

東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所

第二種廃棄物埋設事業許可申請

第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び

設備の基準に関する規則第十三条

(ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄

物埋設地) 第1項第三号及び第四号

への適合性について

地質環境等の状態設定

2023 年 4 月

日本原子力発電株式会社

目 次

1	はじめに	1
2	地質環境等に係る長期変動事象の考え方	2
3	状態設定	3
3. 1	プレート運動に起因する事象	3
(1)	火山・火成活動	3
(2)	地震・断層活動	4
(3)	隆起・沈降運動	14
3. 2	気候変動に起因する事象	20
(1)	気温	24
(2)	降水量	35
(3)	地下水位（地下水流動）	40
(4)	蒸発散量	50
(5)	かん養量	56
(6)	海水準変動	60
3. 3	プレート運動と気候変動の両者に起因する事象	68
(1)	侵食	68
3. 4	その他の事象	77
(1)	生物学的事象	77
(2)	風（台風）	77
(3)	降雹	77
(4)	積雪	78
(5)	風化	78
4	まとめ	78
5	参考文献	82

添付資料 1 水理

添付資料 2 想定される自然現象の選定について

添付資料 3 事業所敷地周辺の地震の発生状況について

参考資料 1 温暖期継続による仮想的な評価について

参考資料 2 降水量と地下水位の相関について

1 はじめに

本資料は、「東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設事業 許可申請 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則 第十三条（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地）第1項第三号及び第四号への適合性について」のうち、地質環境等の状態設定に係る長期変動事象について補足説明するものである。

長期状態設定において考慮すべき自然現象を第1表に示す。

第1表 地質環境等の状態設定において考慮すべき自然現象^{※1}

起回事象		自然現象
プレート運動に 起因する事象	火山・火成活動	①火山の影響（降下火砕物）
	地震・断層活動	②地震，③地盤の変形， ④液状化，⑤津波
	隆起・沈降運動	⑥隆起・沈降
気候変動に起因する事象		⑦気温，⑧降水量， ⑨地下水位（地下水流動）， ⑩蒸発散量，⑪かん養量， ⑫海水準変動
プレート運動と気候変動の両者に 起因する事象		⑬侵食
その他の事象		⑭生物学的事象，⑮風（台風）， ⑯降雹，⑰積雪，⑱風化

※1：長期状態設定において考慮すべき自然現象の選定については、添付資料2に詳細を示す。

2 地質環境等に係る長期変動事象の考え方

廃棄物埋設地の地下の環境は、自然現象の影響を受け難いことから、地上に比べ安定である。しかし、長期的な観点でみると、プレート運動及び気候変動に関する自然現象によって、廃棄物埋設地を取り巻く地質環境等は有意に変化することが予測される。このため、地質環境等の状態設定として、自然現象による変化を考慮して、廃棄物埋設施設の敷地及びその周辺（以下「敷地周辺」という。）の将来の地質環境、気象環境及び水理環境（以下「地質環境等」という。）の状態を設定する。

地質環境等の状態設定に係る長期変動事象について、「プレート運動に起因する事象」、「気候変動に起因する事象」及び「プレート運動と気候変動の両者に起因する事象」に区分する⁽¹⁾。区分した各事象については、プレート運動や気候変動が過去から現在までの変動傾向とその要因が今後も継続するとみなし、それらを外挿して状態設定を行う。状態設定は、最も可能性が高い設定及び最も厳しい設定を設定する。

- ・ 最も可能性が高い設定：将来起こり得るなかで最も可能性が高いと考えられる状態とする。
- ・ 最も厳しい設定：過去の変化傾向とその要因の不確かさを網羅的に考慮し、科学的に合理的と考えられる範囲で最も厳しい状態とする。

地質環境等の状態の設定を行う将来の期間は、廃止措置の開始後 1,000 年が経過するまでの期間とし、線量評価においては、最終覆土完了時点において敷地周辺の地質環境等は 1,000 年後の状態になるものとし、その状態が継続するものとする。

なお、最も可能性が高いと考えられる状態の設定が困難である場合又は様々な不確かさを考慮したとしても線量への影響が小さいと考えられる場合は、不確かさを考慮して保守的な状態を設定する。また、事象同士が密接に関係して

おり、両者で不確かさを考慮するのが適切でないと考えられる場合は、評価において保守的となる事象で不確かさを考慮して設定する。

3 状態設定

3.1 プレート運動に起因する事象

日本周辺には、大陸プレートであるユーラシアプレート及び北米プレート並びに海洋プレートであるフィリピン海プレート及び太平洋プレートがあり、大陸プレートの下に海洋プレートが沈み込んでいる。廃棄物埋設地は北米プレートに位置し、東側から太平洋プレートが沈み込むことで、おおむね東西方向の圧縮の力が生じている。

将来の日本列島周辺のプレート運動については、今後数十万年から数百万年程度継続すると考えられる^{(1)～(4)}。したがって、状態設定においては、現在のプレート運動が継続するものとして設定する。

プレート運動に起因する事象には、「火山・火成活動」、「地震・断層活動」及び「隆起・沈降運動」があげられる。

(1) 火山・火成活動

火山・火成活動によって、地下水の水質が変化する可能性があることから、火山・火成活動による状態設定を行う。廃止措置の開始までの間において、廃棄物埋設地に影響を及ぼす可能性のある火山・火成活動は降下火砕物であり、必要に応じて除灰を行い、安全機能を達成することとしている。廃止措置の開始後においては、降下火砕物について、除灰の対応ができない場合を想定する。

a. 降下火砕物

廃止措置の開始後において、降下火砕物が堆積することにより、降下火砕物に含まれる成分によって地下水の水質変化が生じることが想定されるため、廃棄物埋設地の状態設定において化学的影響を考慮する。

