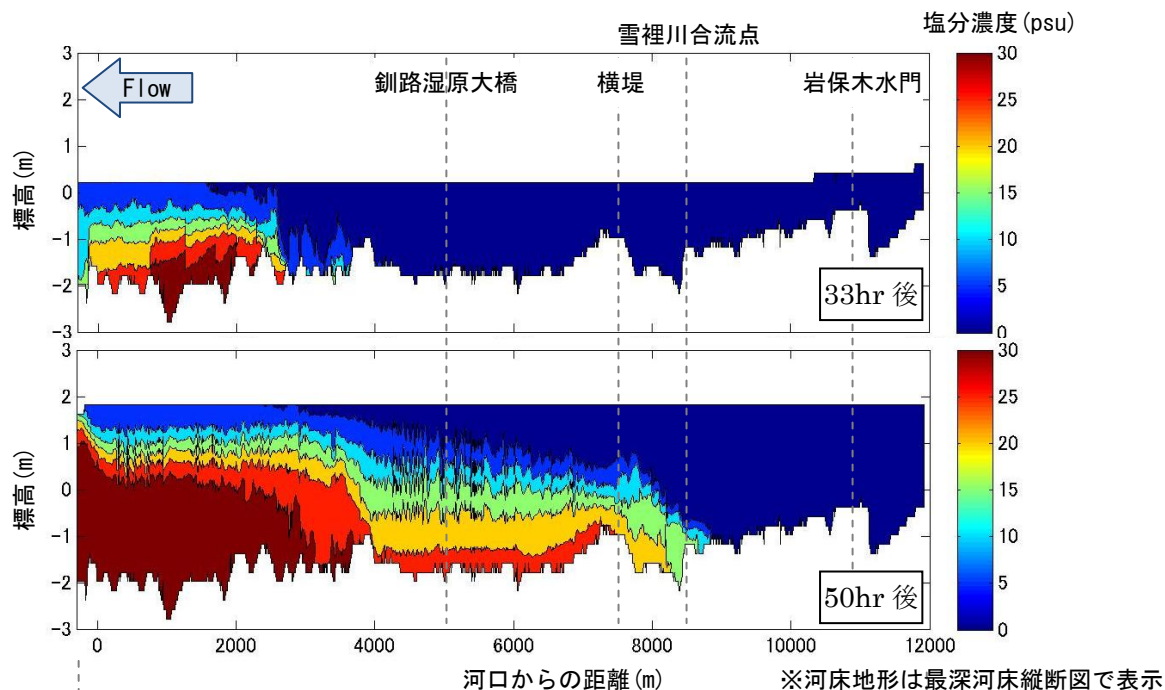


図 5-6(11) 塩水遡上縦断面図 (Case6)

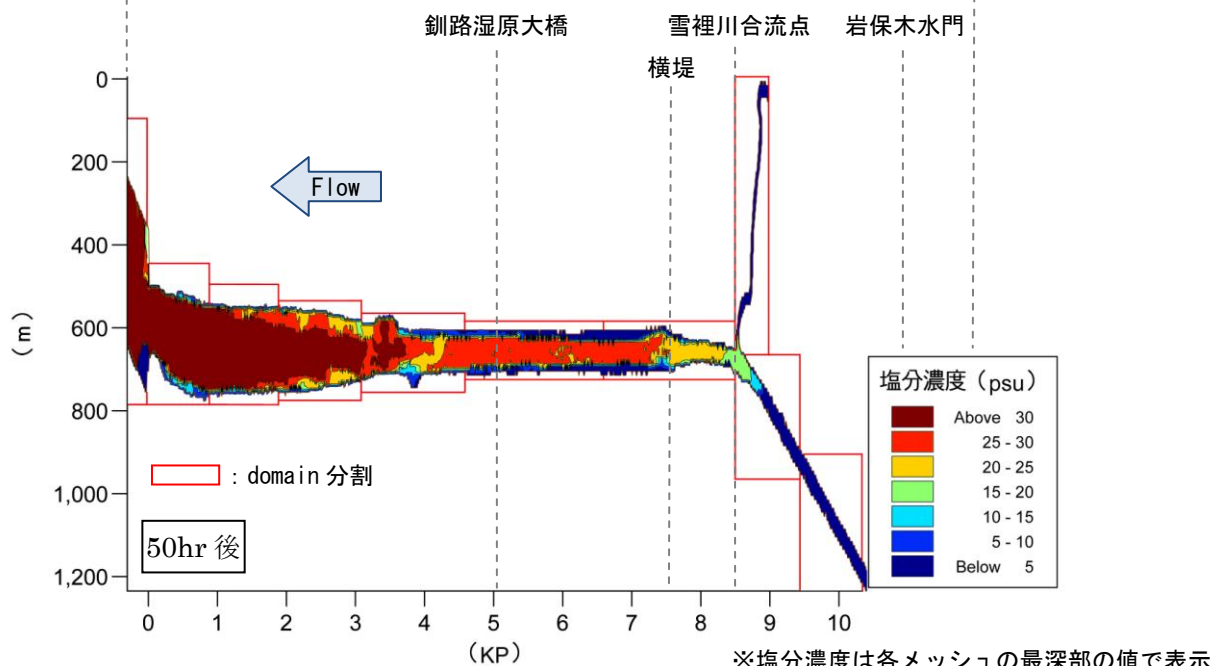


図 5-6(12) 塩水遡上平面図 (Case6)

■ Case7 潮位=EL0.52~2.12m（現況+1.20m）

- ・高濃度（20psu 程度）の塩水は、**KP8.5** 付近まで遡上し、10psu 程度まで希釈された塩水は、**KP9.2** 付近まで遡上する結果が得られた。
- ・潮位低下時には **KP5.0** 付近より下流域に塩水が滞留し、恒常的に塩水に暴露される環境となる結果が得られた。

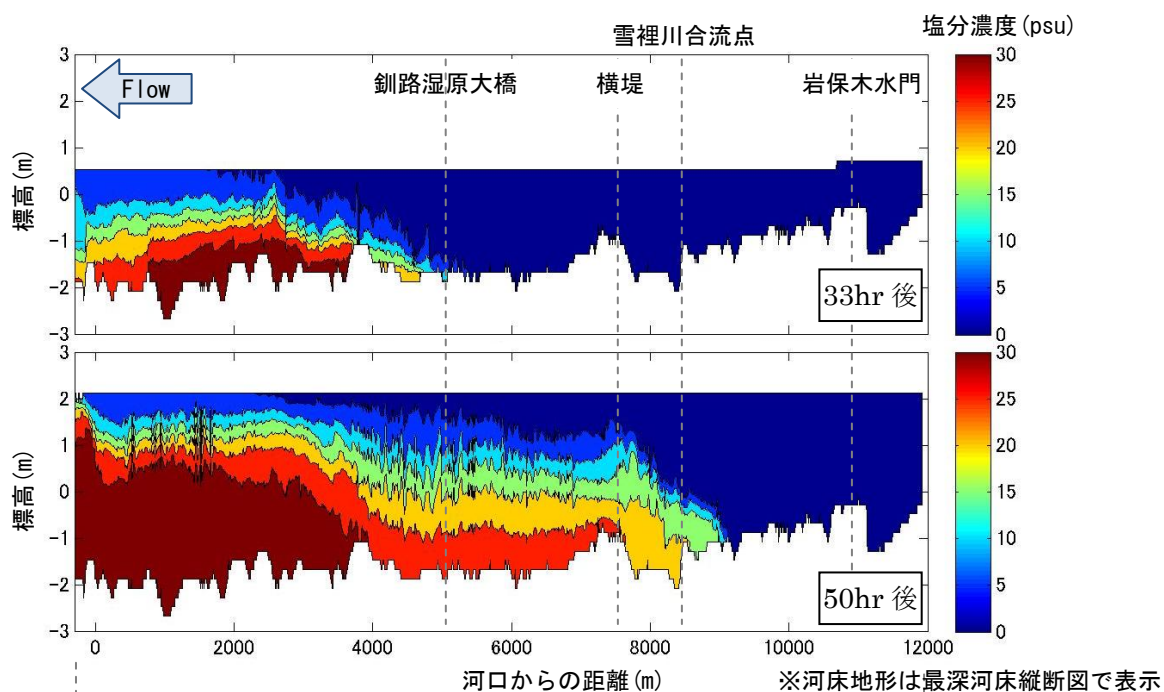


図 5-6(13) 塩水遡上縦断面図 (Case7)

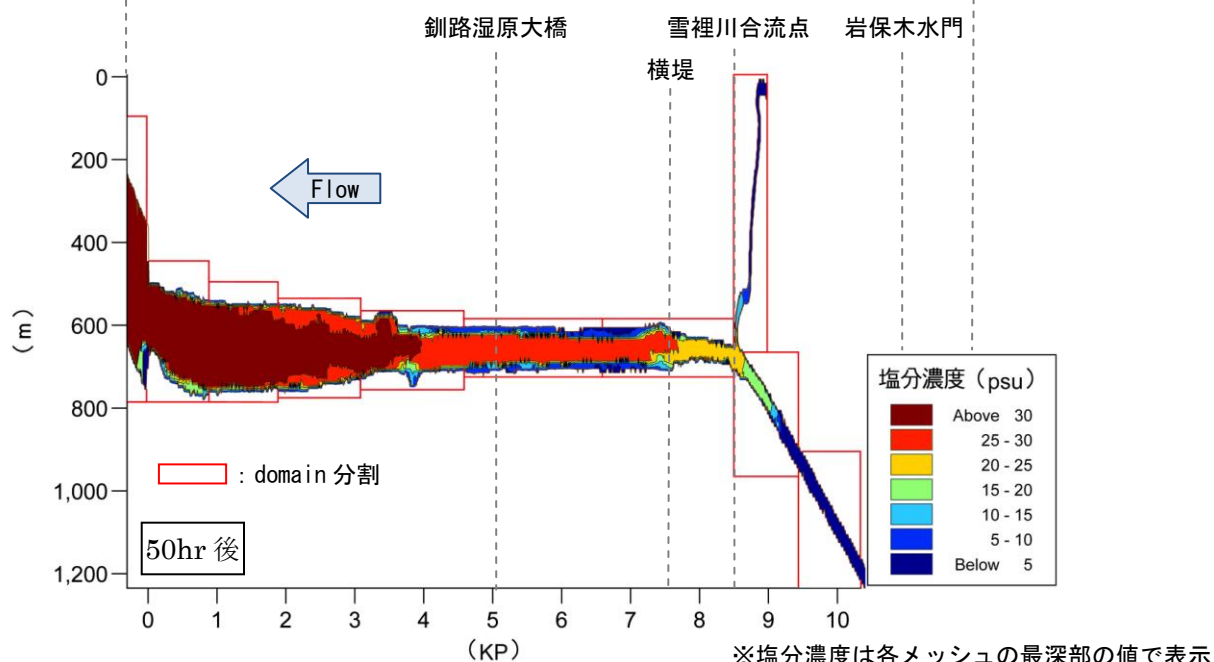


図 5-6(14) 塩水遡上平面図 (Case7)

■ Case8 潮位=EL0.84~2.44m（現況+1.52m）

- ・高濃度（20psu 程度）の塩水は、**KP9.4** 付近まで遡上し、10psu 程度まで希釈された塩水は、**KP9.7** 付近まで遡上する結果が得られた。
- ・潮位低下時には **KP5.5** 付近より下流域に塩水が滞留し、恒常的に塩水に暴露される環境となる結果が得られた。

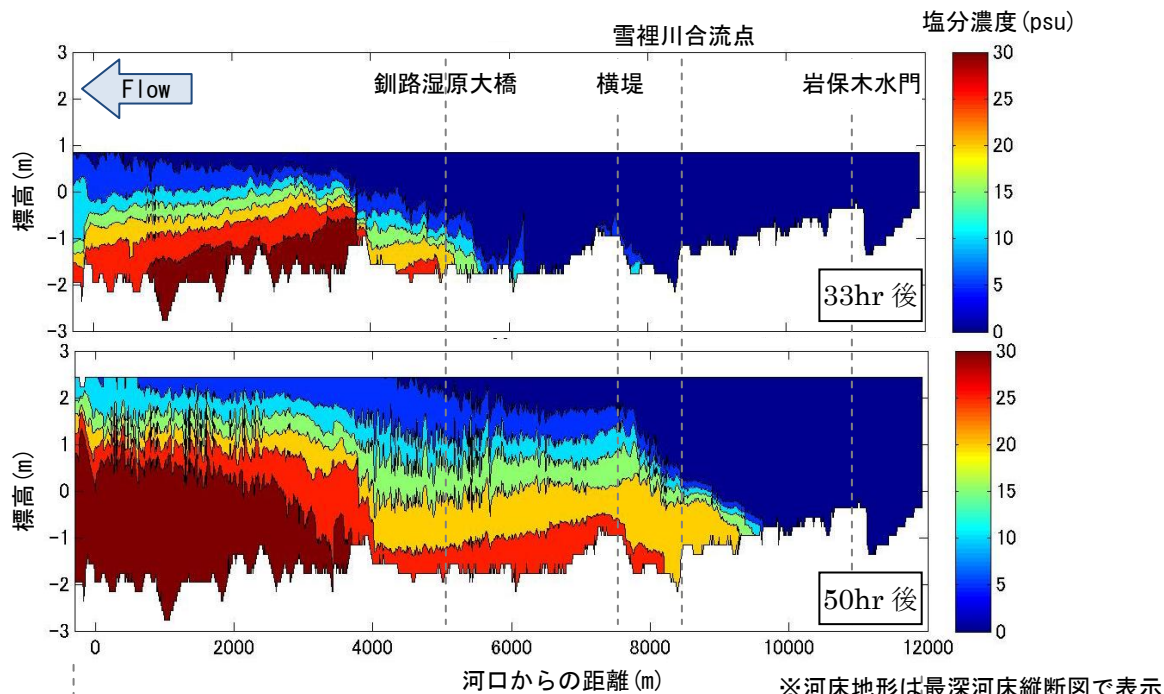


図 5-6(15) 塩水遡上縦断面図 (Case8)

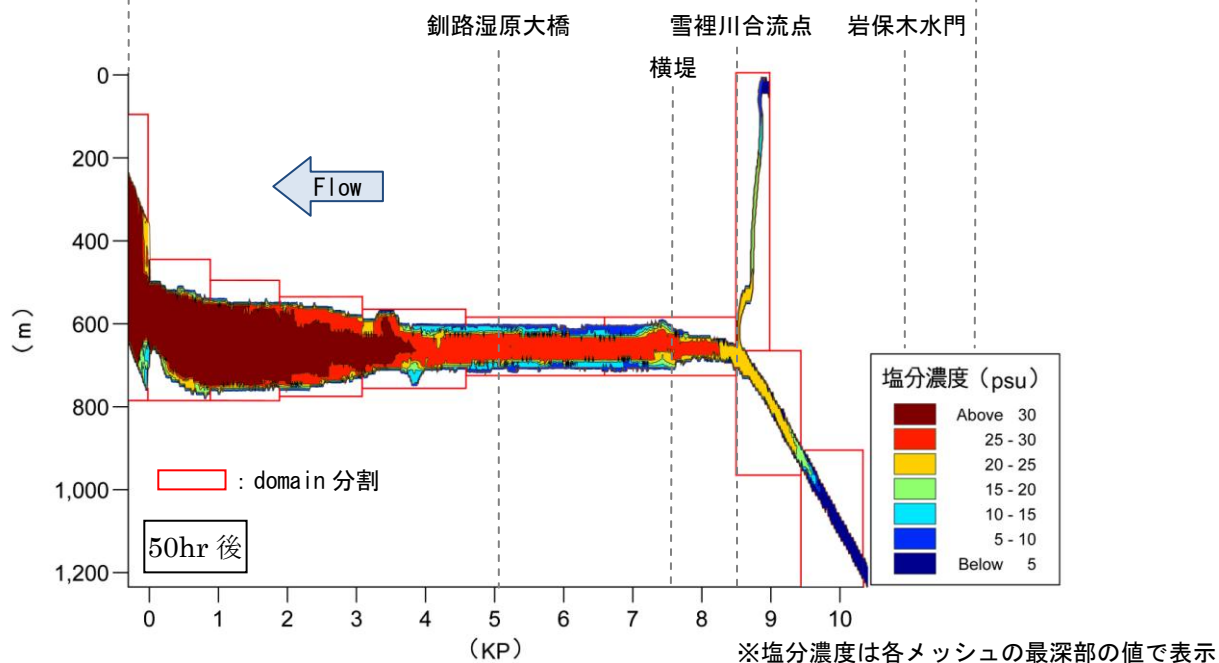
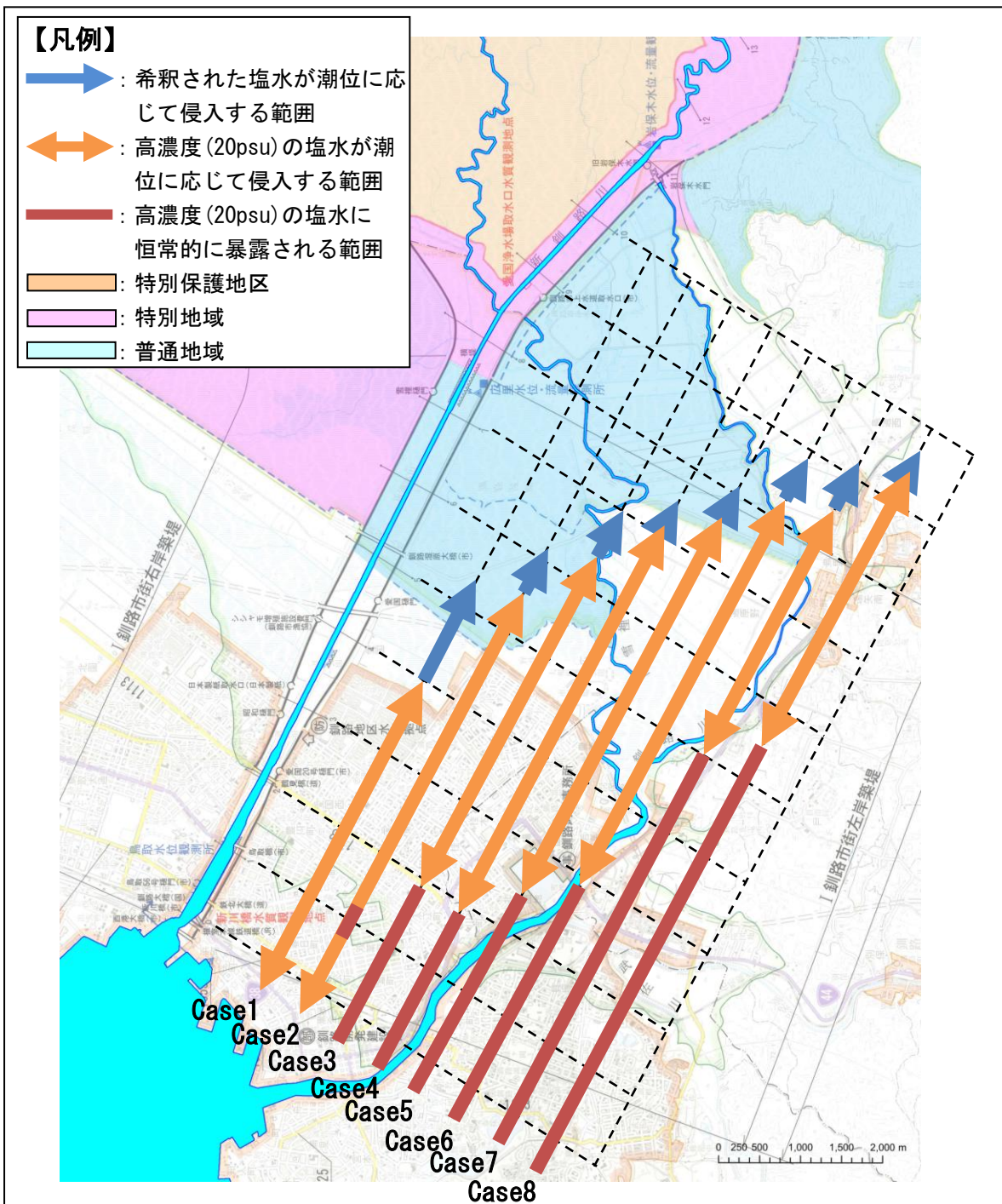
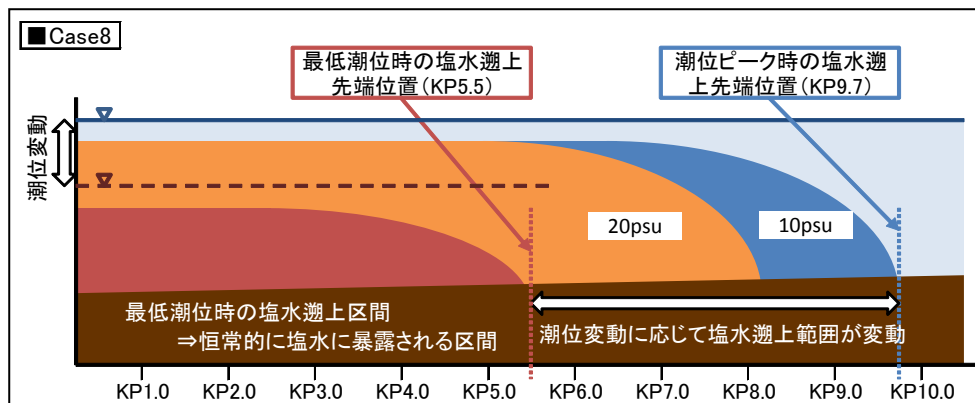