(2) 地震・断層活動

地震・断層活動については、現在のプレート運動が継続するとされていることから、将来も同様の場所で繰返し発生する可能性がある。

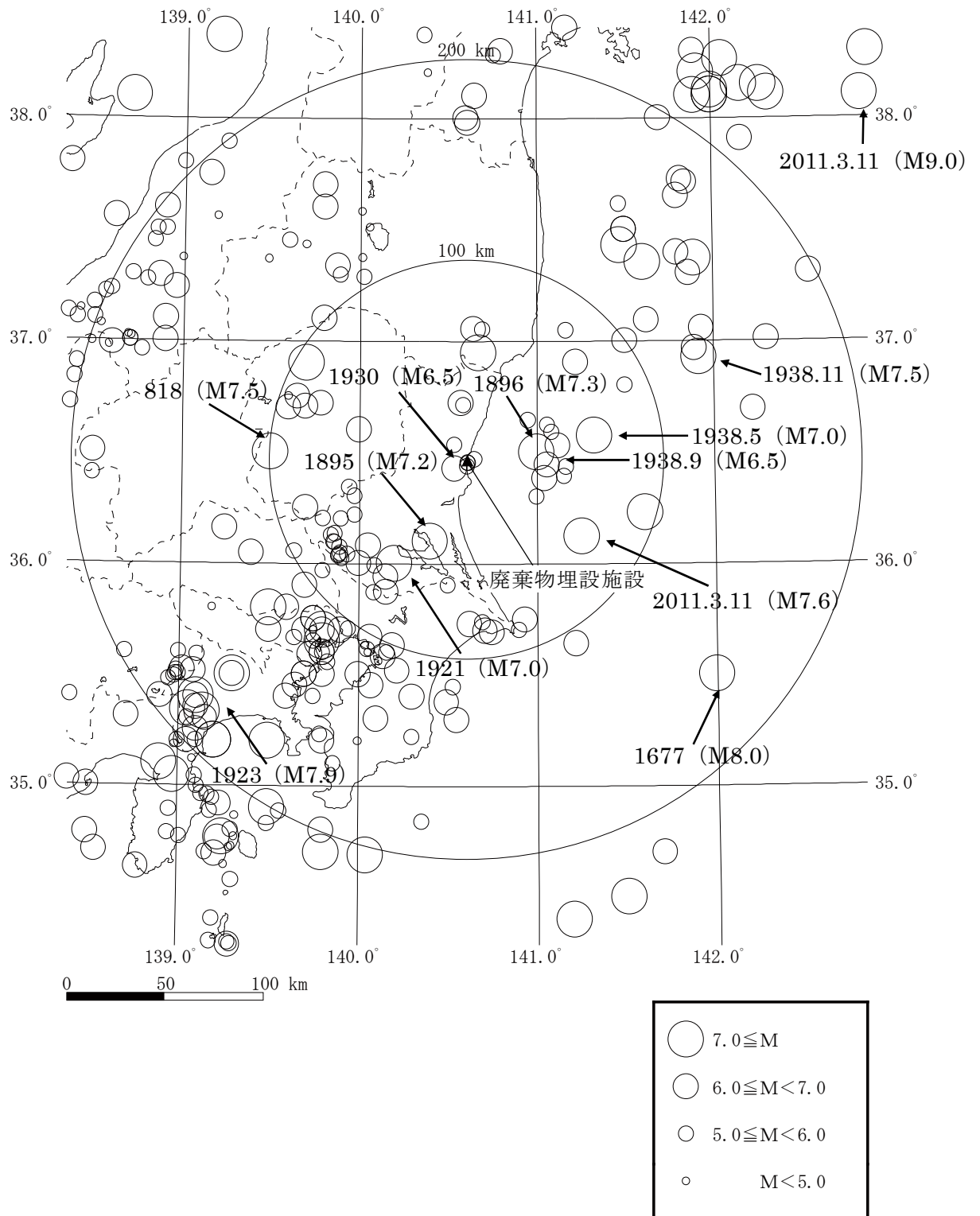
a. 地震

敷地周辺の被害地震の震央分布(敷地からの震央距離 200 km 程度以内)を第 1 図に、敷地周辺の被害地震のマグニチュードと震央距離の関係を第 2 図に示す。

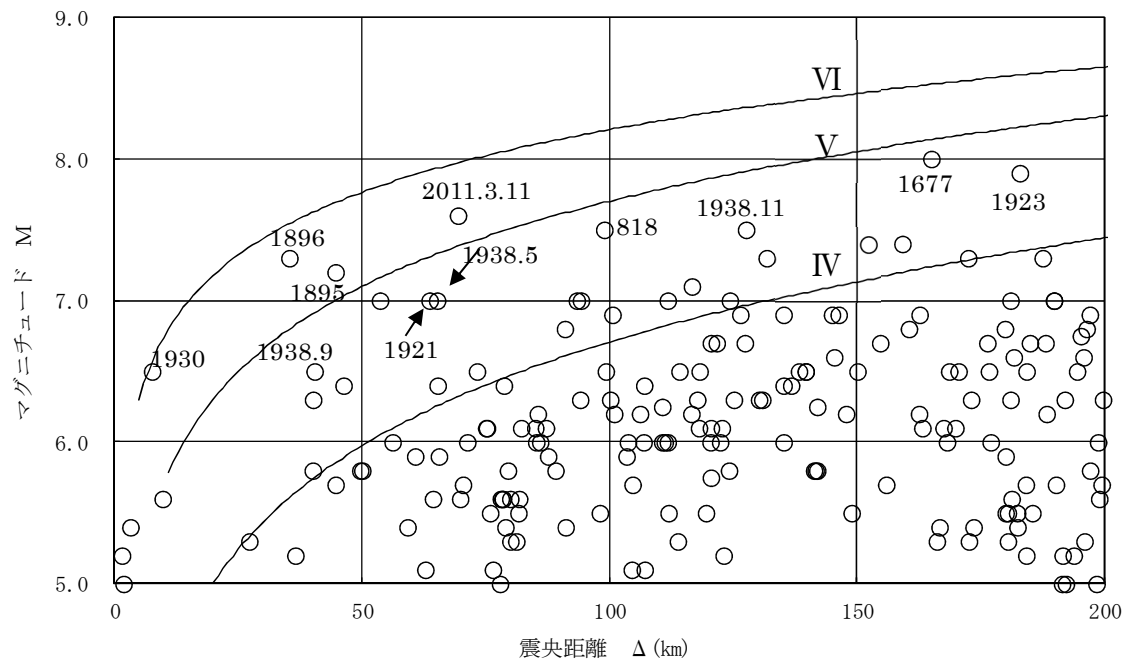
地震によって建物等に被害が発生するのは震度 5 弱 (1996 年以前は震度 V) 程度以上であるとされている⁽⁵⁾。敷地周辺で震度 5 弱 (震度 V) 程度以上であったと推定される地震は、1895 年霞ヶ浦付近の地震、1923 年関東大地震、1930 年那珂川下流域の地震、1938 年塩屋崎沖の地震、1938 年鹿島灘の地震、1938 年福島県東方沖地震、2011 年東北地方太平洋沖地震の本震及び同日 15 時 15 分に発生した余震、818 年関東諸国の地震、1677 年磐城・常陸・安房・上総・下総の地震、1896 年鹿島灘の地震及び 1921 年茨城県龍ヶ崎付近の地震である (添付資料 3 参照)。

廃棄物内に微小な空隙が残存する場合には、地震によって生じる応力及び振動により廃棄物層が沈下することで廃棄物埋設施設に陥没が生じ、側部低透水性覆土及び低透水性土層の低透水性に影響する可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において力学的影響を考慮する。

震度 5 弱程度以上の地震時において、敷地内の観測孔で地下水位の変動が確認されている（第 3 図参照）。観測結果によると、2011 年東北地方太平洋沖地震では地下水位の変動は小さく、季節変動に内包される程度であった。また、廃棄物埋設地の底面レベル（T.P. +4.0 m）を上回る水位は観測されていない（第 2 表参照）。したがって、地震活動による水理的影響は小さく、一時的なものであることから、地震の水理的影響は長期変動事象として考慮しない。

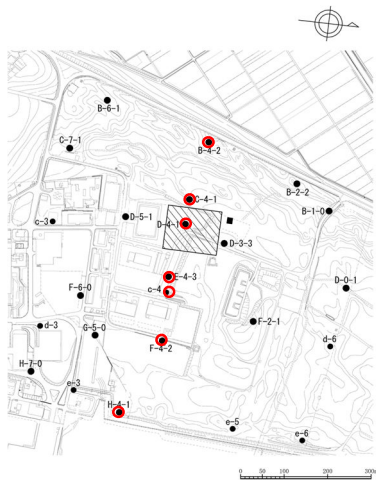


第1図 敷地周辺の過去の被害地震の震央分布図

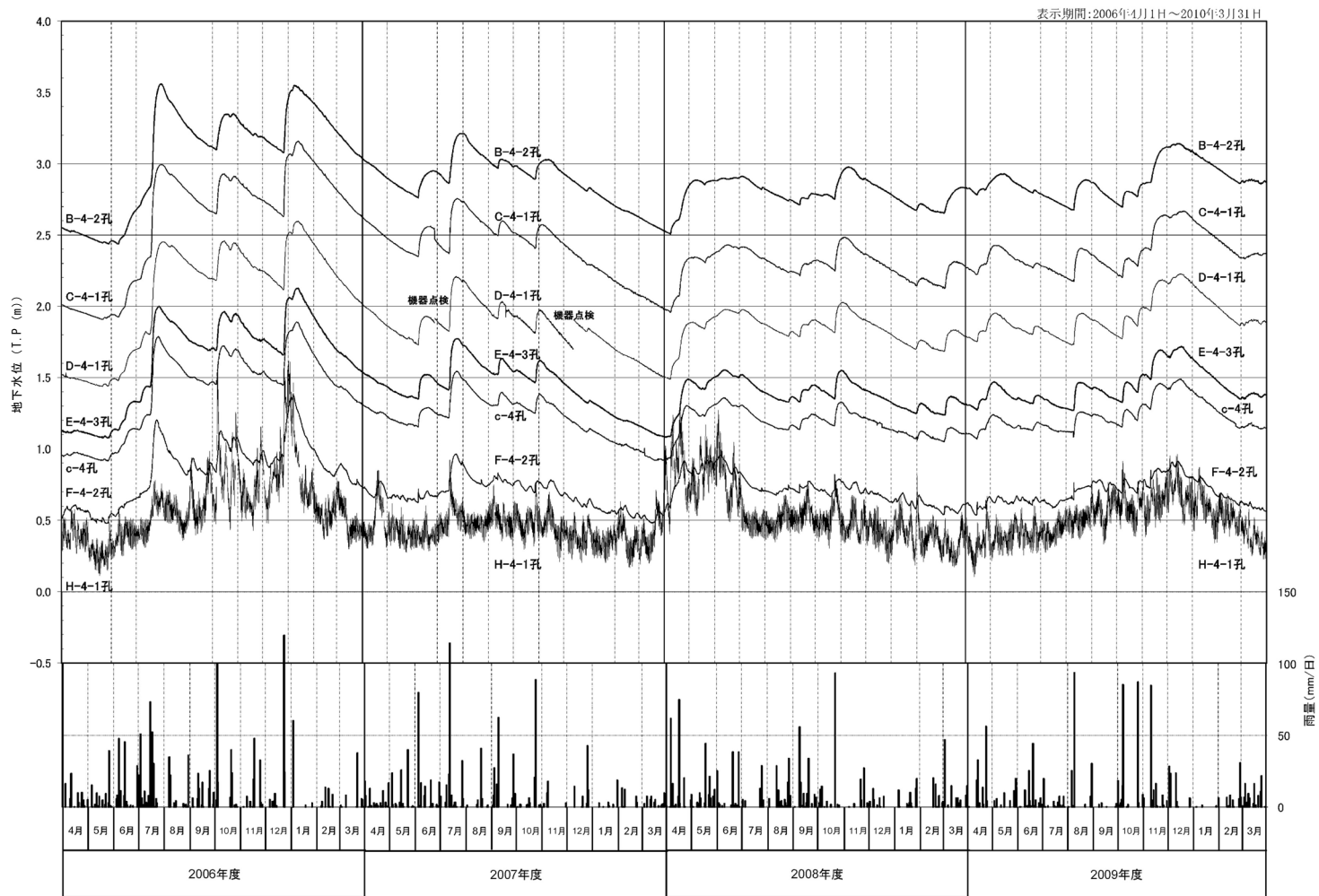


(数字は震度V程度以上の地震の年号を示す)