図 5-6(16) 塩水遡上平面図 (Case8)



- ※1 特別地域 : 公園の風致を維持するための地域で工作物の新築・改築等には環境大臣の許可が必要な地域
- ※2 特別保護地区 : 特別地域の内、特に重要な地区で工作物の新築・改築等には環境大臣の許可が必要な地区
- ※3 普通地域 : 特別地域や海域公園地区に指定されていない地域で工作物の新築・改築等には環境大臣への届出が必要な地域
- (出典 : 自然公園法 (抜粋))

図 5-7 各 Case の平面的な塩水遡上範囲の模式図

5.3 海面上昇に伴う塩水遡上を踏まえた地下水への塩水侵入範囲の予測

1) 地下水への塩水侵入の予測手法について

海面上昇に伴う塩水遡上の予測計算結果を踏まえ、地下水への塩水侵入範囲を検討した。

■ 予測方法

《予測モデルの概要》

地下水への塩水の侵入横断範囲は、図 5-8 に示すように海面上昇に伴う塩水遡上による河川水位と塩淡境界面高、更には地下水位により変化し複雑である。

そのため、地下水位及び河川水位が観測されている KP7.4 付近をモデル断面として設定し、モデル断面を対象に湿原域への塩水侵入横断範囲を推定すると共に、同地点で推定した塩水侵入横断範囲を塩水遡上が想定される上下流へ拡張し平面的な塩水侵入範囲を推定した。

なお、その際に使用するモデルは、地下水位や塩淡境界面の鉛直方向の変化と横断方向の塩水侵入範囲の予測に適している断面二次元モデルを用いることとした。

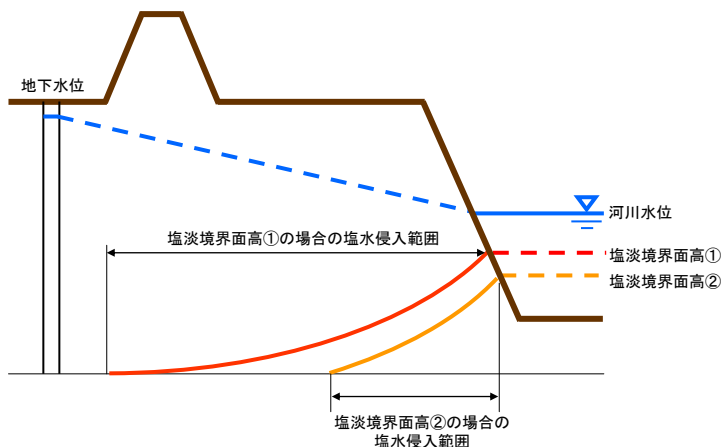
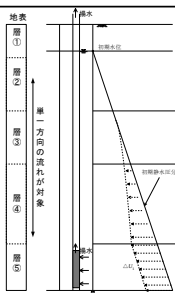
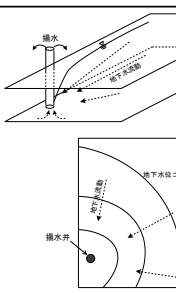
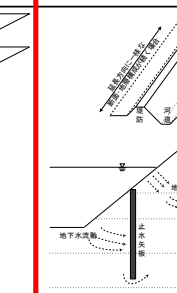
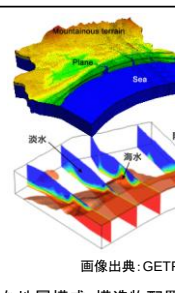


図 5-8 湿原域への塩水侵入横断範囲のイメージ

表 5-2 塩水侵入横断範囲に使用するモデルの選定結果

モデル	一次元	平面二次元	断面二次元	三次元
適用条件	一方向のみの流れに適用される。地層構造が平面的に変化しない（どの地点でも同じ地層構造）と仮定のもとに適用される。	近似的に鉛直方向の流れがなく、水平方向の流れで代表できる条件に適用される。比較的広域な地下水流動を平面的にとらえる場合に適している。	断面に垂直な方向には水の出入りがないとの仮定のもとに適用される。複数の層構造からなる帯水層の水頭変化の状況を説明することに適している。	三次元領域のすべての解析条件に適用されるものである。ただし、情報量が膨大となるので経済性及び解析時間に負担が大きい。
モデル例	 地層構造が平面的に変化しないと仮定できる場合の任意地点における鉛直一次元モデルである	 地層を単一の帯水層とみなすことが出来る場合に平面的な地下水流動（水平方向のみ）を捉えるモデルである	 断面形状・地層構成が延長方向に変化しないとみなせる場合に断面内の地下水流動を捉えるモデルである。	 複雑な地層構成・構造物配置において、各地層個々の水理地質特性（透水係数・貯留係数等）および構造物配置状況を、直接解析計算に取り込み三次元流れを解析するモデルである
解析の目的との適合性評価	評価：× 任意の1点における水位しか予測できないため、塩淡の境界を線や面で把握できない。	総合評価：× 河川水位の変動に伴う塩淡境界面の鉛直方向（深さ方向）の変化把握には適していない。	総合評価：○ 地下水位や塩淡境界面の鉛直方向（図中縦方向）と横断方向（横方向）の把握に適している	総合評価：△ 地下水位及び土層データの存在状況から三次元解析による検証が困難。モデル構築と解析に時間を要する。

実際に断面二次元モデルを用いて塩水の侵入範囲を予測するためには、地下水の流れとともに塩分の輸送過程における移流分散現象を考慮する必要がある。世界的にポピュラーな地下水流動及び物質の移流分散現象を解析するモデル（密度流考慮）には米国地質調査所（USGS）により開発された SEAWAT（SEAWAT: A Computer Program for Simulation of Three-Dimensional Variable-Density Ground Water Flow）があり、これを断面二次元に適応し塩水の侵入範囲を予測した。

SEAWAT の基礎式を以下に示す。

【密度流の基礎式】

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left[\rho K_x \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \frac{\partial H}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\rho K_y \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \frac{\partial H}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\rho K_z \left(\frac{\partial h}{\partial z} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \frac{\partial H}{\partial z} \right) \right] \\ &= \rho S_s \frac{\partial h}{\partial t} + \theta \frac{\partial \rho}{\partial C} \frac{\partial C}{\partial t} - \rho_s q_s \end{aligned} \quad (5.3.1)$$

$$v_x = -K_x \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) \quad v_y = -K_y \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right) \quad v_z = -K_z \left(\frac{\partial h}{\partial z} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \right) \quad (5.3.2)$$

ここに、 K_x, K_y, K_z は x, y, z 方向の透水係数(m/s)、 v_x, v_y, v_z は x, y, z 方向の流速(m/s)、 t は時間(s)、 h は水頭(m)、 H は標高(m)、 θ は体積含水率(%)、 q_s は単位体積あたりの地下水系外からの流入量または流出量(s⁻¹)、 C は溶質の濃度(psu)、 S_s は比貯留係数(m⁻¹)、 ρ は流体の密度(kg/m³)、 ρ_f は淡水の密度(kg/m³)、 ρ_s は海水の密度(kg/m³)である。

【物質輸送の基礎式】

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \theta C}{\partial t} + \frac{\partial (\theta v_x' C)}{\partial x} + \frac{\partial (\theta v_y' C)}{\partial y} + \frac{\partial (\theta v_z' C)}{\partial z} \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\theta D_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} + \theta D_{xy} \frac{\partial C}{\partial y} + \theta D_{xz} \frac{\partial C}{\partial z} \right) \\ & \quad + \frac{\partial}{\partial y} \left(\theta D_{yx} \frac{\partial C}{\partial x} + \theta D_{yy} \frac{\partial C}{\partial y} + \theta D_{yz} \frac{\partial C}{\partial z} \right) \\ & \quad + \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta D_{zx} \frac{\partial C}{\partial x} + \theta D_{zy} \frac{\partial C}{\partial y} + \theta D_{zz} \frac{\partial C}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (5.3.3)$$

$$v_x' = \frac{v_x}{n_e} \quad v_y' = \frac{v_y}{n_e} \quad v_z' = \frac{v_z}{n_e} \quad (5.3.4)$$

ここに、 C は溶質の濃度(kg/m³)、 θ は有効間隙率(%)、 v_x', v_y', v_z' は実流速(m/s)、 n_e は有効空隙率(%)、 $D_{xx}, D_{yy}, D_{zz}, D_{xy}, D_{xz}, D_{yx}, D_{yz}, D_{zx}, D_{zy}$ は分散係数(m²/s)であり以下より設定する。

$$\begin{aligned}
D_{xx} &= \alpha_L \frac{v_x'^2}{|v|} + \alpha_T \frac{v_y'^2}{|v|} + \alpha_T \frac{v_z'^2}{|v|} + D^* \\
D_{yy} &= \alpha_L \frac{v_y'^2}{|v|} + \alpha_T \frac{v_x'^2}{|v|} + \alpha_T \frac{v_z'^2}{|v|} + D^* \\
D_{zz} &= \alpha_L \frac{v_z'^2}{|v|} + \alpha_T \frac{v_x'^2}{|v|} + \alpha_T \frac{v_y'^2}{|v|} + D^* \\
D_{xy} &= D_{yx} = (\alpha_L - \alpha_T) \frac{v_x' v_y'}{|v|} \\
D_{xz} &= D_{zx} = (\alpha_L - \alpha_T) \frac{v_x' v_z'}{|v|} \\
D_{yz} &= D_{zy} = (\alpha_L - \alpha_T) \frac{v_y' v_z'}{|v|} \\
|v| &= \sqrt{v_x'^2 + v_y'^2 + v_z'^2}
\end{aligned} \tag{5.3.5}$$

ここに、 α_L は縦分散長(m)、 α_T は横分散長(m)、 D^* は分子拡散係数(m²/s)である。

《予測の前提条件》

断面二次元モデルを用いて移流分散解析を実施するモデル断面は、左右岸地下水位及び河川水位が観測されている KP7.4 付近(広里観測所断面)とした。

当該断面の地下水位と河川水位を図 5-9 に示す。同図より、昭和 G (右岸)、B52 (左岸) の地下水位は、海面上昇後の河川水位 2.44m(塩水遡上解析 Case⑧)に相当する出水時においても顕著に応答しない。

そのため、塩水侵入範囲の予測では、海面上昇に伴って河川水位および塩淡水境界面は変化するが、昭和 G (右岸)、B52 (左岸) の地下水位は変化しないと仮定した。

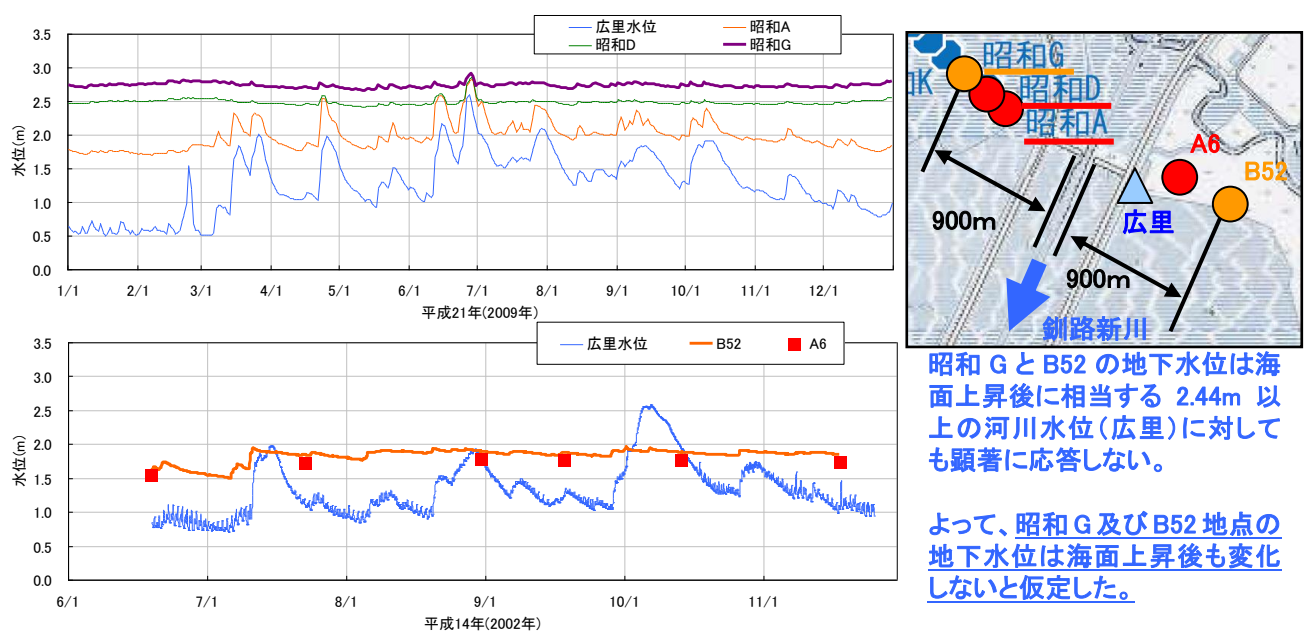


図 5-9 境界地下水位の変動傾向

《予測の手順》

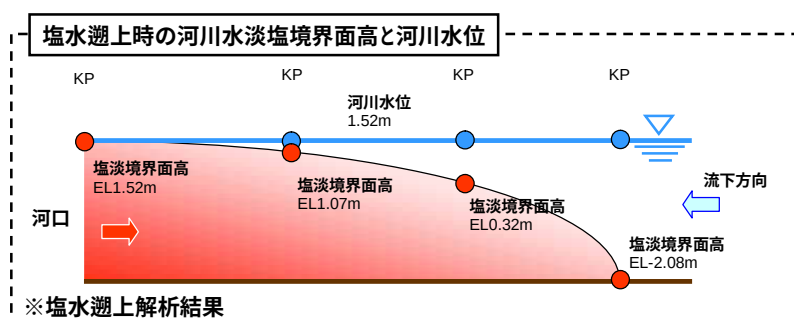
塩水遡上予測計算結果を踏まえ、塩水侵入範囲を推定する手順は以下のとおりである。

手順①：塩水遡上予測計算結果（全 8 ケース）から、遡上範囲内の KP における河川水位及び塩淡境界面高を判読する。

手順②：判読した KP の河川水位及び塩淡境界面高を用いて、マトリックス表から塩水侵入横断範囲を設定する（マトリックス表は、予め河川水位及び塩淡境界面高別に断面二次元移流分散解析により塩水侵入横断範囲を推定して作成する）。

手順③：各 KP で設定した塩水侵入横断範囲を用いて平面的な塩水侵入範囲を推定する。

手順①：河川水位及び塩淡境界面高の判読



手順②：塩水侵入横断範囲の設定

塩淡境界面高別の 塩水侵入横断範囲	塩水遡上解析計算ケースでの河川水位							
	Case①	Case②	Case③	Case④	Case⑤	Case⑥	Case⑦	Case⑧
	EL0.92m	EL1.07m	EL1.22m	EL1.37m	EL1.52m	EL1.82m	EL2.12m	EL2.44m
EL2.44m								
EL2.12m								
EL1.82m								
EL1.52m					a			
EL1.37m								
EL1.22m								
EL1.07m					b			
EL0.92m								
EL0.62m								
EL0.32m					c			
EL0.02m								
EL-0.28m								
EL-0.88m								
EL-1.48m								
EL-2.08m					d			

手順③：塩水侵入横断範囲を用いた平面的な塩水侵入範囲の推定

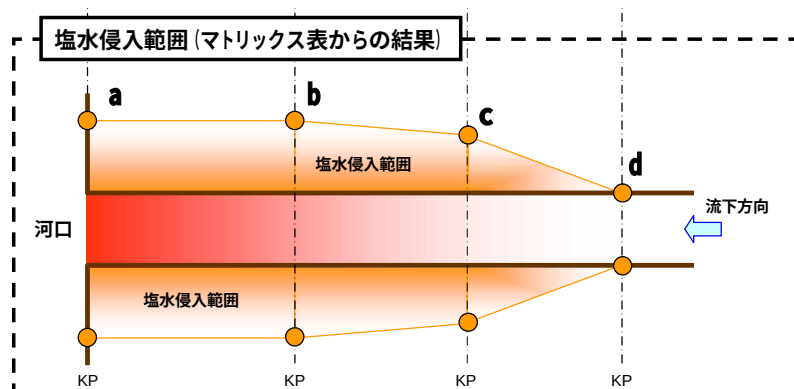


図 5-10 平面的な塩水侵入範囲推定までの流れ

2) 塩水侵入横断範囲の推定

■ 解析条件

塩水遡上予測計算結果の河川水位及び塩淡境界面高を用いて、断面二次元移流分散解析により左右岸の塩水侵入横断範囲を推定し、結果をマトリックス表として整理した。なお、マトリックス表は以下の方針のもと作成した。

【マトリックス表作成方針】

- ・ 河川水位の設定は、塩水遡上解析で用いた 8 ケースの最高潮位 EL2.44m～EL0.92m とした。
- ・ 塩淡境界面高の設定は、全ての塩水遡上ケースにおいて河川水が全て塩水で満たされている状態の塩水侵入横断範囲を把握するため、潮位と同一の EL2.44m～EL0.92m とした。
- ・ また、水面下に塩淡境界面高がある場合の塩水侵入横断範囲を把握するため、Case①の水面から 30cm～60cm 間隔で平均河床高程度(EL-2.08m)まで設定した。
- ・ なお、本検討は海面上昇に伴う塩水侵入を予測するものであることから、EL=0.0 より上層の計算間隔を密に設定した。

表 5-3 塩水侵入横断範囲のマトリックス表のイメージ

塩淡境界面高別の 塩水侵入横断範囲		塩水遡上解析計算ケースでの河川水位							
		Case①	Case②	Case③	Case④	Case⑤	Case⑥	Case⑦	Case⑧
		EL0.92m	EL1.07m	EL1.22m	EL1.37m	EL1.52m	EL1.82m	EL2.12m	EL2.44m
塩淡境界面高	EL2.44m								
	EL2.12m	計算対象外							
	EL1.82m								
	EL1.52m								
	EL1.37m								
	EL1.22m								
	EL1.07m								
	EL0.92m								
	EL0.62m								
	EL0.32m								
	EL0.02m								
	EL-0.28m								
	EL-0.88m								
	EL-1.48m								
	EL-2.08m								

断面二次元移流分散解析
により算定する範囲

塩水侵入横断範囲の推定において設定した解析条件を表 5-4 に示す。

表 5-4 塩水侵入横断範囲解析条件

項目		設定値	設定根拠
解析モデル		SEAWAT(MODFLOWとMT3DMSの結合)	断面二次元の地下水流動(密度流考慮)及び移流拡散を再現可能なモデル
右岸 計算条件	境界条件	河川水位	河川水位
		地下水位	右岸低水路肩から300m地点地下水位
		濃度	EL2.44～EL-2.08mまで15ケース
	計算延長	横断方向	300m
		鉛直方向	23m(EL3.00～EL-20.00m)
			KP7.4下層にある難透水層であるAc層までを対象
左岸 計算条件	境界条件	河川水位	河川水位
		地下水位	左岸低水路肩から300m地点地下水位
		濃度	EL2.44～EL-2.08mまで15ケース
	計算延長	横断方向	300m
		鉛直方向	23m(EL3.00～EL-20.00m)
			KP7.4下層にある難透水層であるAc層までを対象
地質条件	透水係数	10^{-6} m/s	As層の透水係数(10^{-4} cm/s) (※表5-5より設定)
	有効間隙率	30%	砂層の一般的な有効間隙率 (※表5-6より設定)
	比貯留係数	$0.3m^{-1}$	不圧地下水を対象とすることから、比貯留係数=有効間隙率として設定
移流分散物性	分散長	縦方向	3.0m
		横方向	0.3m
	分子拡散係数	$20.3 \times 10^{-10} m^2/s$	Cl-の分子拡散係数 (※表5-8より設定)