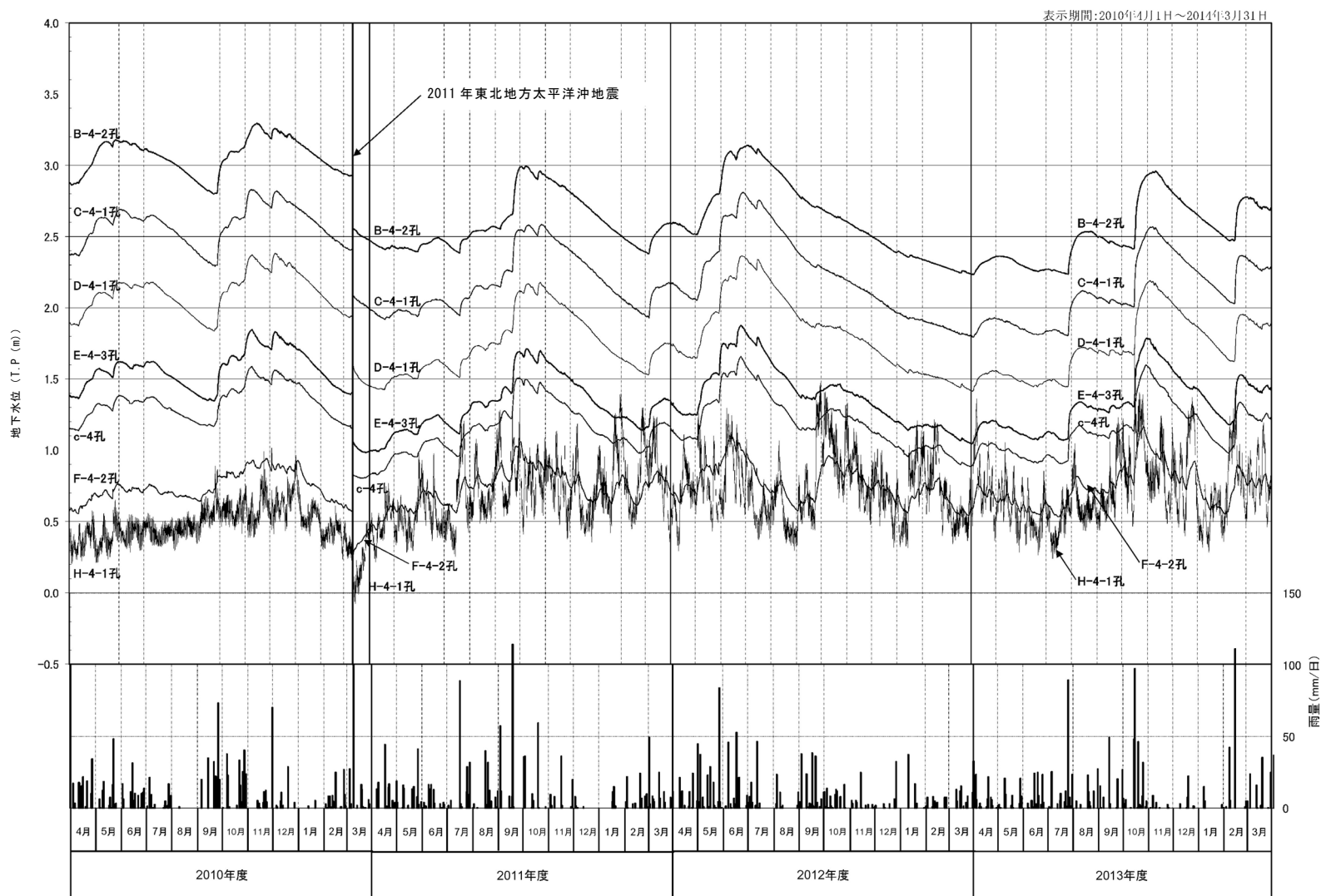
第2図 敷地周辺の被害地震のマグニチュードー震央距離



地下水観測孔のうち
経時変化を表示した孔

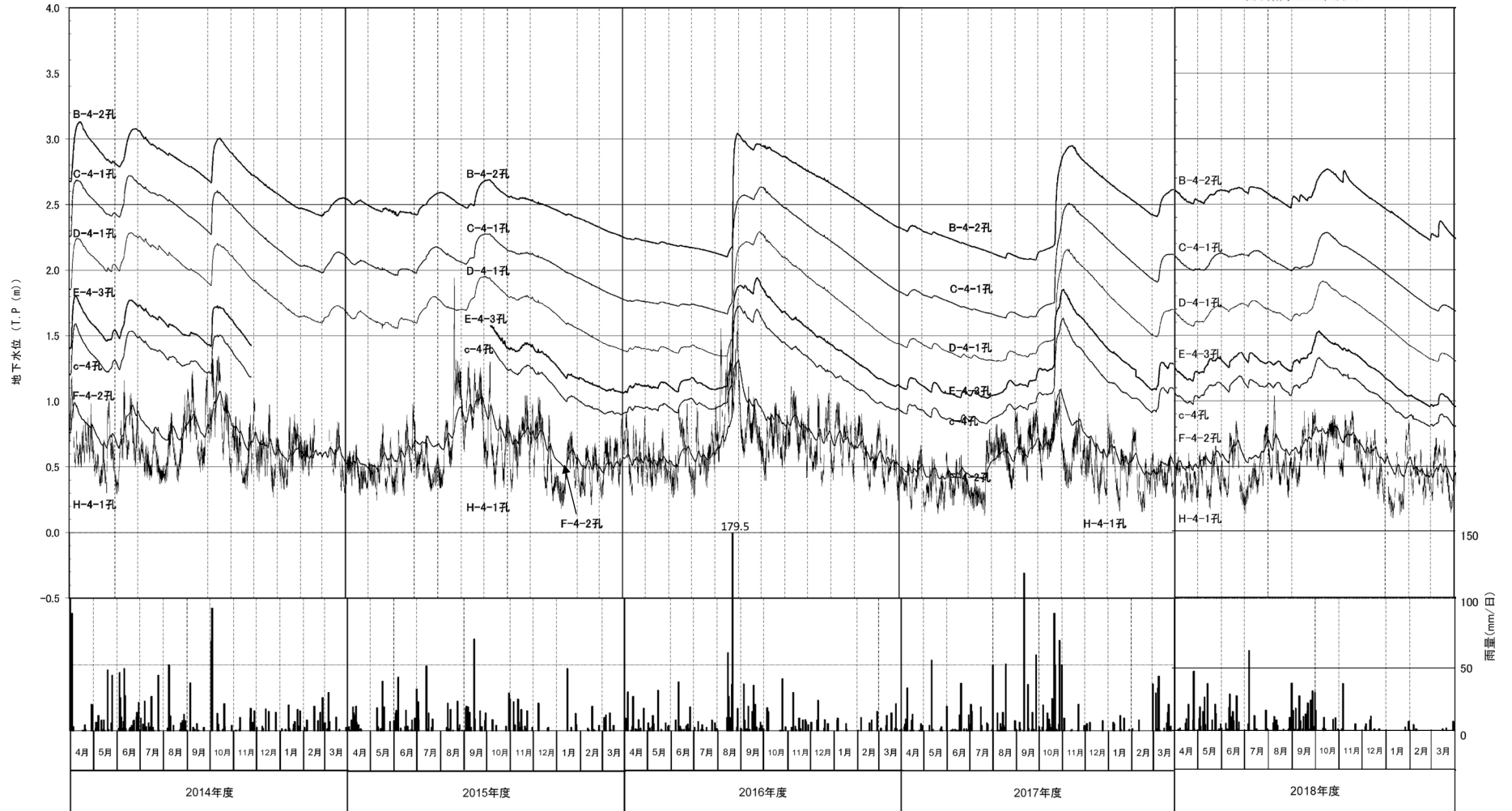


第3図 地下水位観測結果 (1/3)



第3図 地下水位観測結果 (2/3)

表示期間:2014年4月1日～2019年3月31日



補 1-10

第 3 図 地下水水位観測結果 (3/3)

第 2 表 最高水位観測結果

孔名	最高水位 (観測日時)
B-4-2	T. P. + 3. 56 m (06/7/31 14:00)
C-4-1	T. P. + 3. 16 m (07/1/13 4:00)
D-4-1	T. P. + 2. 60 m (07/1/13 4:00)
E-4-3	T. P. + 2. 13 m (07/1/12 22:00)
c-4	T. P. + 1. 89 m (07/1/10 20:00)
F-4-2	T. P. + 1. 38 m (07/1/6 18:00)
H-4-1	T. P. + 1. 94 m (15/8/22 20:00)

b. 地盤の変形

地盤の変形としては、地震発生に伴う地殻変動によって生じる設置地盤の傾斜及び撓みの可能性がある。

敷地周辺の活断層及び日本海溝沿いのプレート境界は、敷地からの距離が十分に離れているため、それら活断層等の断層変位に伴う設置地盤の変形は、廃棄物埋設地の安全性に問題となるものではない。

また、敷地の基礎岩盤である久米層には断層を示唆する系統的な不連続や累積的な変位・変形は認められないことから、敷地には将来活動する可能性のある断層等の露頭は認められない。

以上のことから、廃棄物埋設地の設置地盤の傾斜及び撓みは生じないことから、安全機能が損なわれるおそれはない。

廃棄物埋設施設の地盤の状況の変化は緩慢であり、地質環境等の状態の設定を行う廃止措置の開始後の1,000年までの期間においてバリア機能が損なわれることは考えられないため、地盤の変形は長期変動事象として考慮しない。

c. 液状化

廃棄物埋設地の覆土については、廃棄物埋設地の底面レベル(T.P. +4.0 m)が地下水位より上にあり、不飽和土層であることから、液状化は発生しない。一方で、廃棄物埋設地の地盤については、地震発生に伴い液状化の可能性はある。

廃棄物埋設地の地盤の液状化については、「東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設事業許可申請 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第三条（安全機能を有する施設の地盤）への適合性について」における「5. 4 安全機能を有する施設の設

置地盤の変形に対する評価」（以下「第三条の評価」という。）に基づいて評価した。

道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（日本道路協会，平成29年）に基づき，廃棄物埋施設位置のD-4-0孔のN値（最小値）を用いて液状化判定を行った結果，対象層の F_L 値は1.0を超えていることから，液状化は発生しない結果となった。一方，地盤のばらつきを考慮した液状化を踏まえた検討として，廃棄物埋施設近傍におけるPS検層結果及び液状化試験結果の -1σ を用いた沈下量の検討を実施した。結果，過剰間隙水圧が95%を上回る地層は認められず，廃棄物埋設地下端の沈下量は西側トレンチで最大0.341 m，東側トレンチで最大0.283 mであった。なお，両者とも廃棄物埋設地下端及び低透水性土層下端の沈下量は平面的に緩やかに変化している。