《対象断面の地質断面と透水係数》

表 5-5 対象断面の透水係数

地層 記号	データ 数	透水係数 k (cm/sec)		
		最小値	最大値	平均値
Ap	20	1.2E-05	5.0E-03	1.5E-04
As	36	6.3E-05	1.1E-02	4.9E-04
Ac	19	4.9E-07	9.1E-04	6.9E-06
Ag	13	1.6E-05	7.6E-02	3.9E-03
K3	1	1.2E-03	1.2E-03	1.2E-03
K2v	7	2.4E-05	6.3E-02	2.3E-03
K2s	6	1.5E-05	4.9E-02	1.3E-02
K2ve	6	2.1E-06	1.4E-02	4.0E-04
K2se	1	2.3E-05	2.3E-05	2.3E-05
K1	9	2.7E-07	4.3E-03	3.7E-05

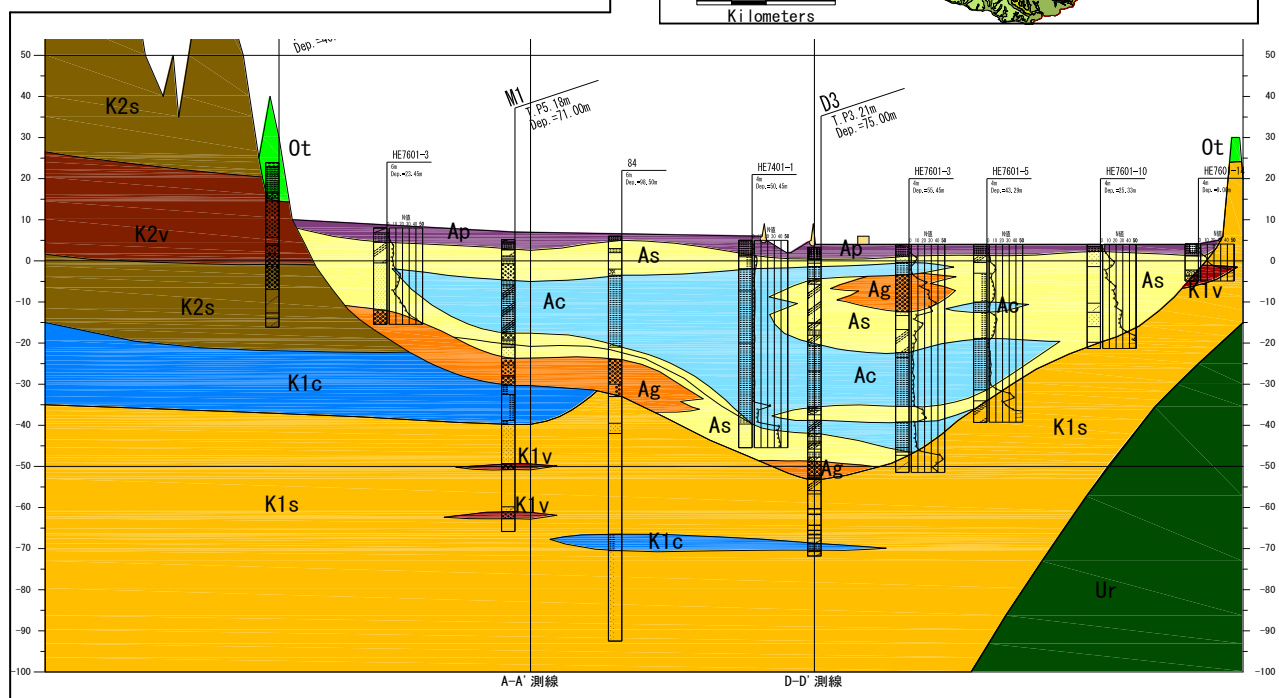
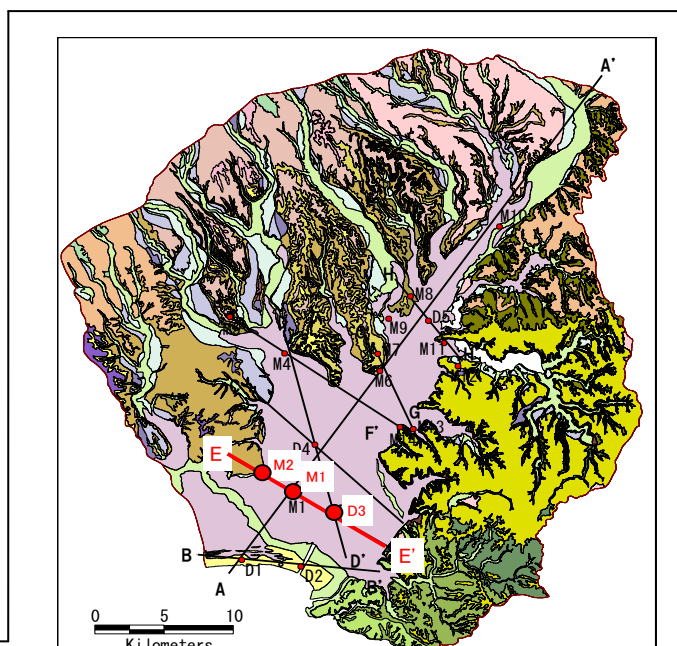


図 5-11 対象断面の地質断面

《有効間隙率》

表 5-6 有効間隙率

地 層	間隙率	有効間隙率	地 盤	間隙率	有効間隙率
沖積礫層	35	15	洪積砂礫層	30	15~20
細 砂	35	15	砂 層	30~40	30
砂丘砂層	30~35	20	ローム層	50~70	20
泥粘土質層	45~50	15~20	泥層粘土層	50~70	5~10

「地下水シミュレーション 日本地下水学会」より

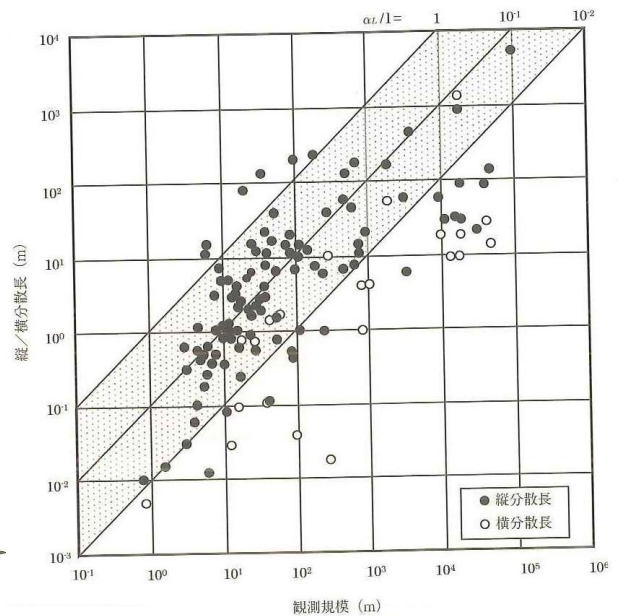
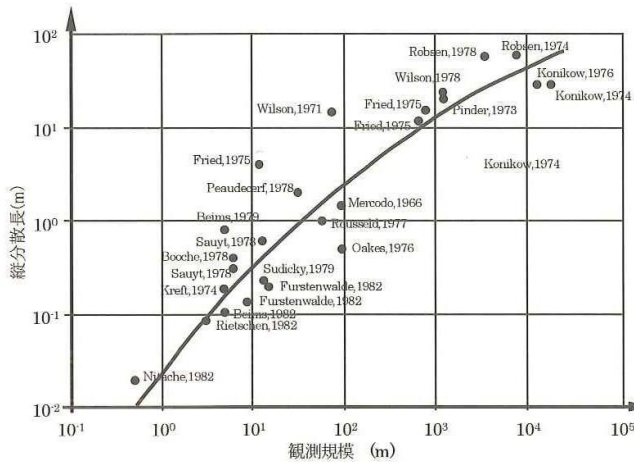
表 5-7 塩水侵入横断範囲推定での水位境界条件

右岸水位境界条件

塩水遡上 解析ケース	河川水位 EL(m)	低水路肩300m 地点地下水位 EL(m)	摘要
Case①	0.92	1.53	塩水遡上解析 ケースでの河川 水位と昭和G平均 地下水位(H21 年)2.75mの案分 値
Case②	1.07	1.63	
Case③	1.22	1.73	
Case④	1.37	1.83	
Case⑤	1.52	1.93	
Case⑥	1.82	2.13	
Case⑦	2.12	2.33	
Case⑧	2.44	2.54	

左岸水位境界条件

塩水遡上 解析ケース	河川水位 EL(m)	低水路肩300m 地点地下水位 EL(m)	摘要
Case①	0.92	1.22	塩水遡上解析 ケースでの河川 水位とB52平均地 下水位(H14 年)1.83mの案分 値
Case②	1.07	1.32	
Case③	1.22	1.42	
Case④	1.37	1.52	
Case⑤	1.52	1.62	
Case⑥	1.82	1.82	
Case⑦	2.12	2.02	
Case⑧	2.44	2.24	



「地下水シミュレーション 日本地下水学会」より

図 5-12 観測規模と縦分散長、縦/横分散長の関係

表 5-8 分子拡散係数

カチオン	D_0 in ($10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$)	アニオン	D_0 in ($10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$)
H^+	93.1	OH^-	52.7
Na^+	13.3	F^-	14.6
K^+	19.6	Cl^-	20.3
Rb^+	20.6	Br^-	20.1
Cs^+	20.7	HS^-	17.3
		HCO_3^-	11.8
Mg^{2+}	7.05		
Ca^{2+}	7.93	CO_3^{2-}	9.55
Sr^{2+}	7.94	SO_4^{2-}	10.7
Ba^{2+}	8.48		
Ra^{2+}	8.89		
Mn^{2+}	6.88		
Fe^{2+}	7.19		
Cr^{2+}	5.94		
Fe^{3+}	6.07		

「地下水シミュレーション 日本地下水学会」より

■ 解析結果

各塩水遡上解析ケース（全 8 ケース）に対する最大・最小の塩淡水境界面高の解析結果を図 5-13～図 5-20 に示す。また、同結果から作成した左右岸の塩水侵入横断範囲のマトリックス表を表 5-9 に示す。なお、塩水侵入横断範囲は陸上植物への影響評価に用いることから表層の範囲とした。

表 5-9 より、左岸と右岸の塩水侵入範囲を比較すると左岸の方が塩水侵入範囲が広い結果となった。これは、左岸の地下水位コンターは右岸よりも緩やかであり、塩水が侵入しやすいためである。一方、左右岸共に塩淡水境界面高のみの違いでは、塩水侵入横断範囲に明確な違いが生じない結果となった。

表 5-9(1) 塩水侵入横断範囲マトリックス表（右岸）

塩淡水境界面高別の 塩水侵入横断範囲 (右岸)		塩水遡上解析ケースでの河川水位							
		Case①	Case②	Case③	Case④	Case⑤	Case⑥	Case⑦	Case⑧
		EL0.92m	EL1.07m	EL1.22m	EL1.37m	EL1.52m	EL1.82m	EL2.12m	EL2.44m
塩淡水境界面高	EL2.44m								40.0m
	EL2.12m		計算対象外					35.0m	40.0m
	EL1.82m						30.0m	35.0m	40.0m
	EL1.52m					25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL1.37m				22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL1.22m			20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL1.07m		17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL0.92m	15.0m	17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL0.62m	15.0m	17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL0.32m	15.0m	17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL0.02m	15.0m	17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL-0.28m	15.0m	17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL-0.88m	15.0m	17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL-1.48m	15.0m	17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL-2.08m	15.0m	17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m

表 5-9(2) 塩水侵入横断範囲マトリックス表（左岸）

塩淡水境界面高別の 塩水侵入横断範囲 (左岸)		塩水遡上解析ケースでの河川水位							
		Case①	Case②	Case③	Case④	Case⑤	Case⑥	Case⑦	Case⑧
		EL0.92m	EL1.07m	EL1.22m	EL1.37m	EL1.52m	EL1.82m	EL2.12m	EL2.44m
塩淡水境界面高	EL2.44m								70.0m
	EL2.12m		計算対象外					55.0m	70.0m
	EL1.82m						45.0m	55.0m	70.0m
	EL1.52m					40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL1.37m				35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL1.22m			30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL1.07m		27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL0.92m	25.0m	27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL0.62m	25.0m	27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL0.32m	25.0m	27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL0.02m	25.0m	27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL-0.28m	25.0m	27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL-0.88m	25.0m	27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL-1.48m	25.0m	27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL-2.08m	25.0m	27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m

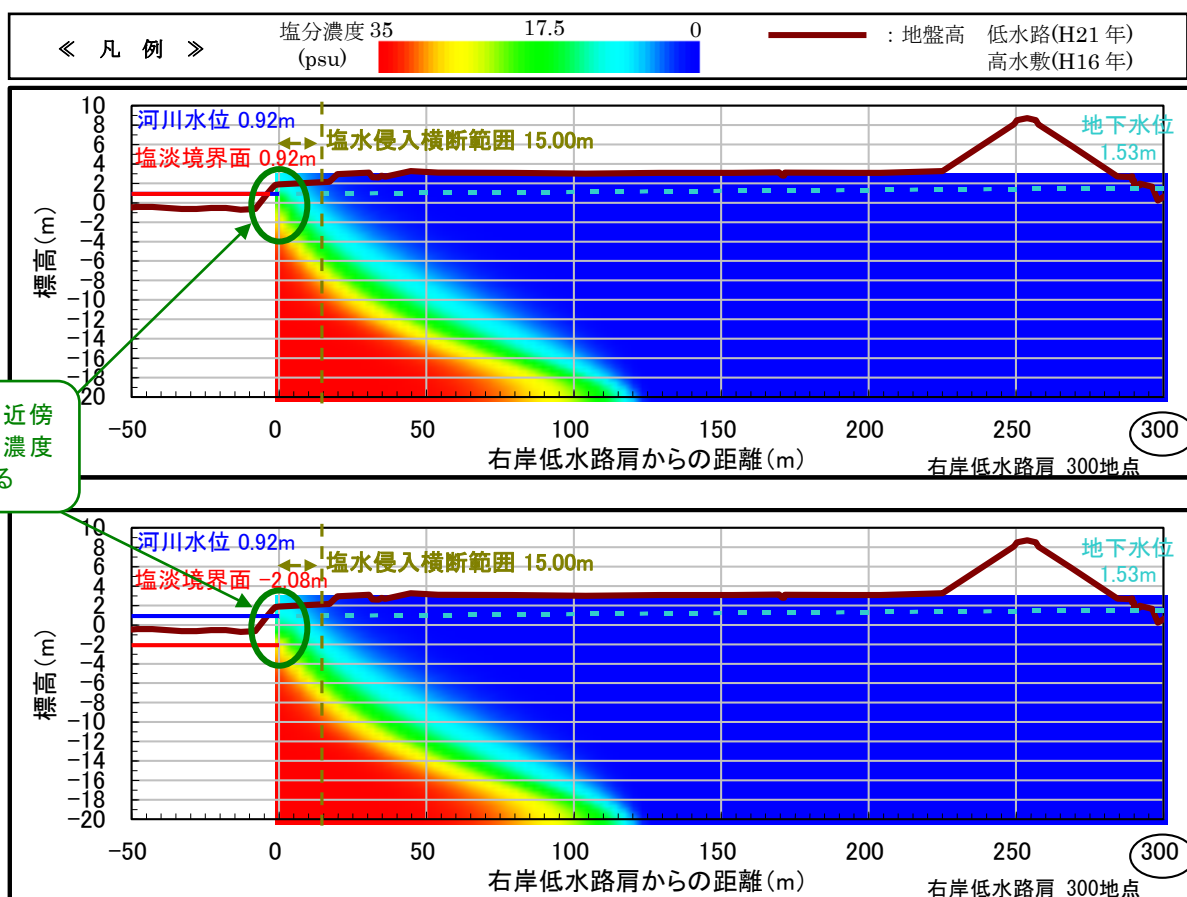


図 5-13(1) 右岸 Case①塩淡水境界面高 EL0.92m と EL-2.08m の塩水侵入横断範囲

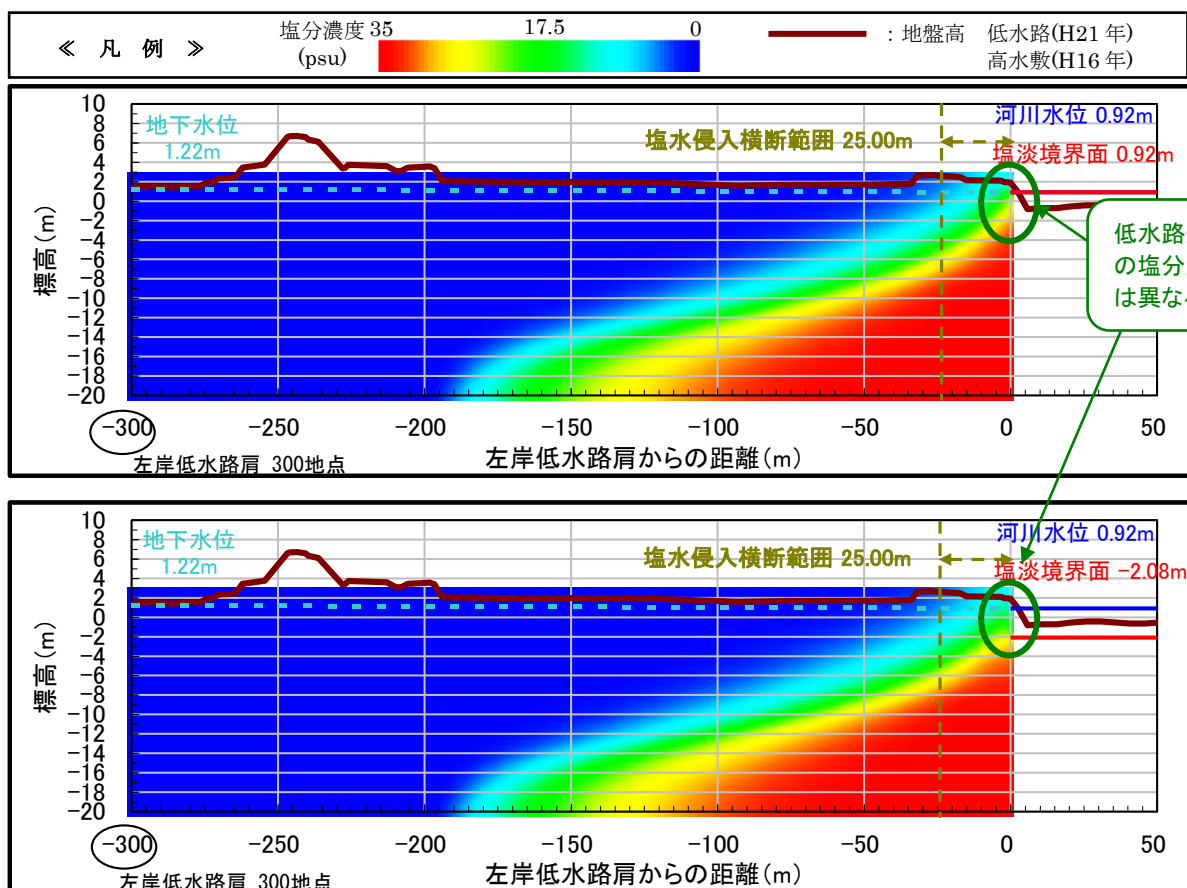


図 5-13(2) 左岸 Case①塩淡水境界面高 EL0.92m と EL-2.08m の塩水侵入横断範囲

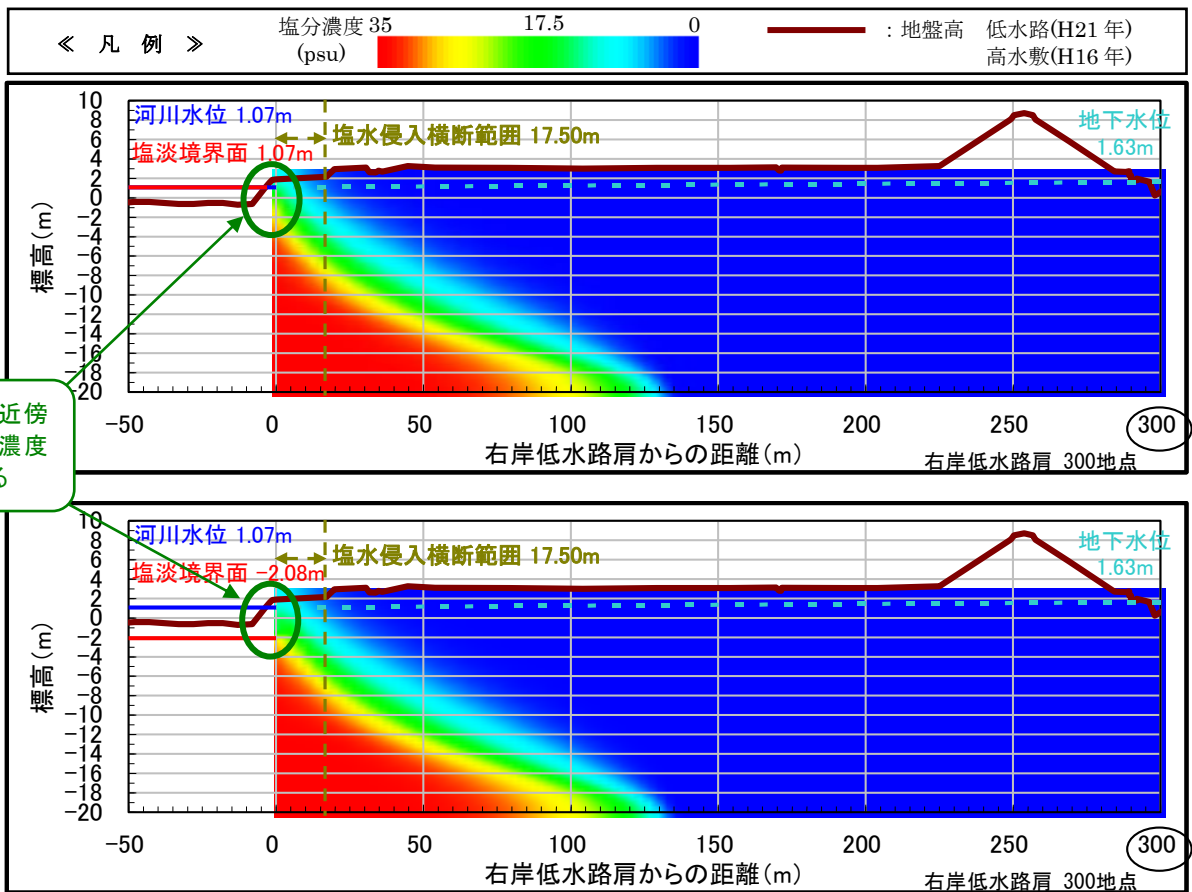


図 5-14(1) 右岸 Case②塩淡水境界面高 EL1.07m と EL-2.08m の塩水侵入横断範囲

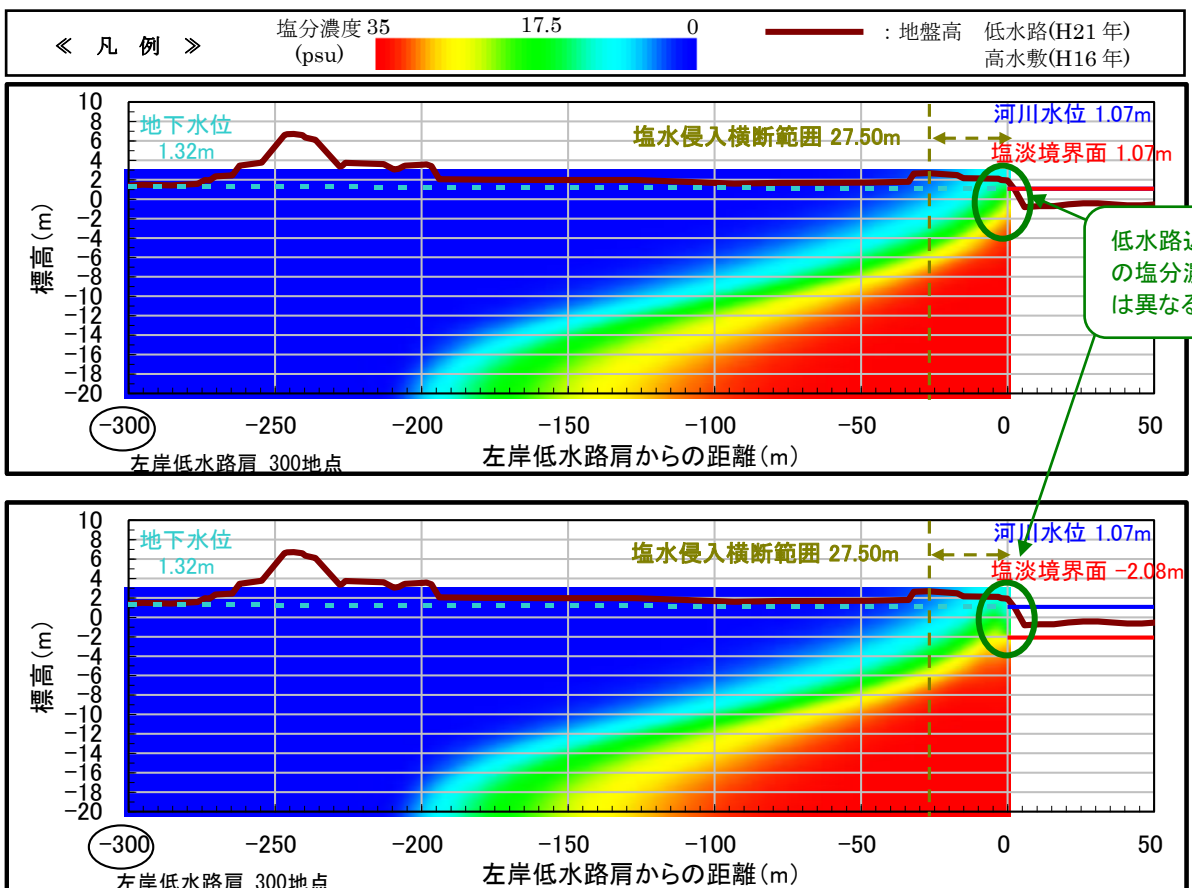


図 5-14(2) 左岸 Case②塩淡水境界面高 EL1.07m と EL-2.08m の塩水侵入横断範囲

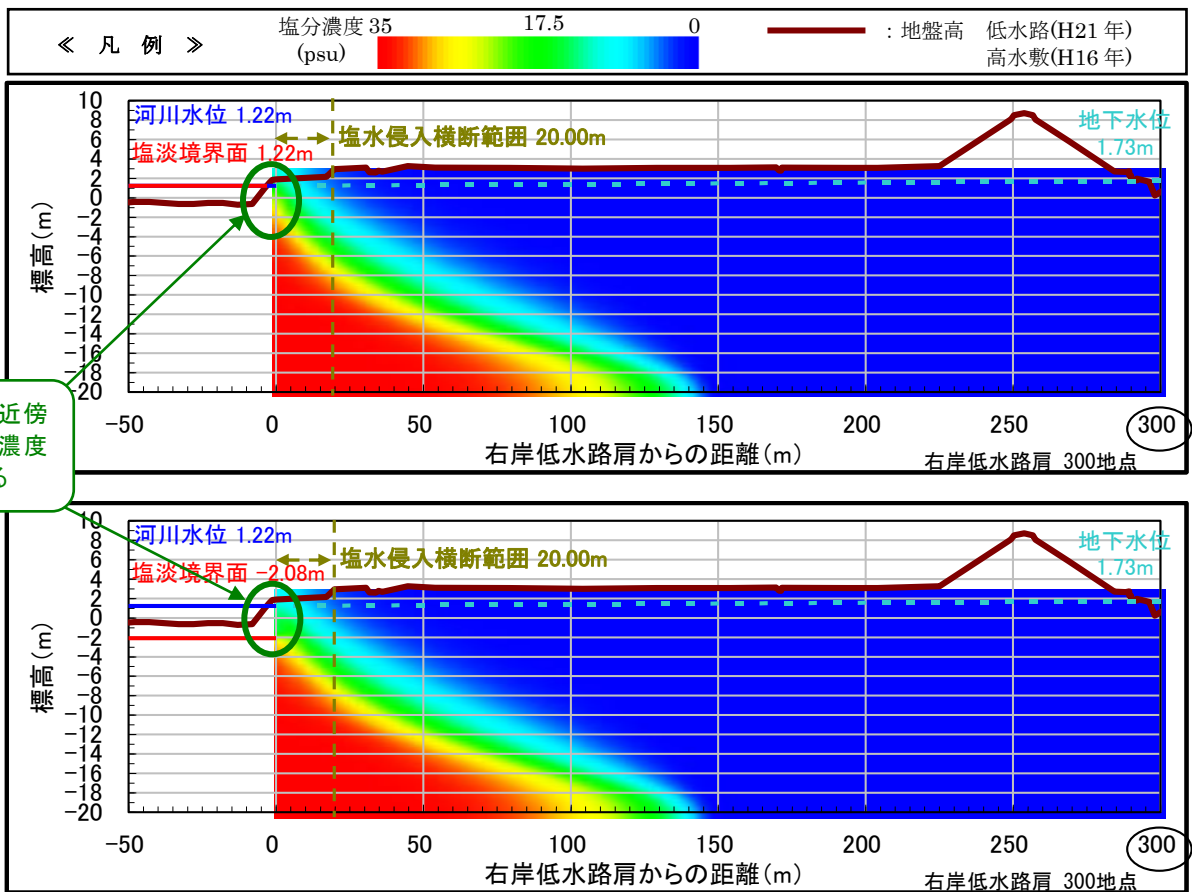


図 5-15(1) 右岸 Case③塩淡境界面高 EL1.22m と EL-2.08m の塩水侵入横断範囲

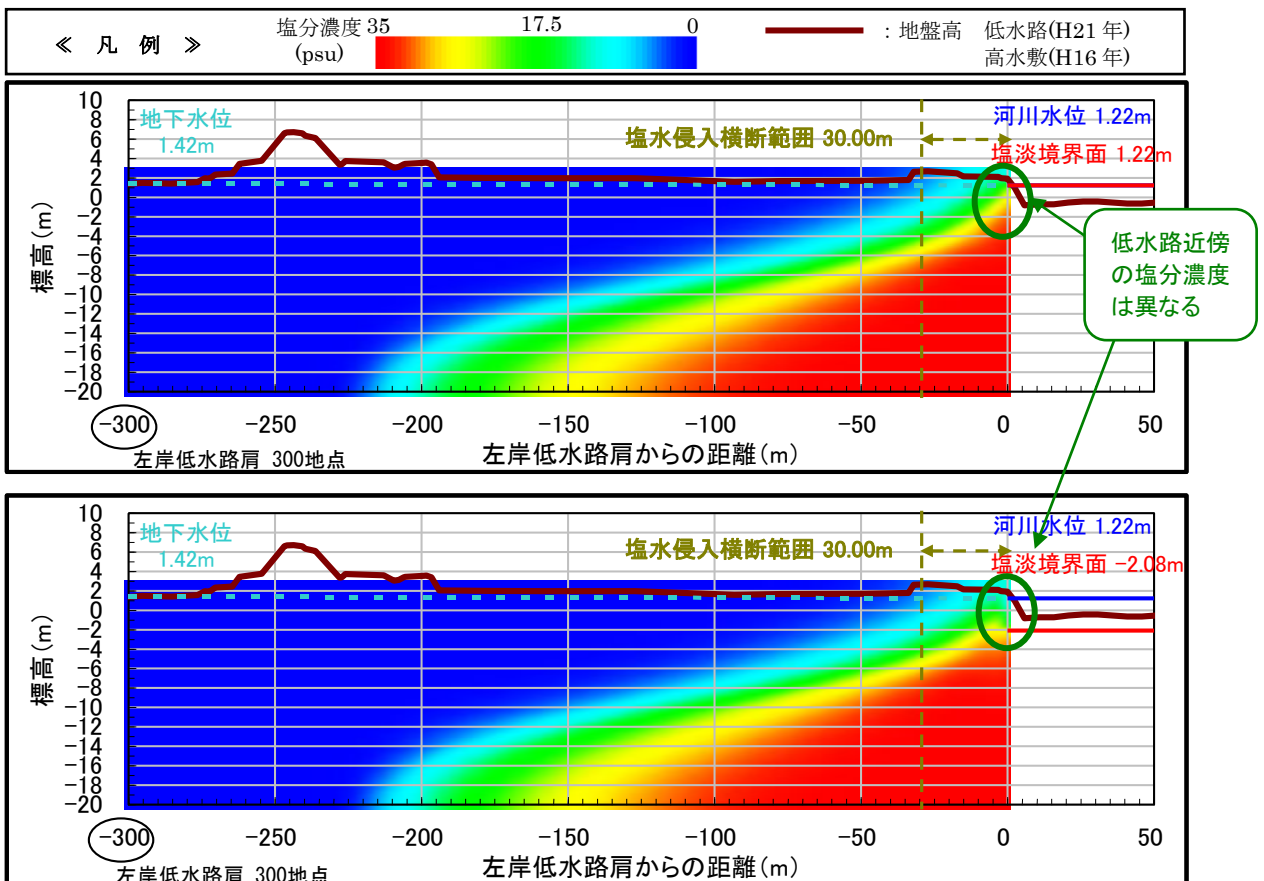


図 5-15(2) 左岸 Case③塩淡境界面高 EL1.22m と EL-2.08m の塩水侵入横断範囲

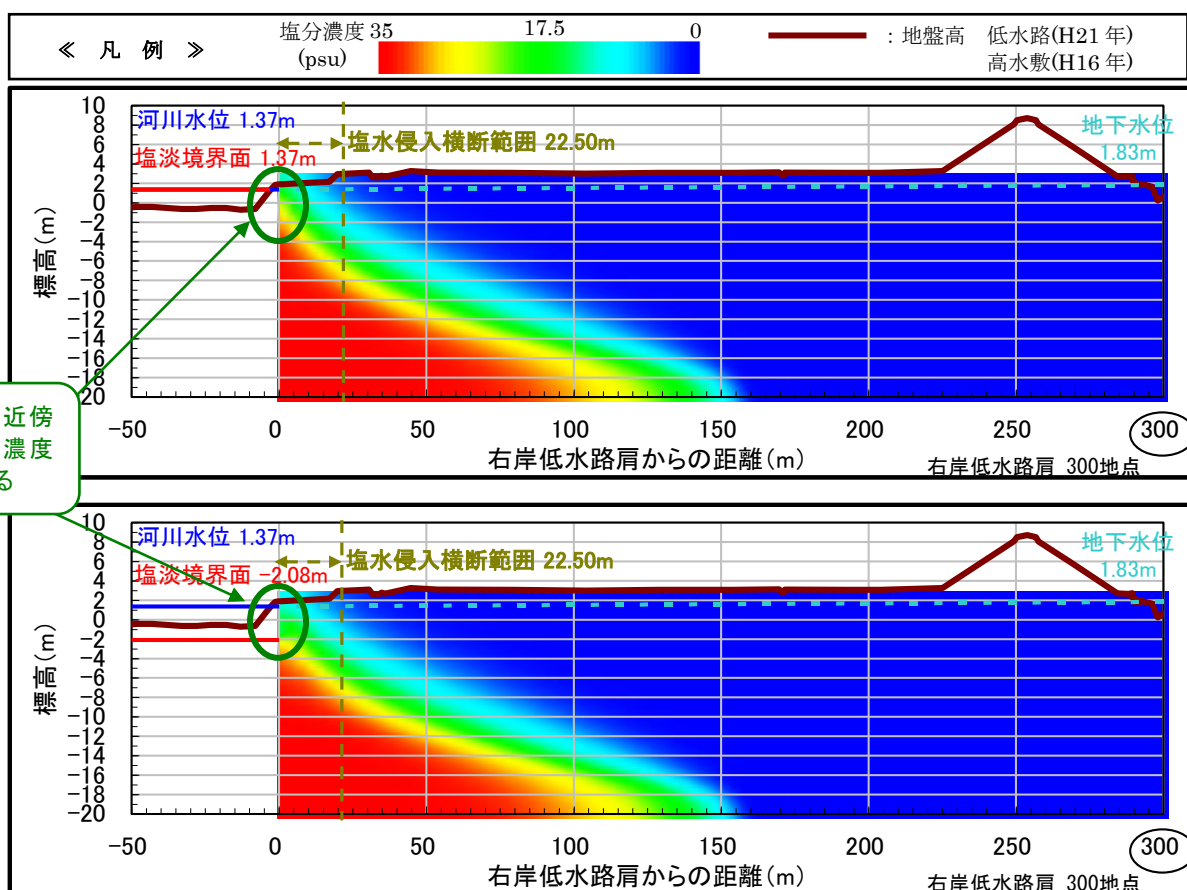


図 5-16(1) 右岸 Case④塩淡水境界面高 EL1.37m と EL-2.08m の塩水侵入横断範囲

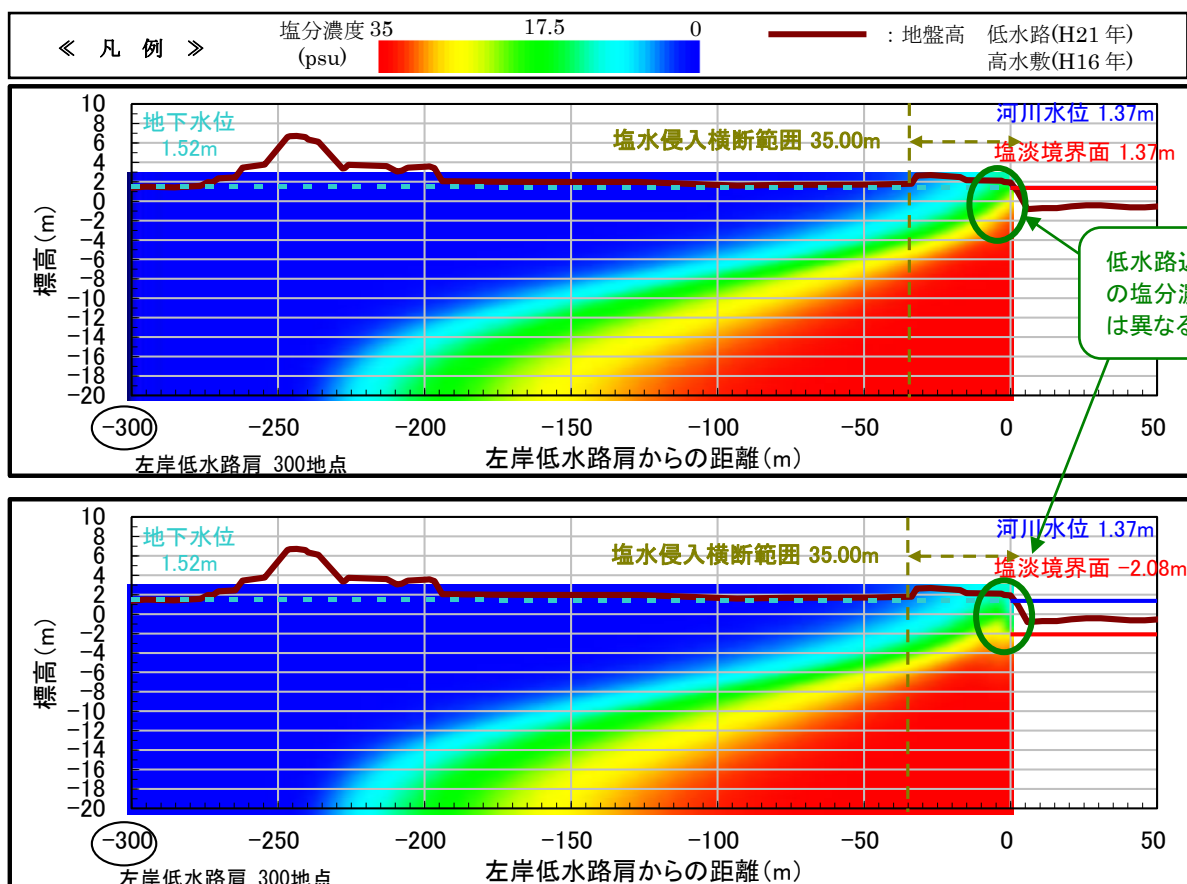


図 5-16(2) 左岸 Case④塩淡水境界面高 EL1.37m と EL-2.08m の塩水侵入横断範囲

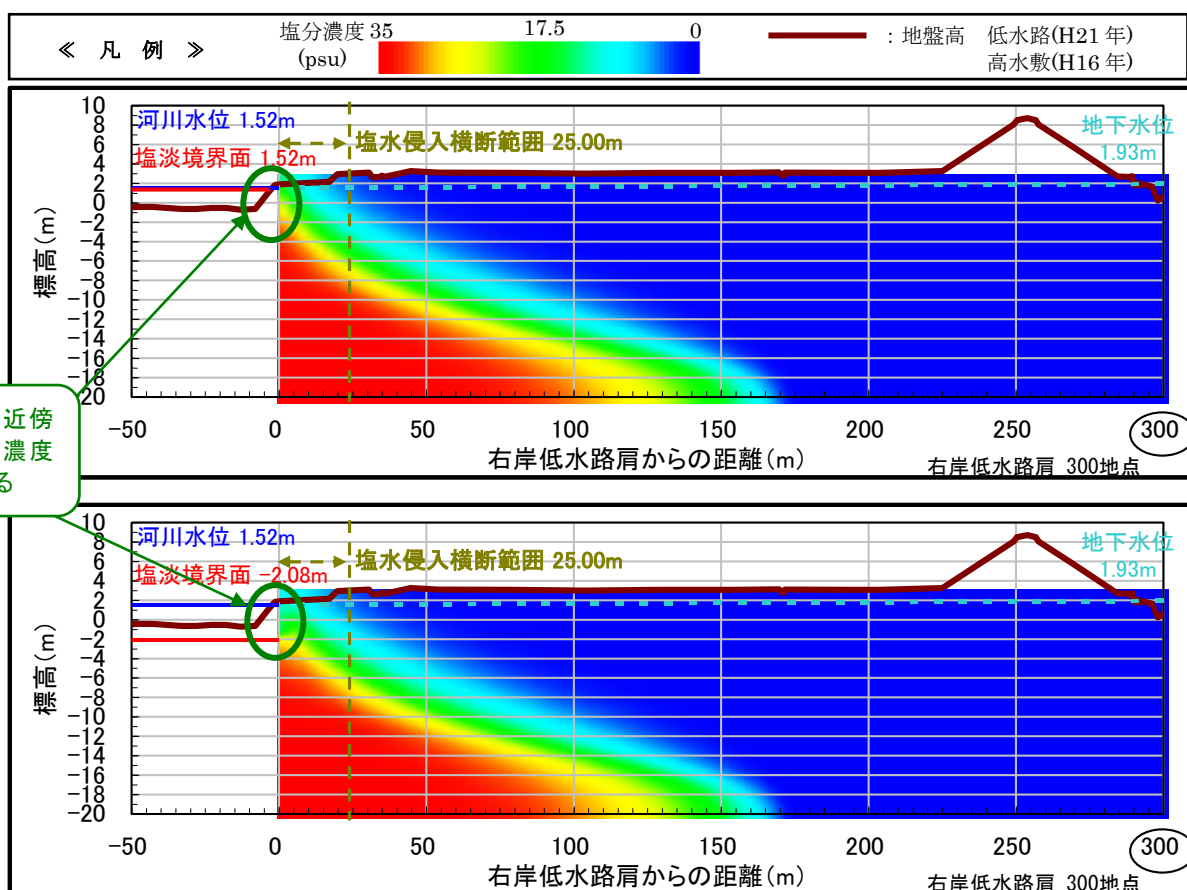


図 5-17(1) 右岸 Case⑤塩淡水境界面高 EL1.52m と EL-2.08m の塩水侵入横断範囲

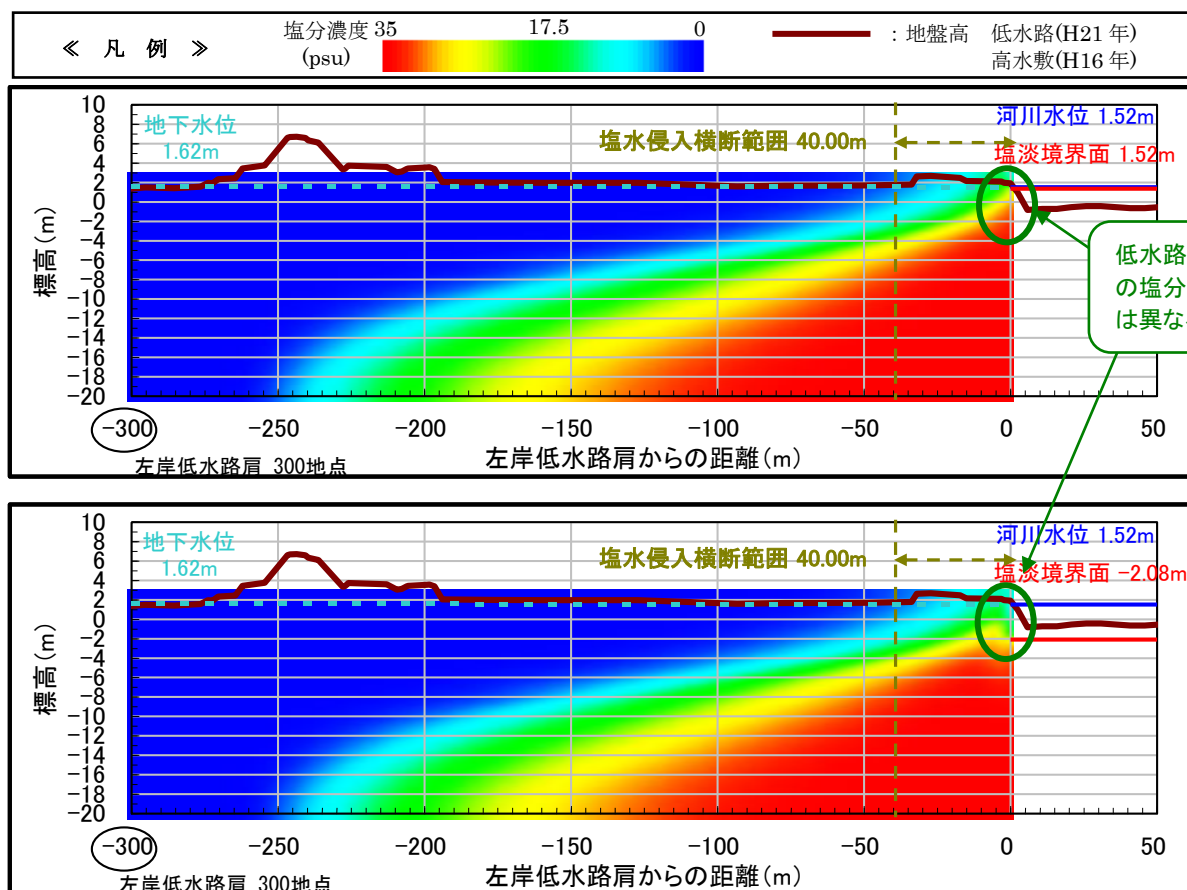


図 5-17(2) 左岸 Case⑤塩淡水境界面高 EL1.52m と EL-2.08m の塩水侵入横断範囲

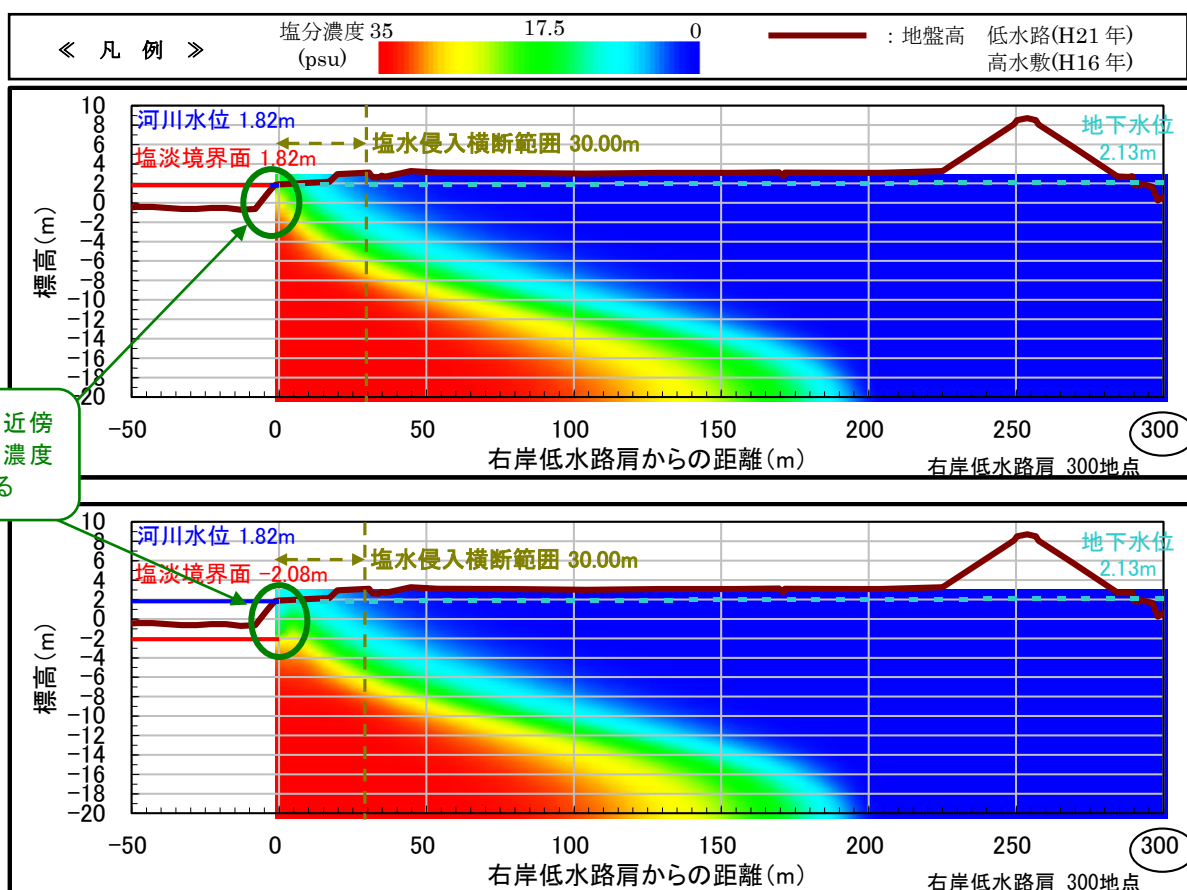


図 5-18(1) 右岸 Case⑥塩淡水境界面高 EL1.82m と EL-2.08m の塩水侵入横断範囲

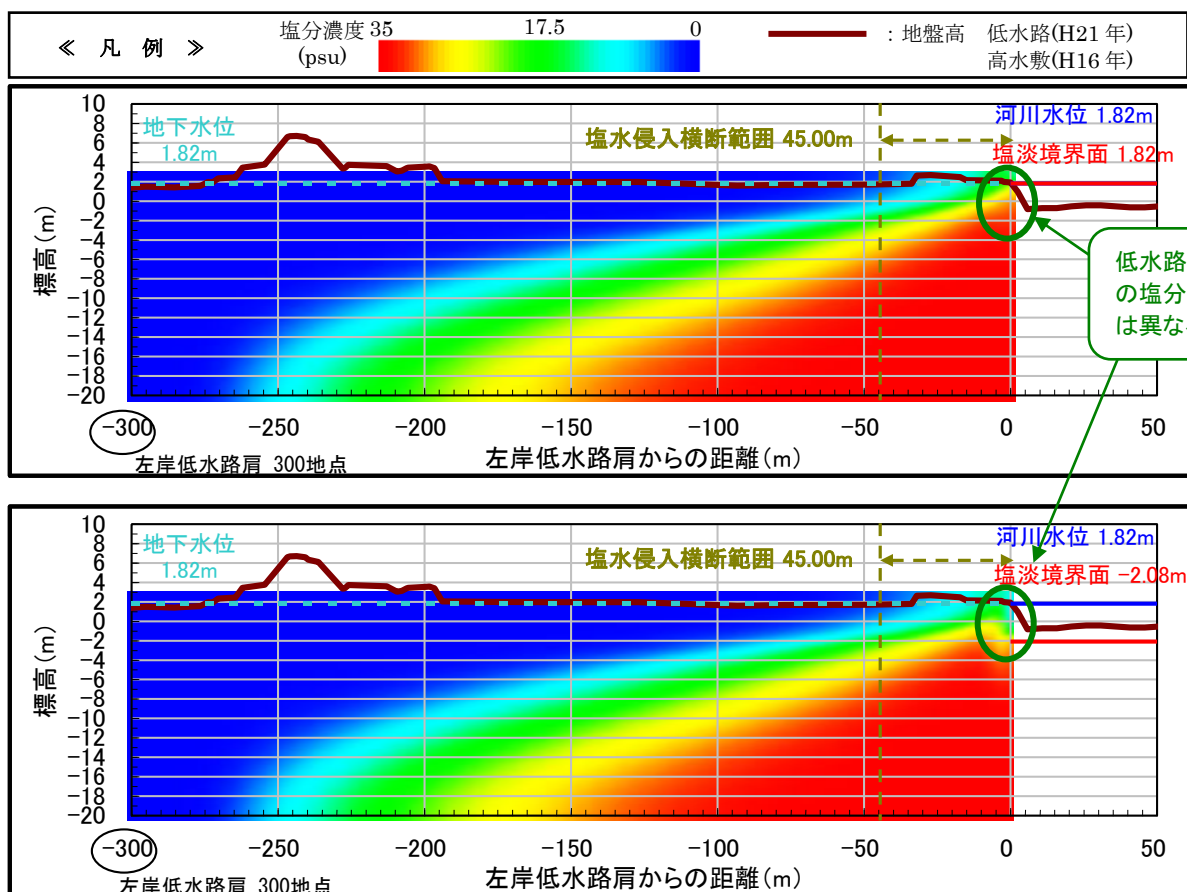


図 5-18(2) 左岸 Case⑥塩淡水境界面高 EL1.82m と EL-2.08m の塩水侵入横断範囲

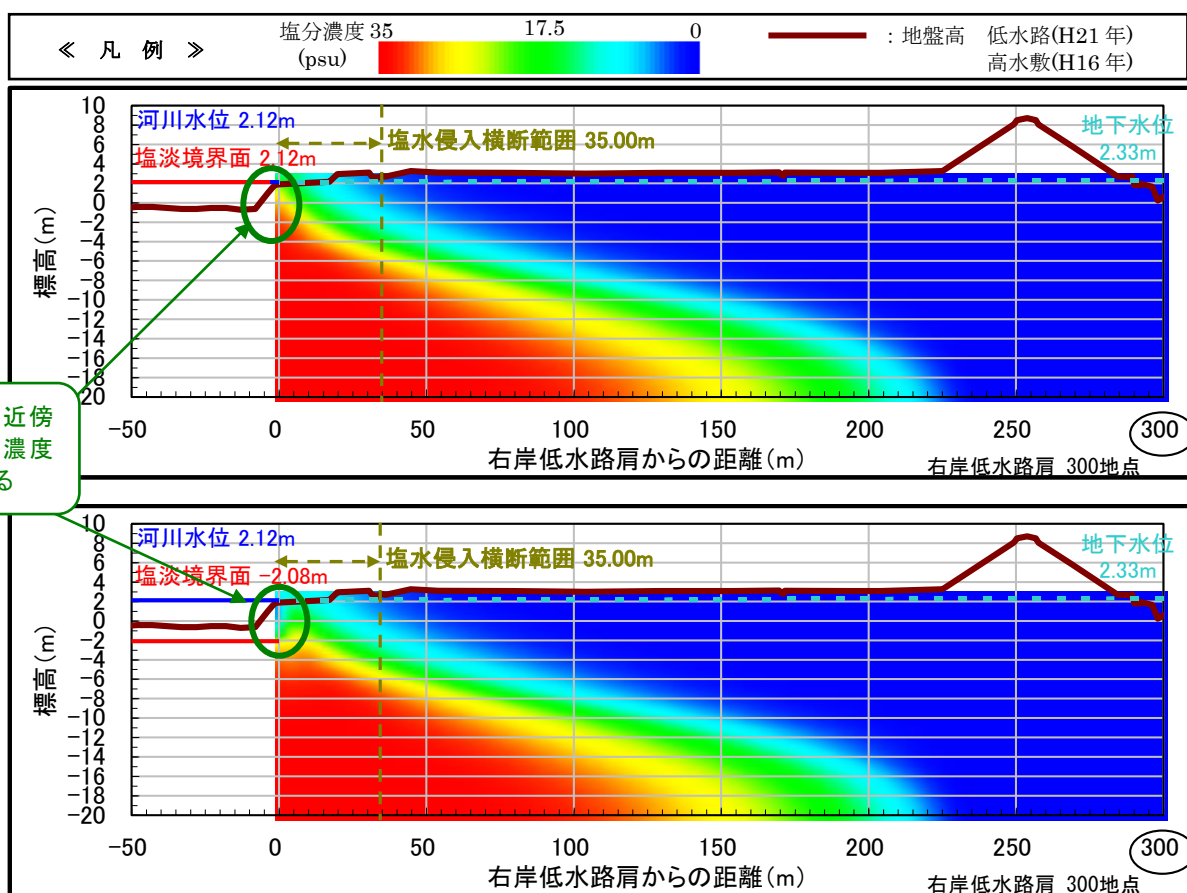


図 5-19(1) 右岸 Case⑦塩淡水境界面高 EL2.12m と EL-2.08m の塩水侵入横断範囲

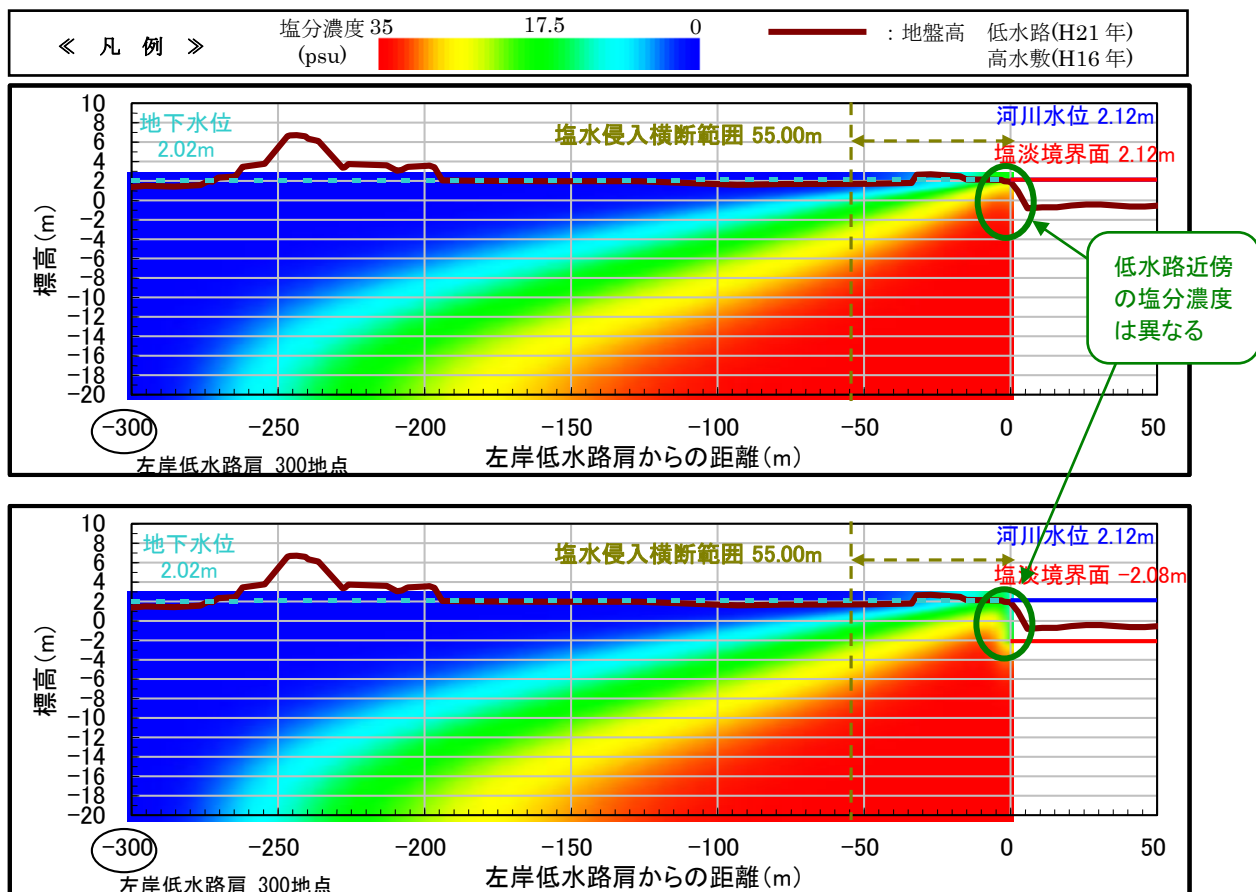


図 5-19(2) 左岸 Case⑦塩淡水境界面高 EL2.12m と EL-2.08m の塩水侵入横断範囲

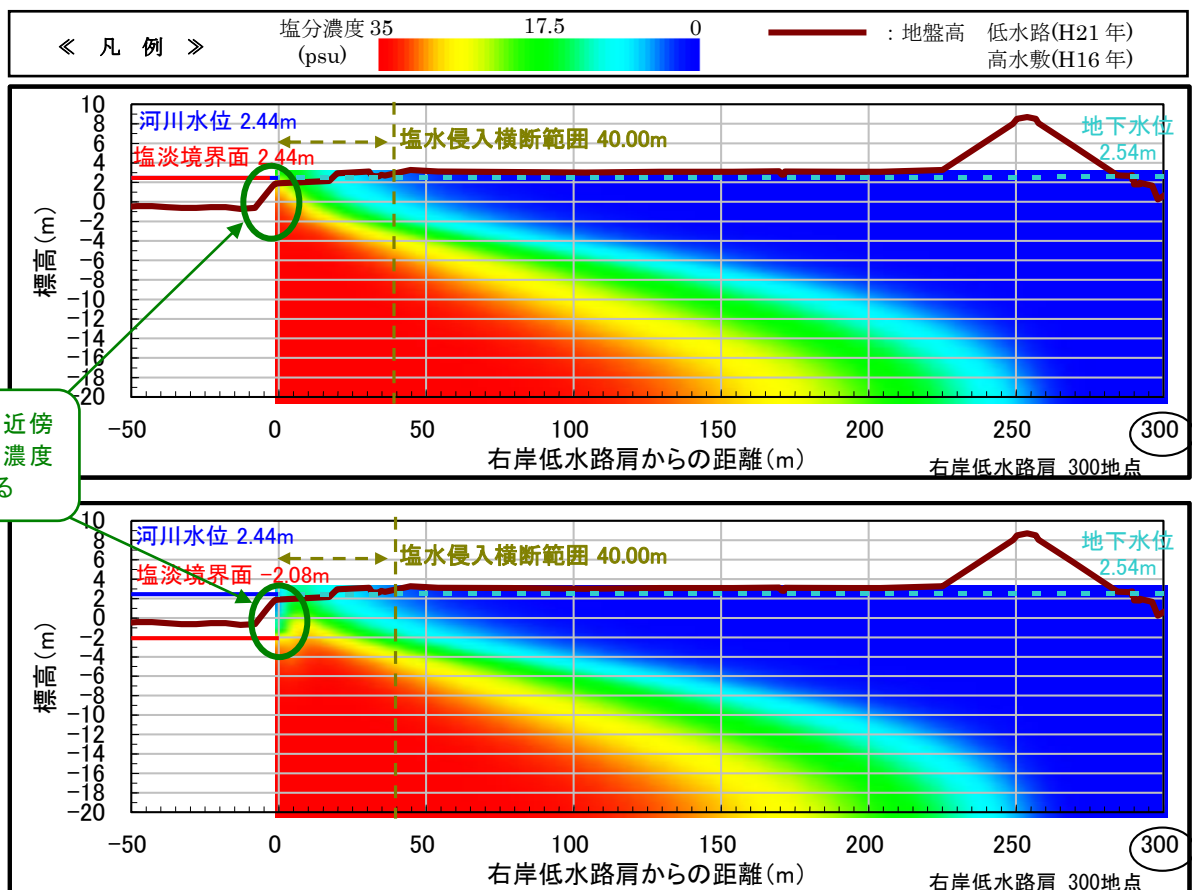


図 5-20(1) 右岸 Case⑧塩淡水境界面高 EL2.44m と EL-2.08m の塩水侵入横断範囲

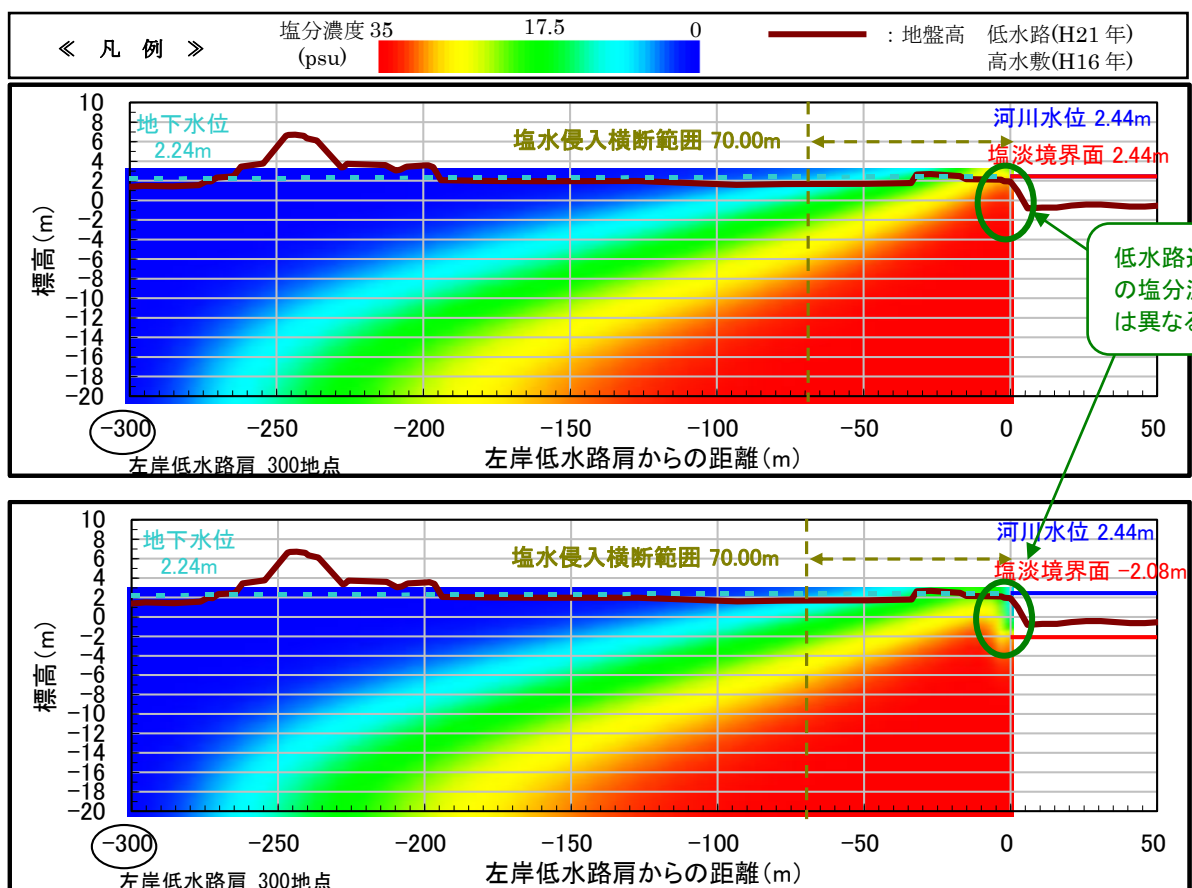


図 5-20(2) 左岸 Case⑧塩淡水境界面高 EL2.44m と EL-2.08m の塩水侵入横断範囲

4) 平面的な塩水侵入範囲の推定

マトリックス表を用いて、塩水遡上解析 Case①、Case⑤、Case⑧の平面的な塩水侵入範囲を推定した結果を図 5-21 に示す。また、平面的な塩水侵入範囲を推定するにあたり用いた塩水遡上解析ケース毎の河川水位、塩淡水境界面高及び遡上距離を表 5-10 に、マトリックスから抽出し使用した横断範囲を表 5-11 に示す。なお、平面的な塩水侵入範囲はモデル断面を対象とした塩水侵入横断範囲を上下流に拡張したものである。そのため、当該河川には図 5-21 に示すとおり低水護岸が施工されている断面もあるが、本計算結果はこれら作工物による低減効果等は見込んでいない。