揺すり込み沈下については，廃棄物埋施設底面の地盤高 T.P. +4.00 m 以深から地下水位 T.P. +2.00 m 以浅の du 層（層厚 2.00 m）を検討対象とし，対象層の層厚に1%（新潟県中越沖地震時における東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所の沈下実績を考慮した値）を乗じて算定して求めた結果，沈下量は0.020 mであった。

圧密沈下については，廃棄物埋施設の自重及び操業時の荷重による難透水層（Ac層）への有効上載圧が，室内試験の結果から求めた難透水層の圧密降伏応力を上回ったことから，圧密沈下量を算定した。結果，圧密沈下量は西側トレンチが0.120 m，東側トレンチが0.065 mとなった。

地盤のばらつきを考慮した液状化を踏まえた検討，揺すり込み沈下，圧密沈下による合計沈下量は，西側トレンチで最大0.481 m，東側トレンチで最大0.368 mである。平面的な沈下量の変化は緩やかであり，また，廃棄物埋設地の設置地盤に分布する砂層や砂礫層はほぼ水平成層に分布し

ているため、沈下も水平方向にほぼ一様に生じると考えられる。以上より、側部低透水性覆土及び低透水性土層の透水性に影響を与えるような変化が生じることはなく、また、沈下が生じた場合においても廃棄物の底面は地下水位以下とはならないため、安全機能が損なわれるおそれはない。

廃棄物埋設施設の地盤の状況の変化は緩慢であり、地質環境等の状態の設定を行う廃止措置の開始後の1,000年までの期間においても、第三条の評価と同様に、透水性への影響はなく、廃棄物の底面は地下水位以下とはならないため、バリア機能が損なわれることは考えられない。

以上より、液状化は長期変動事象として考慮しない。

d. 津波

廃棄物埋設地は T.P. + 約 8 m にあり津波により冠水することはない。また、海洋及び河川から取水する設備もない。津波によって、海水が廃棄物埋設地周辺に流入することで、地下水の化学特性に一時的に影響する可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において化学的影響を考慮する。

(3) 隆起・沈降運動

a. 隆起・沈降

隆起・沈降運動は廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、隆起・沈降運動により侵食基準面が変化することにより、敷地周辺の面的侵食、河川における表流水による侵食（以下「河食」という。）に影響する可能性があることから、隆起・沈降運動を長期変動事象として考慮し、隆起・沈降運動の速度を設定する。

敷地周辺には、過去約 30 万年間に形成された複数の海成段丘面が分布することから、少なくとも同期間において大局的には隆起域と考えられる。

したがって、敷地周辺では将来も隆起運動が継続すると想定し、状態設定として隆起速度を設定する。

(a) 隆起速度の設定に関する考え方

小池・町田 (2001)⁽⁶⁾ から、敷地周辺 (日立地域～那珂湊南地域) の段丘面旧汀線高度のデータに基づく過去約 30 万年間の敷地周辺の隆起量を第 4 図に示す。

隆起速度は、海成段丘面の旧汀線標高にもとづき、以下の考えを用いて過去の隆起速度を求め、その速度を将来に適用して算出する。

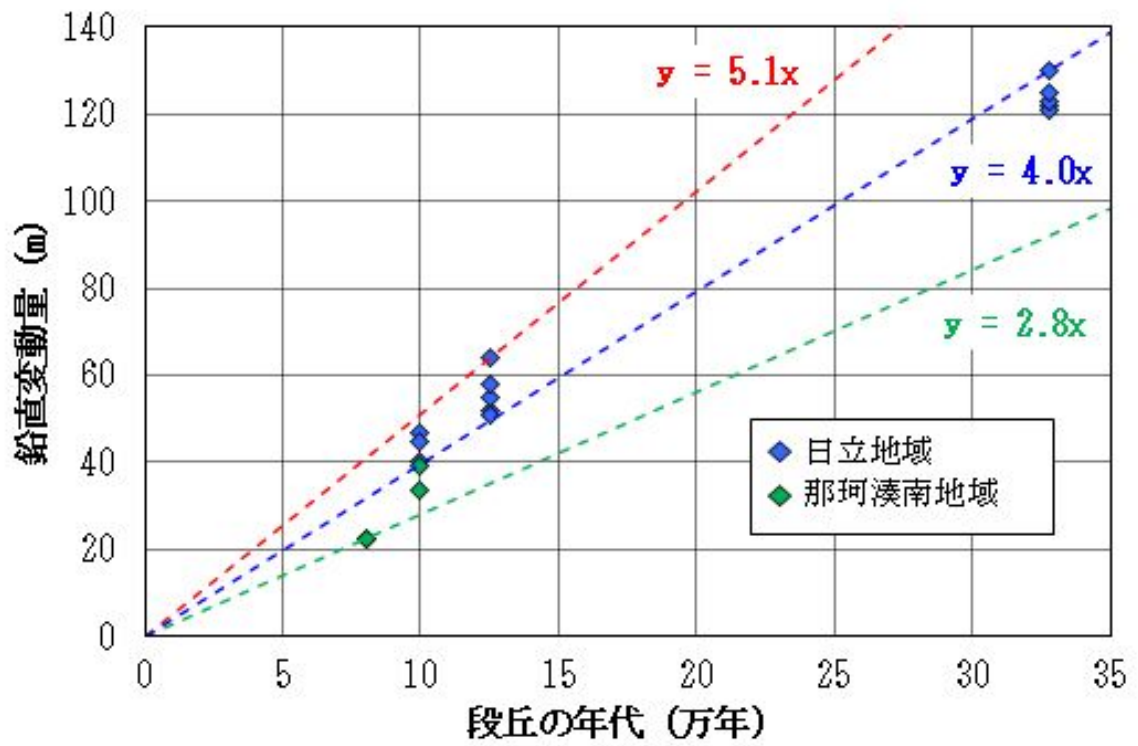
$$\text{隆起速度} = (\text{旧汀線標高} - \text{段丘面形成時の海水準} - \text{風成層層厚}) \\ \text{／段丘面形成年代}$$

i. 最も可能性が高い設定

敷地周辺の海成段丘面分布を第 5 図に、敷地周辺における段丘面の標高・年代・被覆層厚及び変動量を第 3 表に示す。最も可能性が高い設定における隆起速度は、敷地周辺における段丘面の標高と年代から推定される隆起速度の平均値から算出する。

ii. 最も厳しい設定

最も厳しい設定においては、隆起速度が速い方が河川の河口での侵食基準面の低下が速くなり、河食がより速く進むことを考慮する。したがって、最も厳しい設定における隆起速度は、敷地周辺における段丘面の標高と年代から推定される隆起速度の最大値も考慮して保守的に設定する。