表 5-10 塩水遡上解析計算ケース毎の河川水位及び塩淡水境界面高、塩水遡上距離

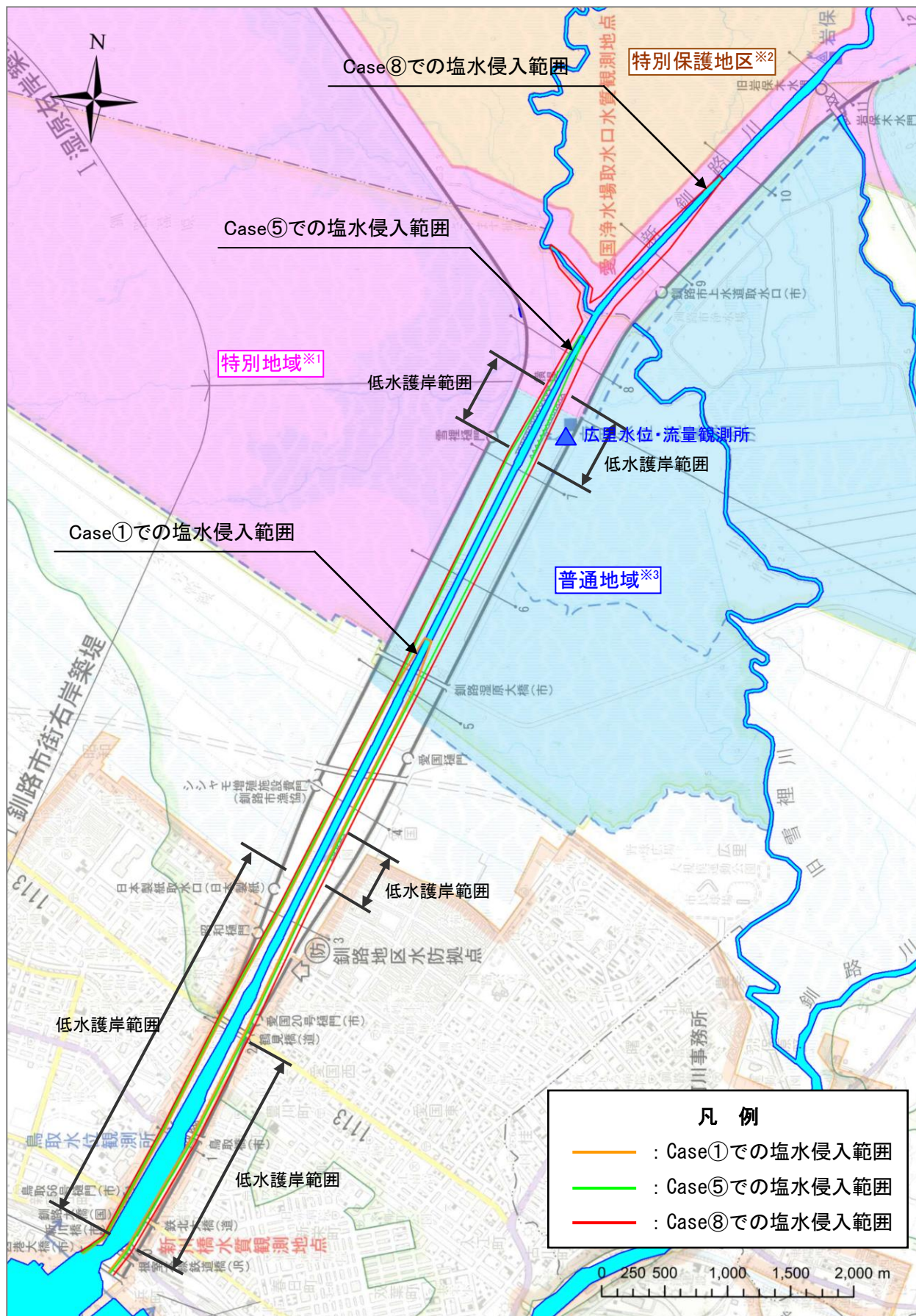
塩水遡上解析ケース	Case①	Case②	Case③	Case④	Case⑤	Case⑥	Case⑦	Case⑧
河川水位	EL0.92m	EL1.07m	EL1.22m	EL1.37m	EL1.52m	EL1.82m	EL2.12m	EL2.44m
塩淡水境界面高	EL0.92m	EL1.07m	EL1.22m	EL1.37m	EL1.52m	EL1.82m	EL2.12m	EL2.44m
遡上距離	KP5.4	KP6.2	KP7.0	KP7.5	KP8.1	KP8.9	KP9.2	KP9.7

表 5-11(1) 平面的な塩水侵入範囲推定に用いた塩水侵入横断範囲マトリックス表（右岸）

塩淡水境界面高別の 塩水侵入横断範囲 (右岸)		塩水遡上解析ケースでの河川水位							
		Case①	Case②	Case③	Case④	Case⑤	Case⑥	Case⑦	Case⑧
		EL0.92m	EL1.07m	EL1.22m	EL1.37m	EL1.52m	EL1.82m	EL2.12m	EL2.44m
塩淡水境界面高	EL2.44m								40.0m
	EL2.12m							35.0m	40.0m
	EL1.82m		計算対象外				30.0m	35.0m	40.0m
	EL1.52m					25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL1.37m				22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL1.22m			20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL1.07m		17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL0.92m	15.0m	17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL0.62m	15.0m	17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL0.32m	15.0m	17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL0.02m	15.0m	17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL-0.28m	15.0m	17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL-0.88m	15.0m	17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL-1.48m	15.0m	17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m
	EL-2.08m	15.0m	17.5m	20.0m	22.5m	25.0m	30.0m	35.0m	40.0m

表 5-11(2) 平面的な塩水侵入範囲推定に用いた塩水侵入横断範囲マトリックス表（左岸）

塩淡水境界面高別の 塩水侵入横断範囲 (左岸)		塩水遡上解析ケースでの河川水位							
		Case①	Case②	Case③	Case④	Case⑤	Case⑥	Case⑦	Case⑧
		EL0.92m	EL1.07m	EL1.22m	EL1.37m	EL1.52m	EL1.82m	EL2.12m	EL2.44m
塩淡水境界面高	EL2.44m								70.0m
	EL2.12m							55.0m	70.0m
	EL1.82m		計算対象外				45.0m	55.0m	70.0m
	EL1.52m					40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL1.37m				35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL1.22m			30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL1.07m		27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL0.92m	25.0m	27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL0.62m	25.0m	27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL0.32m	25.0m	27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL0.02m	25.0m	27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL-0.28m	25.0m	27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL-0.88m	25.0m	27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL-1.48m	25.0m	27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m
	EL-2.08m	25.0m	27.5m	30.0m	35.0m	40.0m	45.0m	55.0m	70.0m



※1) 特別地域 : 公園の風致を維持するための地域で工作物の新築・改築等には環境大臣の許可が必要な地域

※2) 特別保護区 : 特別地域の内、特に重要な地区で工作物の新築・改築等には環境大臣の許可が必要な地区

※3) 普通地域 : 特別地域や海域公園地区に指定されていない地域で工作物の新築・改築等には環境大臣への届出が必要な地域
(出典：自然公園法の条文より抜粋)

図 5-21 平面的な塩水侵入範囲

5.4 予測結果を踏まえた釧路湿原周辺の環境への影響評価

1) 植生の影響評価

■ 植生群落への影響評価

海面上昇により予想される塩水侵入範囲を植生図に重ね合わせ、塩水侵入範囲内に分布する主要な群落について将来の影響評価を行った（図 5-22）。

塩水侵入範囲内に含まれる代表的な群落としては表 5-12 に示す 7 群落が挙げられる。

塩水侵入に伴う将来的な変化としては、海浜植物であるハマニンニク群落については塩分耐性を持つため基本的に維持され、上流域に分布域を拡大していくことが想定される。

草本類については、現状においてもヨシやクサヨシを主体とした群落で構成されているが、塩水侵入範囲の拡大に伴い、塩分耐性を持つヨシやクサヨシ以外の種については淘汰されていくものと推定され、ヨシやクサヨシの構成比率が更に大きくなるものと推定される。

木本類については、基本的に塩分耐性を持たないため将来的には消失するものと想定され、塩水侵入範囲では塩分耐性を持つヨシやクサヨシからなる単調な景観が形成されるものと考えられる。

表 5-12 塩水侵入範囲内の主要群落と将来変化

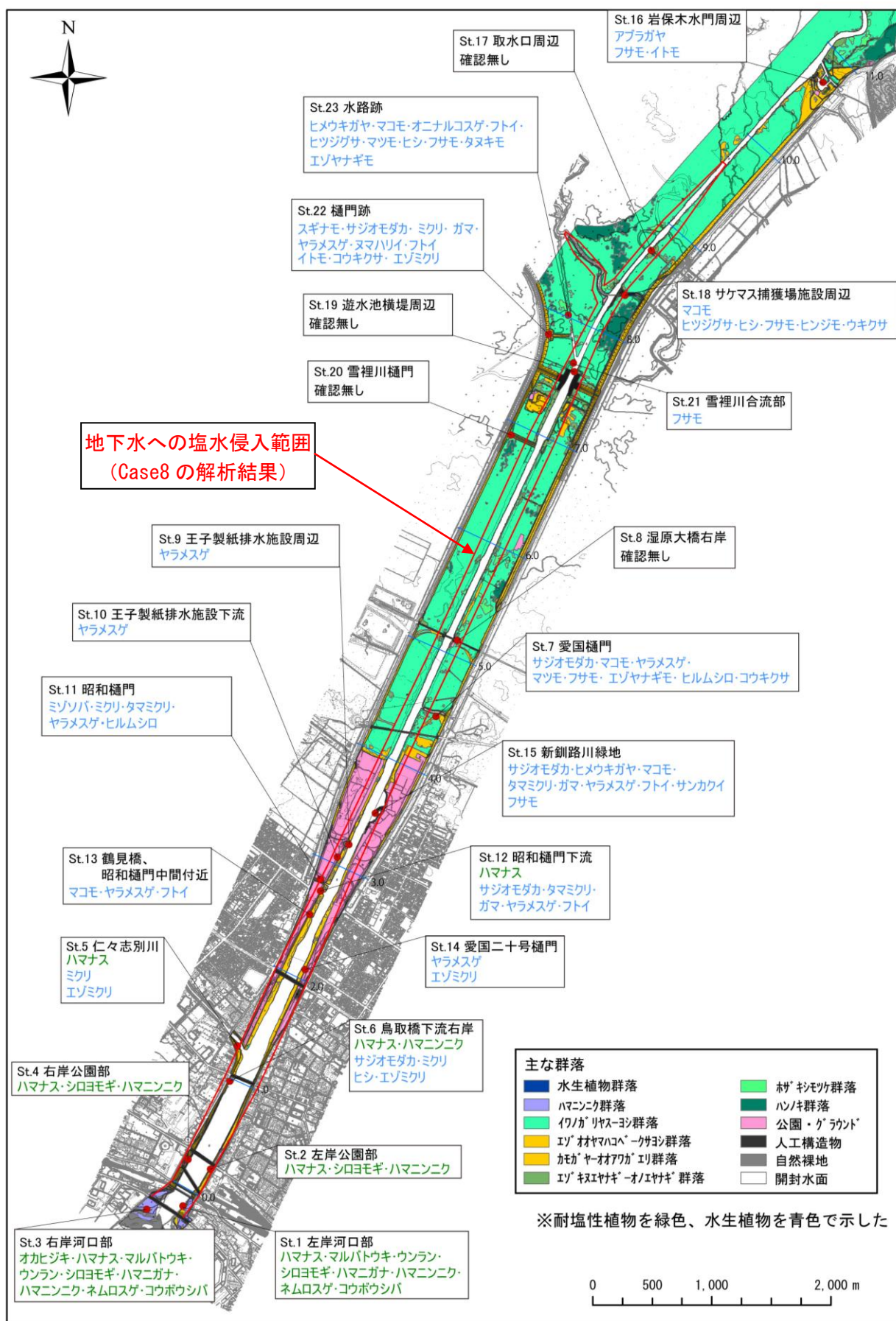
群落名	分類	塩水侵入範囲の将来変化
ハマニンニク群落	海浜植物	維持、場合により上流に分布域拡大
イワノガリヤスーヨシ群落	草本類	ヨシ主体の群落に変遷
エゾオオヤマハコバークサヨシ群落	草本類	クサヨシ主体の群落に変遷
カモガヤーオオアワガエリ群落	草本類	消失
エゾノキヌヤナギーオノエヤナギ群落	木本類	消失
ホザキシモツケ群落	木本類	消失
ハンノキ群落	木本類	消失