第4図 日本の海成段丘アトラスから算出した隆起速度



小池・町田 (2001) ⁽⁶⁾ に加筆

第5図 敷地周辺の海成段丘面区分

第3表 敷地周辺の段丘面の標高、年代、被覆層厚、運動量

(1/2) (日立地域)

地域名	地点番号	地点		変動基準			変動基準 の年代 (万年)	海水準 高度 (m)	垂直 変動量 (m)	垂直変動 速度 (m/万年)	文献	
		標高 (m)	精度	種類	被覆層の厚さ (m)	高度 (m)						
日立地域	1	127	C	mI ₃ の旧汀線アングル	不明	127	32.8	5	122	3.7	鈴木	(1987MS)
	2	135	C	mI ₃ の旧汀線アングル	不明	135	32.8	5	130	4	鈴木	(1987MS)
	3	126	C	mI ₃ の旧汀線アングル	不明	126	32.8	5	121	3.7	鈴木	(1987MS)
	4	128	C	mI ₃ の旧汀線アングル	不明	128	32.8	5	123	3.8	鈴木	(1987MS)
	5	130	C	mI ₃ の旧汀線アングル	不明	130	32.8	5	125	3.8	鈴木	(1987MS)
	6	58	A	mI _{5c} の旧汀線アングル	1	57	12.5	5	52	4.2	鈴木	(1989)
	7	60	B	mI _{5c} の旧汀線アングル	不明	60	12.5	5	55	4.4	鈴木	(1987MS)
	8	69	B	mI _{5c} の旧汀線アングル	不明	69	12.5	5	64	5.1	鈴木	(1987MS)
	9	63	B	mI _{5c} の旧汀線アングル	不明	63	12.5	5	58	4.6	鈴木	(1987MS)
	10	59	A	mI _{5c} の旧汀線アングル	3	56	12.5	5	51	4.1	鈴木	(1989)
	11	27	A	mI _{5c} の旧汀線アングル	2	25	10	-15	40	4	Suzuki	(1989)
	12	32	B	mI _{5c} の旧汀線アングル	不明	32	10	-15	47	4.7	鈴木	未公表
	13	30	B	mI _{5c} の旧汀線アングル	不明	30	10	-15	45	4.5	鈴木	未公表

小池・町田 (2001) ⁽⁶⁾

第3表 敷地周辺の段丘面の標高、年代、被覆層厚、運動量

(2/2) (那珂湊南地域)

地域名	地点番号	地点	段丘区分	段丘区分	年代	海水準現在比	被覆層の厚さ (m)	標高 (m)	変動量 (m)	隆起速度 (m/万年)
那珂湊 南地域	14	十三奉行	海成段丘	mT5c	10	-15	4	22.4	33.4	3.3
	15	総合運動公園南 (UM)	海成-河成段丘	mT5c-fT5c	10	-15	4	28.3	39.3	3.9
	16	ひたちなか市中根 (HN)	河成段丘	FT5a	8		3	22.5	22.5	2.8

段丘区分、年代及び海水準現在比は小池・町田 (2001) ⁽⁶⁾ を参照

(b) 隆起速度の状態設定

隆起速度の状態設定結果を第4表に示す。

i. 最も可能性が高い設定

敷地周辺における段丘面の標高と年代から推定される隆起速度の
平均値から計算すると4.0 m/万年である。

ii. 最も厳しい設定

敷地周辺の隆起速度は、2.8 m/万年～5.1 m/万年の範囲となるた
め、敷地周辺の隆起速度のばらつきを考慮し、隆起速度が最も大きい
5.1 m/万年を用いて保守的に5.5 m/万年を最も厳しい設定とする。