また、平成 23 年度に実施された現地調査により、新釧路川では KP1.0～KP11.0 の範囲において多くの水生植物が確認されている。ミクリ、エゾミクリは耐塩性試験により極めて塩分耐性が低いことが明らかとなっており、塩水遡上範囲の拡大に伴い消失するものと考えられる。また、ミクリ、エゾミクリは、他の種よりも早い段階で影響が顕著に表れることが想定されるため、生息状況を監視することにより塩水遡上影響の有無を把握できるものと考えられる。

以上より、草本類については、現状においても塩分耐性を持つヨシやクサヨシが優先する群落組成となっていることから、塩水遡上に伴い大きく変化するのは以下の項目であると考えられる。

【塩水侵入範囲における植生の影響評価】

- 海浜植物群落（ハマニンニク等）の分布域の拡大
- 水生植物（ミクリ、エゾミクリ）の消失
- 木本類（ホザキシモツケ等）の消失
- 湿原景観の単調化



(出典：H23 年度 河川水辺の国勢調査結果に加筆)

図 5-22 新釧路川周辺の主な群落と耐塩性植物・水生植物分布状況

2) その他の自然環境等への影響評価

その他の自然環境への影響評価として、海面上昇により予想される塩水侵入範囲を環境情報図（平成 19 年度作成）に重ね合わせ、影響範囲に含まれる生物を抽出した。また、河川水辺の国勢調査のアドバイザーに聞き取りを行い、海面上昇に伴う塩水遡上域および塩水侵入域の拡大が、魚類、鳥類、両性類に及ぼす影響について定性的な取りまとめを行った。

■ 魚類

塩水遡上範囲で確認された魚類重要種（漁業資源であるサケ・マス類を含む。）は表 5-13 に示す 6 科 16 種である。

確認した重要種は、多くの種が遡河回遊魚等の回遊魚であり、生活史の一時期を海水域で生息する種となっていることから、これらの種に対しては塩分環境の変化による影響は小さいものと推察される。一方、淡水魚（フナ、コイ等）を考えた場合、水生植物（ミクリ、エゾミクリ）が消失することにより、餌場や隠れ場所が失われることで生息環境が縮小することが想定される。また、海に生息する魚種（キュウリウオ、チカ、コマイ等）が新釧路川の中でも見られ、淡水魚が上流域に追いやられるなど、現存する魚種の生息環境に変化が生じることが想定される。

その他、特筆すべき環境として、シシャモの産卵床が確認されており、その他の魚種も含めて魚類の産卵環境に影響が生じる可能性がある。

表 5-13 塩水侵入区間で確認されている魚類重要種

科名	種名	生活史
ヤツメウナギ	カワヤツメ	遡河回遊魚
コイ	マルタ	遡河回遊魚
	エゾウグイ	陸封魚
シラウオ	シラウオ	周縁性淡水魚
サケ	サケ	遡河回遊魚
	サケ稚魚	
	ベニザケ	遡河回遊魚
	カラフトマス	遡河回遊魚
	サクラマス(ヤマメ)	遡河回遊魚
トゲウオ	イバラトミヨ	陸封魚
	降海型イトヨ	遡河回遊魚
	陸封型イトヨ	陸封魚
	イトヨ太平洋型	陸封 or 遡河回遊魚
	イトヨ日本海型	遡河回遊魚
	エゾトミヨ	陸封魚
カジカ	エゾハナカジカ	両側回遊魚
特筆すべき環境	シシャモ産卵床	遡河回遊魚(シシャモ)

■ 鳥類

塩水侵入範囲で確認された鳥類重要種は、オオワシ、タンチョウの 2 種であり、その他、カワアイサ、アオサギ、オオハクチョウ等が確認されている。

一般に、河川汽水域には豊富な魚類が生息していることから、河川の塩分環境の変化が動物食の鳥類の生息環境に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

一方、植物食の鳥類を考えた場合、新釧路川は水草が河岸に繁茂している程度であり餌場となる環境は限定されているものの、河川への塩水遡上により淡水性の水生植物が枯死することで、現存する生息環境に間接的な影響を与える可能性が考えられる。

以上より、海面上昇に伴う塩分環境の変化が現存する鳥類に対して及ぼす直接的な影響は比較的小さいと考えられるが、間接的な影響の有無についてはモニタリングにより継続的に監視していくことが望ましいと考えられる。

表 5-14 塩水侵入区間で確認されている鳥類

科名	種名
タカ	オオワシ
ツル	タンチョウ
カモ	カワアイサ
サギ	アオサギ
カモ	オオハクチョウ

■ 両生類

北半球に生息する両生類は基本的に淡水性の生物であり、河川への塩水遡上や地下水への塩水侵入によって生息域が減少するものと考えられる。塩水侵入範囲で確認された両生類重要種はキタサンショウウオ 1 種であり、その他、エゾアカガエルが確認されている。一般的にキタサンショウウオ等の両生類は、皮膚呼吸のため塩分耐性が弱いと考えられ、河川への塩水遡上や地下水への塩水侵入範囲では、産卵環境や生育環境が悪化して生息域の変化が考えられる。

表 5-15 塩水侵入区間で確認されている両生類

科名	種名
サンショウウオ	キタサンショウウオ
アカガエル	エゾアカガエル

■ 利水

新釧路川では、現在 JR 釧路雑用水、日本製紙工業用水、釧路漁協養魚用水、釧路市水道の許可工
作物の施設において、河川水が利用されている。

将来、河川への塩水遡上範囲が延伸した場合に、河川水の利用に対して影響が考えられる。

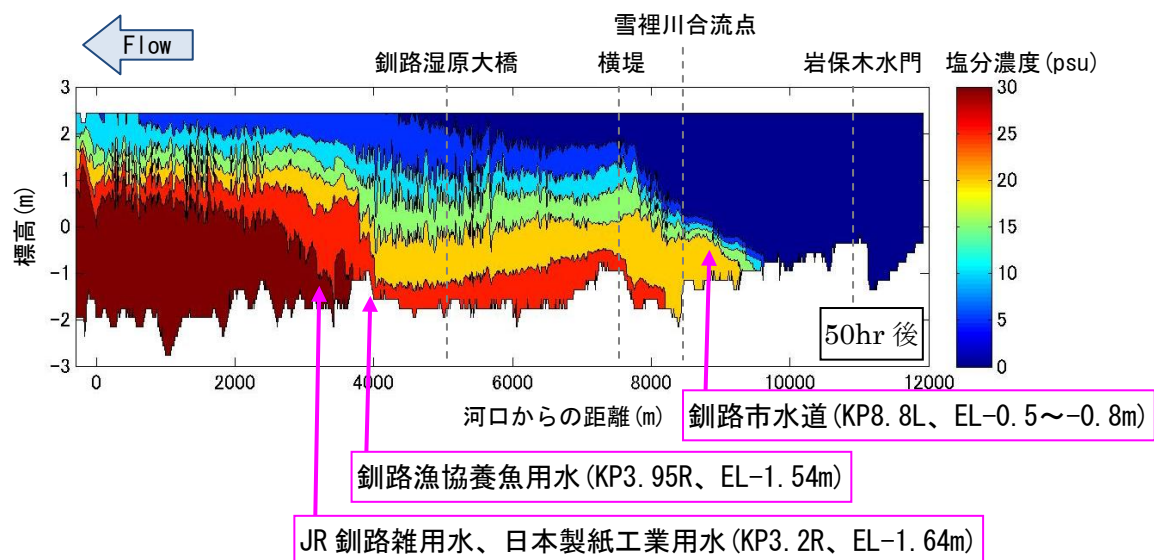


図 5-23 Case8 における塩水遡上予測結果と既存利水施設の取水位置の関係

5.5 影響予測及び評価の総括

海面上昇に伴う塩水遡上と地下水への塩水侵入範囲の予測結果から、釧路川周辺の環境へ及ぼす影響評価を行った。想定される主な影響を以下に示す。

【想定される主な影響】

- 海面上昇 ⇒ 100年後に0.59m海面が上昇する（IPCC予測値）
- 水深 ⇒ 海面上昇に気象偏差を考慮した場合、1.5m程度水深が増加する
- 塩水遡上 ⇒ 最大でKP9.7付近まで塩水が遡上し、KP5.5付近まで恒常的に塩水に暴露される
- 地下水浸透 ⇒ 右岸河岸から40m、左岸河岸から70m程度まで影響が生じる

上記の変化に伴い、新釧路川周辺で生じると考えられる主な影響として以下の9項目が想定される。

- ①水生植物 ⇒ 耐塩性が弱いミクリ、エゾミクリが塩水遡上範囲内で消滅する
- ②海浜植物 ⇒ 基本的には維持される。また、将来的に分布域が拡大する可能性がある
- ③草本類 ⇒ 耐塩性を持つヨシ、クサヨシを主体とした群落に変遷する
- ④木本類 ⇒ 塩水侵入範囲内で消滅し、③と同様に変遷する
- ⑤景観 ⇒ ④の変化に伴い、ヨシ、クサヨシを主体とした単調な景観に変遷する
- ⑥両生類 ⇒ 地下水への塩水侵入により生息環境が悪化する可能性がある
- ⑦魚類 ⇒ 塩水遡上区間において産卵環境が悪化する。また、餌場の消失や海水魚の侵入により淡水魚の生息環境が変化することが想定される
- ⑧鳥類 ⇒ 間接的な影響による生息環境の変化を監視する必要がある
- ⑨利水 ⇒ 河川への塩水遡上範囲が延伸した場合に、利用に対して影響が考えられる

上記を整理した結果を、**図 5-24** に示す。

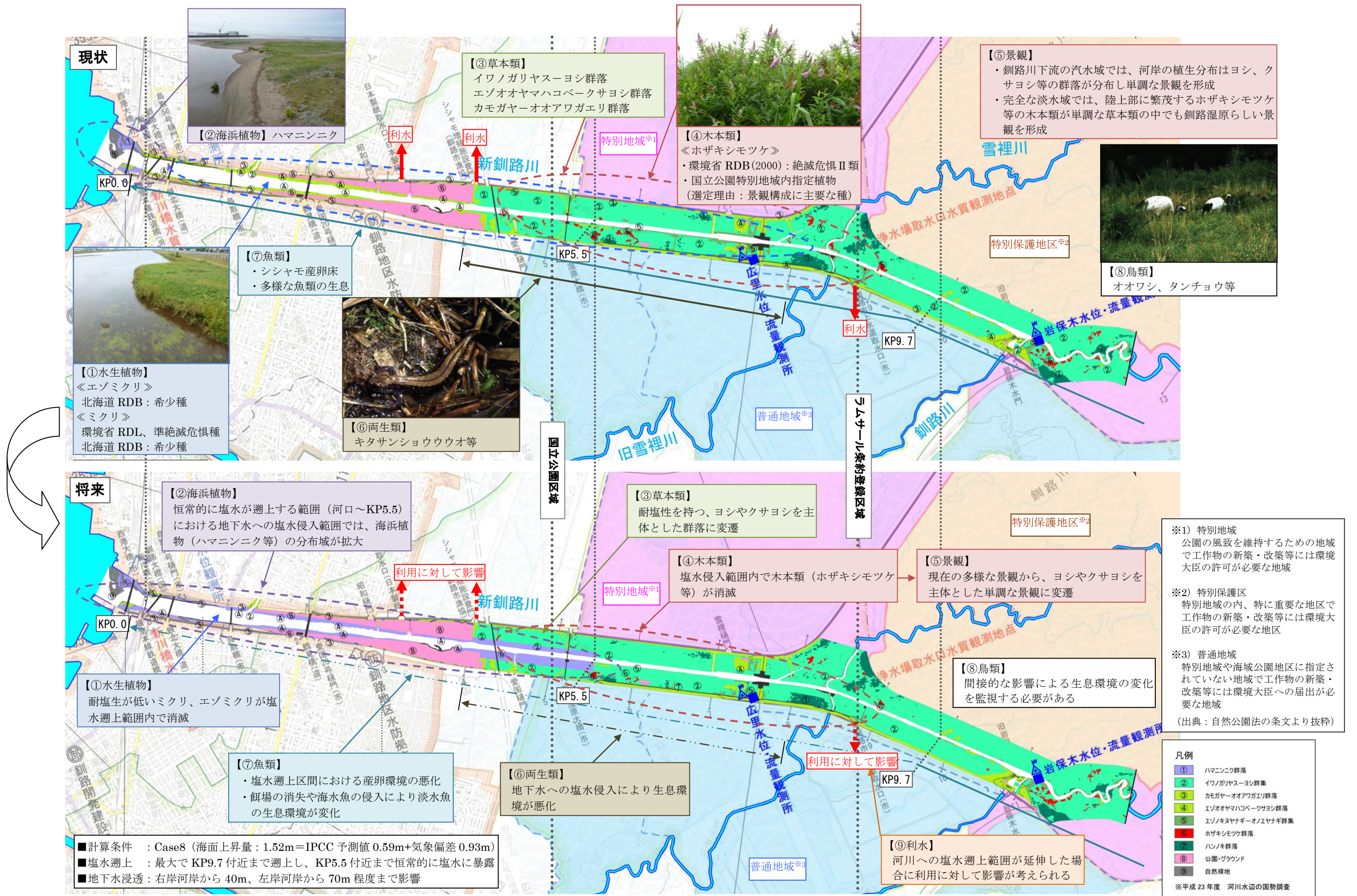


図 5-24 100 年後に想定される最も顕著なケース（Case8）で考えられる影響予測

6. 釧路湿原周辺の地球温暖化による海面上昇への適応策の検討

6.1 適応策の目標及び前提条件について

1) 適応策の目標

海面上昇に伴う影響としては、表 6-1 に示すとおり、塩水遡上距離の延伸および地下水への塩水侵入範囲の拡大、これらの変化による河道内及び陸域の動植物への影響が想定された。

表 6-1 海面上昇に伴う影響

海面上昇による変化	自然環境に及ぶ影響
河道内の塩水遡上距離の延伸	河道内の淡水性の動植物への影響
地下水への塩水の侵入範囲の拡大	陸域の植物への影響及びそれらに伴う動物、景観への影響

これらの影響は、地球温暖化に伴う海面上昇により段階的に生じるものである。そのため、環境影響に対する適応策の目標は段階的な効果を見込み、対象区域を第一保全区域および最終保全区域の2段階に分離して設定することとした。

【適応策の目標】

第一保全区域：環境影響が懸念される区域で、適応策により影響を抑制する区域

最終保全区域：環境を保全する必要がある区域で、適応策により影響を抑止すべき区域

なお、釧路湿原では、図 6-1 に示す境界を保全区域として想定した。

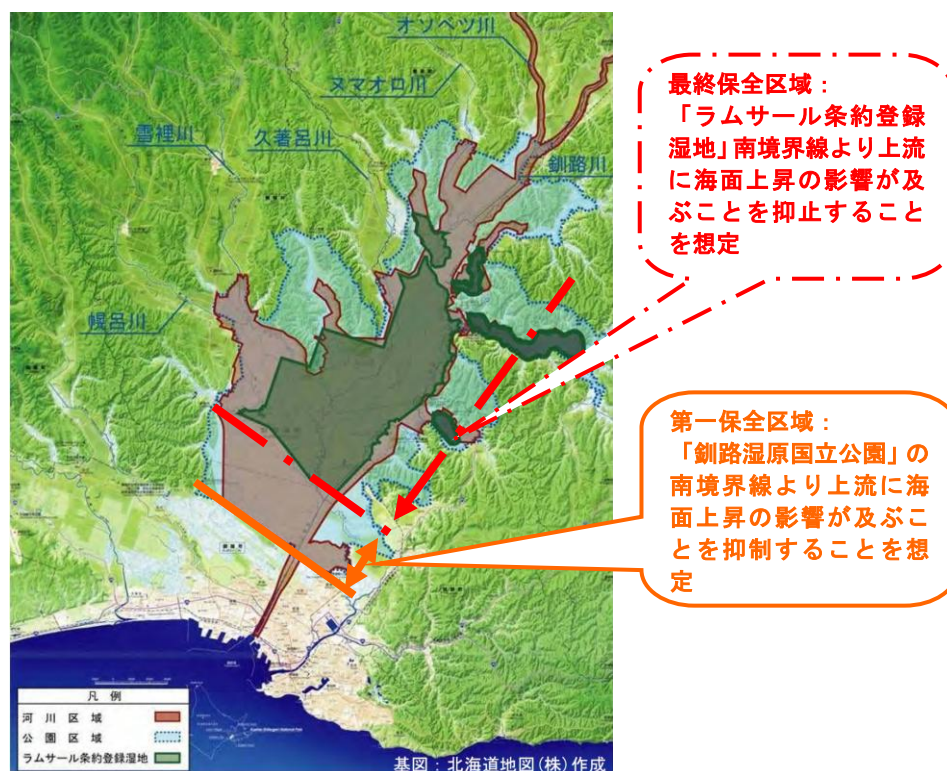


図 6-1 適応策の効果を発現させる範囲図

2) 適応策の前提条件

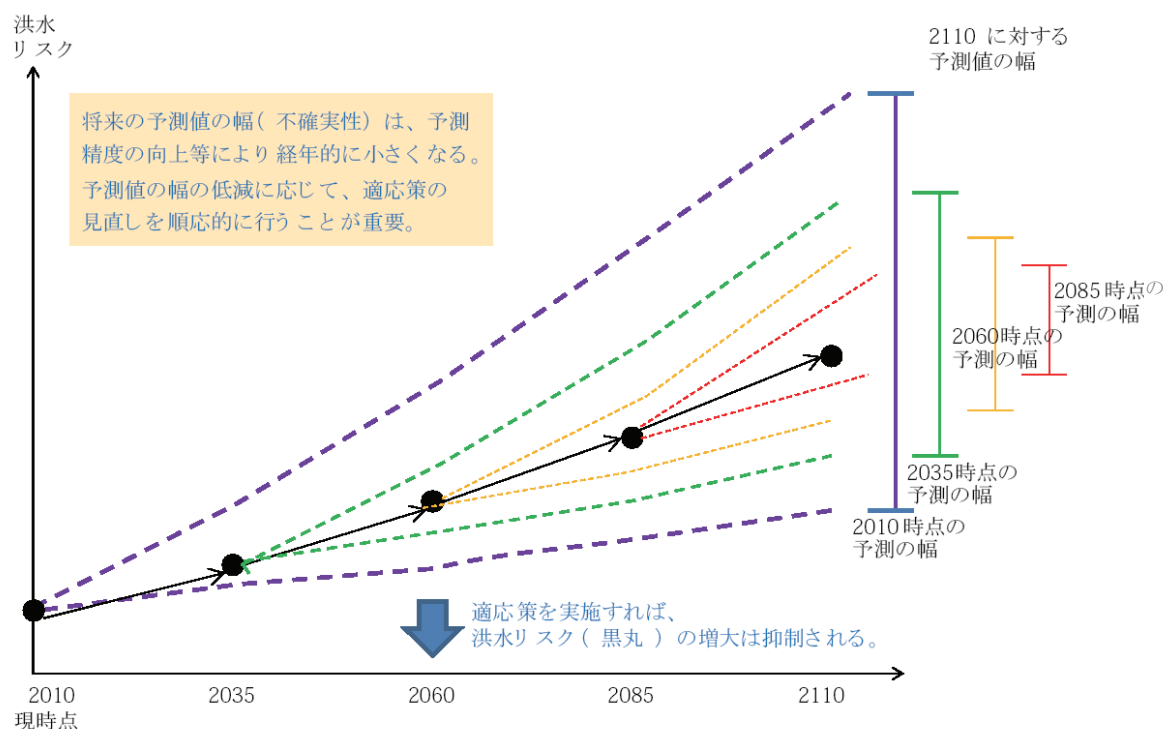
地球温暖化による気候変動の影響は不確実性を伴っており、気候変動に係る予測精度の向上と共に、地球温暖化に伴う海面上昇については随時見直しが必要になる（図 6-2）。また、本技術資料において、地球温暖化に伴う海面上昇による塩水遡上及び地下水への塩水侵入範囲の予測を実施し、周辺環境への影響を評価したが、その他、周辺環境に影響を及ぼす因子として気温、降水量の変化等が考えられる。

そのため、適応策の抽出に際しては、現時点での不確実性や気温、降水量の変化などの影響因子については考慮しないことを前提とし、これらの影響については今後のモニタリングを通して順応的に対応していくことが重要であると考えられる。

また、本技術資料において地球温暖化による環境影響に特化した検討を行ったが、地球温暖化は高潮及び海岸侵食、洪水や土砂災害の増大・激化など、環境面のみならず治水面にも多大なる影響を及ぼすことが想定される。そのため、実際には治水面での対策が優先されることから、環境影響対策としての適応策を講じるにあたっては、治水計画と整合を図るとともに、利水者や漁業関係者をはじめ関係機関と十分協議を行った上で実施する必要がある。

【適応策の前提条件】

- ・ 不確実性の要素は、現段階では考慮できない。
- ・ 気温変化、降水量の変化などの海面上昇以外の影響因子は、現段階では考慮できない。
- ・ 上記については、モニタリングを通しての順応的管理の段階で配慮する。
- ・ 環境影響対策として適応策を講じる際には、治水計画との整合を図ると共に、利水者や漁業関係者をはじめ関係機関と十分協議を行った上で実施する必要がある。



※洪水に関する気候変化の適応策検討ガイドライン【日本語版】 H22.10 国土交通省

図 6-2 「不確実性」への対応の概念図

6.2 釧路湿原に対応した適応策の考え方例と実施手順

環境影響に対する適応策を適用するにあたっては、以下の考え方とする。

【適応策を適用するにあたっての考え方例】

適応策 1：第一保全区域に達する恐れがある場合には、小規模な適応策で河道内の塩水遡上を抑制する。

適応策 2：陸域の自然景観の変化を生じさせないように地下水への塩水の侵入を防ぐ。

適応策 3：さらに上流域に塩水遡上が生じ、最終保全区域に達する恐れがある場合には、塩水遡上そのものを抑止する。

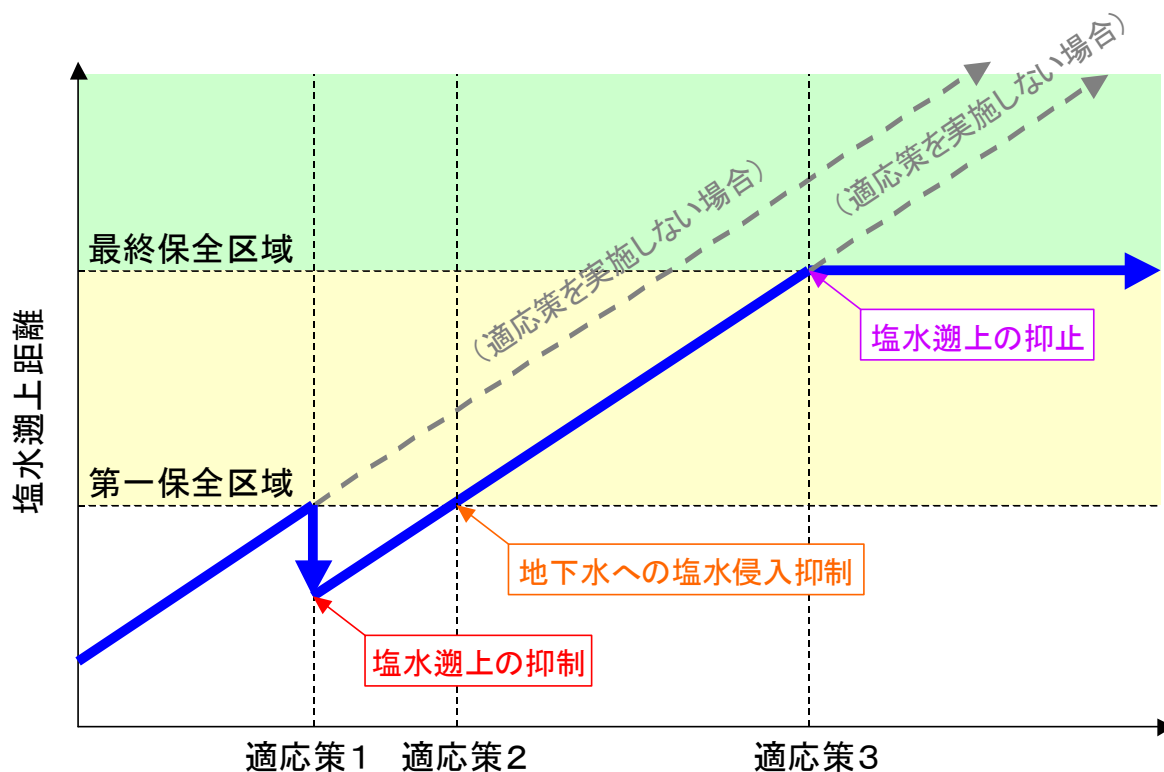


図 6-3 釧路湿原に対応した適応策の実施手順

7. 環境変化に対するモニタリング計画（順応的管理を踏まえて）

7.1 モニタリング計画の基本方針

地球温暖化による海面上昇に伴う影響は、時間的な変化を伴いながら徐々に進行する。そのため、塩水遡上や地下水への塩水侵入の抑制という適応策の実施にあたっては、モニタリングを行い、影響の進行を監視しつつ導入時期及び内容を判断することが必要である。また、適応策実施後においては、想定された効果が得られたか検証するとともに、新たな科学的な知見に基づいて適応策を見直すことが必要である。なお、温暖化の影響予測には不確実性を含むことから、モニタリングを踏まえて予測精度の向上を図ることも重要である。

以上より、時系列的にモニタリングの目的を整理すると以下のとおりである。

- ① 地球温暖化による影響の進行を監視すること
- ② 適応策の導入時期及び内容を判断すること
- ③ 適応策実施後の効果を検証し次の適応策への対応を検討すること

これらの目的のためのモニタリングについて、現段階で想定される計画をそれぞれモニタリング計画として作成した。なお、予測精度の向上は全てのモニタリングにおいて共通の目的である。

【モニタリングの目的】

■経過観察：

地球温暖化による影響の進行を監視

■事前調査：

適応策の導入時期及び内容を判断するためのモニタリング

■事後調査：

適応策実施後の効果を検証し次の適応策への対応を検討するためのモニタリング

7.2 適応策の実施を見据えたモニタリング項目と指標の設定

適応策の実施を見据えたモニタリング項目と指標の考え方を以下に示す。

【モニタリング項目及び指標設定の基本的な考え方】

- ・ 経過観察では、地球温暖化による影響の進行を監視することを目的とすることから、比較的簡便で且つコストにも考慮した項目とすることが望ましい。
- ・ 事前調査及び事後調査は、適応策の導入時期及び内容の判断、導入後の適応策の効果と次の適応策の見直しを行うためのモニタリングであることから、十分なデータの内容・質・密度を考慮した項目とすることが望ましい。
- ・ なお、モニタリング項目及びモニタリング指標は、海面上昇に伴う影響予測の結果を踏まえ見直す必要がある。

モニタリング目的に対応した現段階で想定されるモニタリング項目と指標を以下に示す。なお、海面上昇が顕著になった場合には、適応策の実施と共に必要なモニタリング項目を見直す必要がある。

表 7-1 モニタリングの目的に対応した現段階で想定されるモニタリング項目と指標（例）

モニタリング目的	モニタリング項目	モニタリング指標	
経過観察	①沿岸域の潮位データの監視	潮位	
	②河川の水位・流量データの監視	河川水位・流量	
	③河道変遷の監視	河道縦横断形状	
	④塩分計の河床配置による塩水遡上の監視	河道内における縦断的な塩分濃度	
	⑤地下水観測孔の設置と水質観測による塩水侵入状況の監視	地下水位及び塩分濃度	
	⑥定期的な指標植物の監視	海浜植物	ハマニンニク等
		水生植物	ミクリ、エゾミクリ等
		木本類	ホザキシモツケ等
		両生類	キタサンショウウオ
		魚類	シシャモの産卵床
		鳥類	タンチョウ
	⑦予測精度の向上	塩水遡上範囲 地下水への塩水侵入範囲	
事前調査	①具体的な施設設計のための調査	施設設計に必要な調査	
事前調査 及び 事後調査	①沿岸域の潮位データの監視	潮位	
	②河川の水位・流量データの監視	河川水位・流量	
	③河道変遷の監視	河道縦横断形状	
	④塩分計の多層配置による塩水遡上の監視	河道内における縦断的及び鉛直的な塩分濃度	
	⑤地下水観測孔の高密度設置と水質観測による塩水侵入状況の監視	地下水位及び塩分濃度の平面分布	
	⑥詳細な指標植物等の分布状況の監視	海浜植物	ハマニンニク等
		水生植物	ミクリ、エゾミクリ等
		木本類	ホザキシモツケ等
		両生類	キタサンショウウオ
		魚類	シシャモの産卵床
		鳥類	タンチョウ
	⑦予測精度の向上	塩水遡上範囲 地下水への塩水侵入範囲	

7.3 既存調査結果の有効活用を踏まえたモニタリング方法

1) モニタリング項目に対するモニタリング方法

各モニタリング項目については、既設観測施設での観測結果や環境調査結果など他の調査との重複が考えられることから、これらの調査結果を有効活用することが望ましい。表 7-2 にモニタリング項目に対するモニタリング方法を示す。

表 7-2 モニタリング項目に対するモニタリング方法

モニタリング項目	モニタリング指標		モニタリング方法	既存調査資料の有効活用と補足または新規調査		
				既存調査資料	補足または新規	
沿岸域の潮位データの監視	潮位		計測データの分析	○ 気象庁(釧路港)の取得データ	—	—
河川の水位・流量データの監視	河川水位・流量		計測データの分析	○ 既設水位流量観測所の取得データ	—	—
河道変遷の監視	河道縦横断面形状		計測データの分析	○ 定期縦横断面測量成果	—	—
塩分計の河床配置による塩水遡上の監視	河道内における縦断的な塩分濃度		計測データの取得と分析	—	○	塩分濃度の新規モニタリング
塩分計の多層配置による塩水遡上の監視	河道内における縦断的及び鉛直的な塩分濃度		計測データの取得と分析	—	○	塩分濃度の新規モニタリング
地下水観測孔の設置と水質観測による塩水侵入状況の監視	地下水位及び塩分濃度		計測データの取得と分析	○ 既存観測孔の観測地下水位	○	地下水塩分濃度の補足モニタリング
地下水観測孔の高密度設置と水質観測による塩水侵入状況の監視	地下水位及び塩分濃度の平面分布		計測データの取得と分析	○ 既存観測孔の観測地下水位	○	地下水塩分濃度の補足モニタリング
定期的な指標植物の監視	海浜植物	ハマニンニク等	目視及び踏査及び計測データの分析	○ 河川水辺の国勢調査結果	○	補足モニタリング ※住民との連携による監視の模索
	水生植物	ミクリ、エゾミクリ等				
	木本類	ホザキシモツケ等				
	両生類	キタサンショウウオ				
	魚類	シシャモの産卵床				
	鳥類	タンチョウ				
詳細な指標植物等の分布状況の監視	海浜植物	ハマニンニク等	計測データの取得と分析	○ 河川水辺の国勢調査結果	○	補足モニタリング
	水生植物	ミクリ、エゾミクリ等				
	木本類	ホザキシモツケ等				
	両生類	キタサンショウウオ				
	魚類	シシャモの産卵床				
	鳥類	タンチョウ				
予測精度の向上	塩水遡上範囲		計測データを用いた検証	—	—	○ 新規モニタリング
	地下水への塩水侵入範囲			—	—	○ 新規モニタリング
具体的な施設設計のための調査	施設設計に必要な調査		計測データの取得と分析	—	—	○ 新規モニタリング

2) モニタリング結果のデータベース化

モニタリング結果を用いて順応的管理を行うためには、時間の経過に伴う地球温暖化の進行状況とその影響について時系列的に整理することが重要である。そのため、モニタリング結果のカルテ作成などによるデータベースの構築が必要であり、蓄積したデータを有効に活用してフィードバックするPDCA サイクルの確立が重要である。

7.4 モニタリング体制

地球温暖化の影響は時間的な変化を伴いながら徐々に進行する。また、自然環境は多様な要素からなる複雑な存在で絶えず変化を続けている。そのため、モニタリング結果を踏まえ、海面上昇に伴う影響の予測結果を検証し適応策の見直しを行う体制の構築が必要である。

なお、モニタリングの実施にあたっては、専門技術者によるモニタリング体制の充実や地域住民、NPO、自治体との連携を通じたモニタリング体制の構築について今後推進する。

【モニタリング体制】

- ・ モニタリング結果を踏まえ、海面上昇に伴う影響の予測結果を検証し適応策の見直しを行う体制の構築を図る。
- ・ 専門技術者によるモニタリングの体制の充実や地域住民、NPO、自治体との連携を図りながら実施する住民参加型の体制の構築を推進する。

【計測データを用いた検証によるモニタリング項目】→専門技術者による検証

- 予測精度の向上（塩水遡上範囲：Fantom3D）
（地下水への塩水侵入範囲：SEAWAT）

【計測データの取得と分析によるモニタリング項目】→専門技術者による調査

- 塩分計の河床配置による塩水遡上の監視
- 塩分計の多層配置による塩水遡上の監視
- 地下水観測孔の設置と水質観測による塩水侵入状況の監視
- 地下水観測孔の高密度設置と水質観測による塩水侵入状況の監視
- 群落組成調査や植物調査等の詳細な指標植物等の分布状況の監視

【目視及び踏査によるモニタリング項目】→住民との連携を模索

- 定期的な指標植物の監視
- 景観の監視



写真 住民参加によるハンノキ調査の例

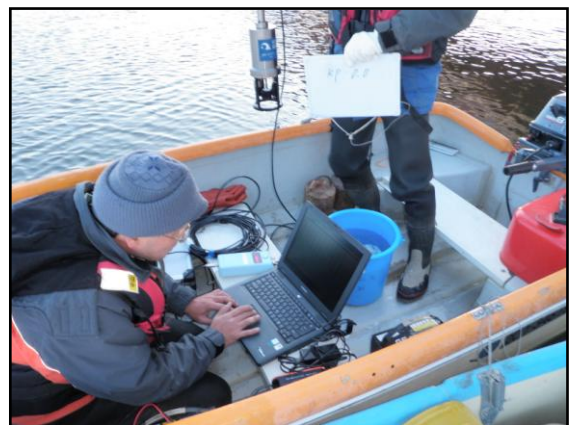


写真 専門技術者による環境モニタリング例

7.5 順応的管理のための留意事項の整理

地球温暖化に対する適応策の実施は長期的なものであり、その間の地球温暖化の進行度合いの変化、地球温暖化以外の要因による自然環境の変化、自然環境の保全等に対する社会的条件の変化などが生じる可能性がある。そのため、このような当初想定が困難な状況の変化に対応するため、順応的な管理の実践においては、将来的な種々の状況の変化に応じた柔軟な計画の見直しの余地を持つことの必要性を予め想定しておくことが重要である。

一方、適応策についての計画の柔軟な見直しが可能なよう、前述のとおり適応策の導入については、地球温暖化の進行状況を踏まえた段階的な実施を行い、その効果をモニタリングにより十分に検証する必要がある。

【順応的管理のための留意点】

- ・ モニタリング結果のデータベース化と定期評価
- ・ 順応的管理のための PDCA サイクルの確立
- ・ 定期評価の結果に基づく柔軟な計画の見直し
- ・ 段階的な適応策の実施とその効果に関する評価

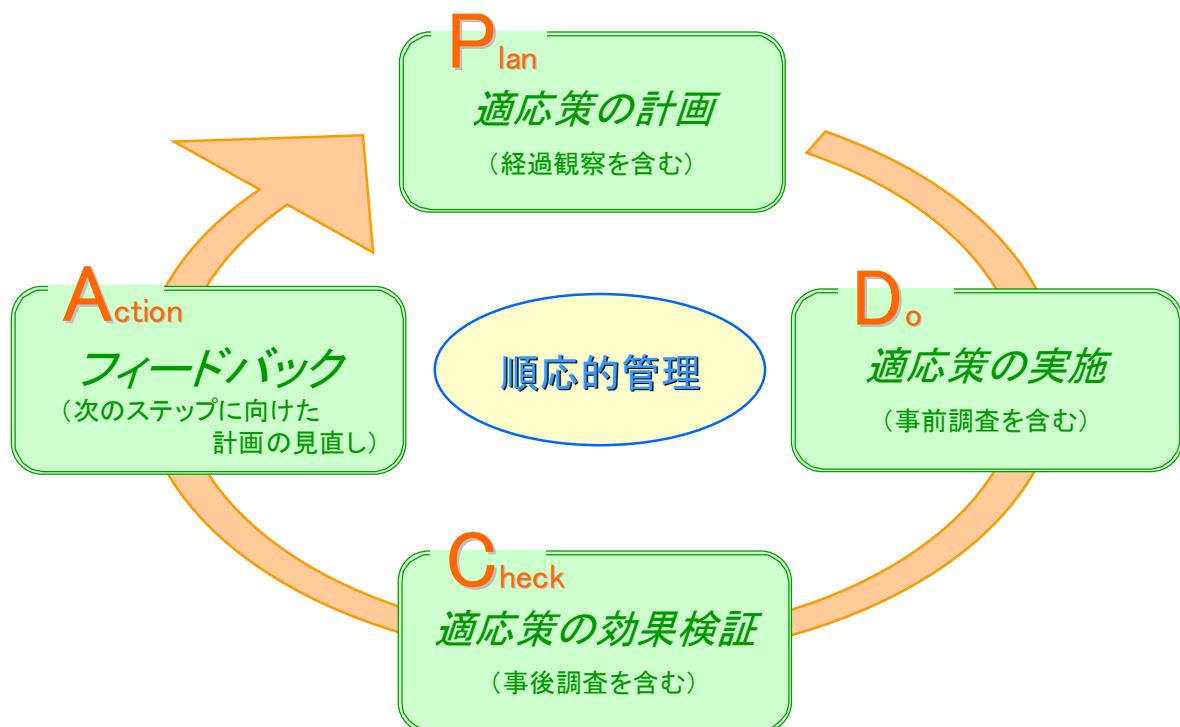


図 7-1 順応的管理を実践するためのプロジェクトサイクルの模式図

あとがき

本書を取りまとめるに当たり、国立大学法人北見工業大学の中山教授には、検討初年度から検討手順や検討成果の妥当性についてのご意見、ご指導をいただきました。

また、公立大学法人首都大学東京の新谷助教には、本書で塩水遡上解析に用いた環境流体モデル（Fantom3D）をご提供していただき、計算手順や解析結果の妥当性についてのご意見、ご指導をいただきました。

さらに、国立大学法人北海道教育大学釧路校の神田教授には、植物の耐塩性試験について試験方法や試験結果の妥当性についてのご意見、ご指導をいただきました。

これらの方々をはじめ、本書の作成に際してお世話になった多くの方々に心よりお礼を申し上げます。

国土交通省 北海道開発局 釧路開発建設部 治水課