第4表 隆起速度の状態設定値

ケース	隆起速度 (m/万年)
最も可能性が高い設定	4.0
最も厳しい設定	5.5

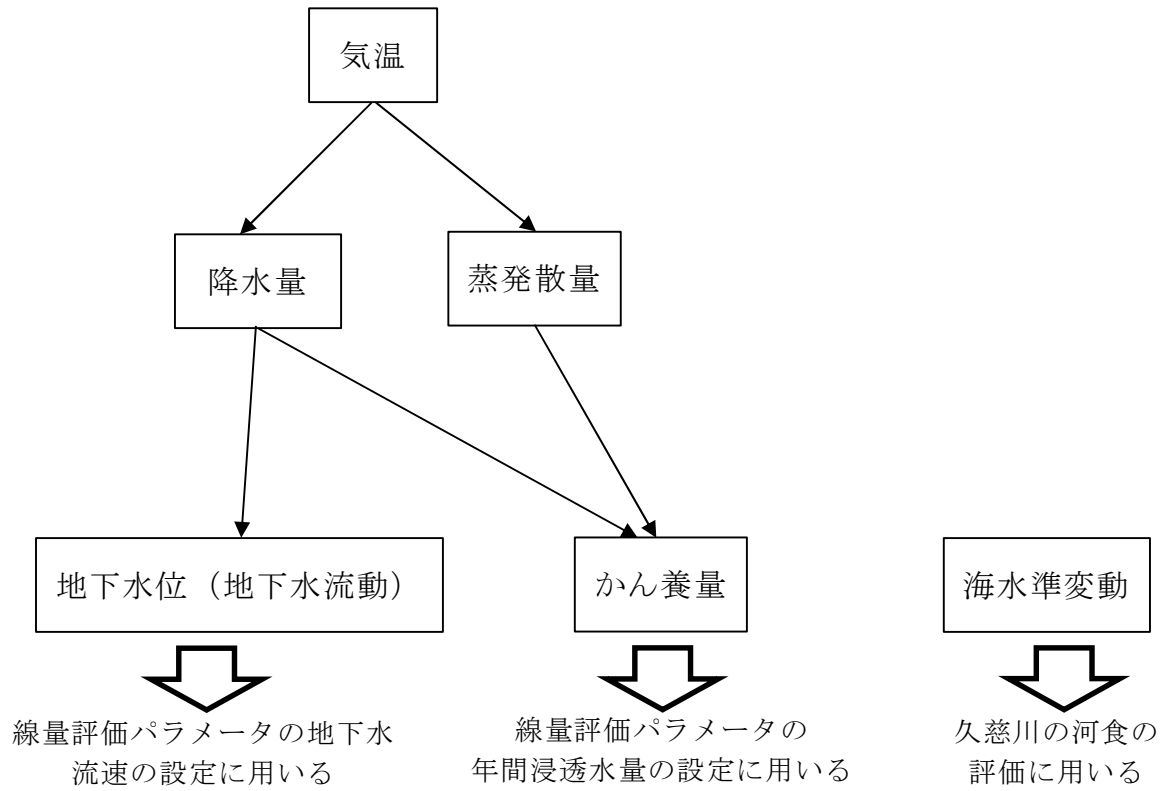
3. 2 気候変動に起因する事象

気候変動は、数十万年前から現在まで約 8 万年周期から約 12 万年周期で氷期と間氷期を繰り返していることから⁽⁷⁾⁽⁸⁾、大局的には将来もこの周期の気候変動を繰り返すと考えられる。過去の気候変動の傾向から、今後氷期へ向かうと考えられることから^{(9)～(11)}、将来は寒冷化すると予測される。

一方で、人間活動に伴う温室効果ガス排出により、温暖化が進行する可能性があるとする報告や、現在の温室効果ガス濃度を基準として、炭素循環のメカニズムを仮定した気候シミュレーションにより、将来 5 万年程度は温暖期が継続する可能性があるとする報告もある^{(7)(12)～(17)}。

以上より気候変動に起因する事象に係る長期変動事象の状態設定については、過去の気候変動と同様に現在から寒冷化に向かう場合（以下「寒冷化ケース」という。）と温暖期が数万年程度継続する場合（以下「温暖期継続ケース」という。）の 2 ケースに大別し、これらの 2 ケースについて、それぞれ「気温」、「降水量」、「地下水位（地下水流動）」、「蒸発散量」、「かん養量」及び「海水準変動」を長期変動事象として考慮する。

気候変動に起因する事象の相互の関連を第 6 図に示す。「気温」は「降水量」と「蒸発散量」の設定に用いる。「降水量」は「地下水位（地下水流動）」と「かん養量」の設定に用いる。「蒸発散量」は「かん養量」の設定に用いる。「地下水位（地下水流動）」では、「地下水位」は「動水勾配」の設定に用いられ、「動水勾配」から「地下水流速」を設定し、「地下水流速」は線量評価パラメータとなる。「かん養量」は線量評価パラメータの年間浸透水量の設定に影響する。「海水準変動」は後述する侵食において久慈川の河食の評価に用いる。



第6図 気候変動に起因する事象の相互の関連

気候変動に起因する事象の状態設定においては、評価等に使用する「地下水流速」、「かん養量」及び「海水準変動」の状態設定値が保守的となるように、寒冷化ケース又は温暖期継続ケースもしくは寒冷化ケースと温暖期継続ケースの両方について状態設定を行う。

寒冷化ケースでは気温低下に伴い、降水量、地下水流速、蒸発散量、かん養量及び海水準変動の状態設定値は減少する。また、温暖期継続ケースでは気温上昇に伴い、降水量、地下水流速、蒸発散量、かん養量及び海水準変動の状態設定値は増加する。

「地下水位（地下水流動）」の状態設定については、地下水流速が低下して地下水での希釈水量が減り、地下水中の放射性物質の濃度が上がることで被ばく線量が大きくなることを考慮して、地下水流速が低下する寒冷化ケースを状態設定の対象とする。また、地下水流速の設定に用いる降水量及び降水量の設定に用いる気温について、地下水流速と同様に寒冷化ケースの状態設定を行う。

「かん養量」の状態設定については、かん養量が多くなると廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出量が増加することを考慮して、かん養量が多くなる温暖期継続ケースを状態設定の対象とする。温暖期継続ケースのかん養量の設定において、蒸発散量の増加はかん養量を減少させる方向に働くが、「(5) かん養量」にて後述するように、温暖期継続ケースの方が寒冷化ケースよりもかん養量が多くなる。また、かん養量の設定に用いる降水量及び蒸発散量並びに降水量の設定に用いる気温について、かん養量と同様に温暖期継続ケースの状態設定を行う。なお、廃棄物埋設地直上を対象としたかん養量については、廃棄物埋設施設の設計を踏まえて別途設定する。

「海水準変動」の状態設定については、海水準の低下量が大きいほど侵食基準面が変化することによる河食への影響が大きいことを考慮して、寒冷化ケースを状態設定の対象とする。なお、海水準変動に関連するパラメータは「廃棄

物理設地下流端から海までの距離」があるが、「(6) 海水準変動」にて後述するように、海水準変動はパラメータの設定には影響ない。

気候変動に起因する事象の寒冷化ケース及び温暖期継続ケースの設定を第5表に示す。

第5表 気候変動に起因する事象の寒冷化ケース及び温暖期継続ケースの設定

事象 ケース	気温	降水量	地下水位 (地下水流動)	蒸発 散量	かん 養量	海水準 変動
寒冷化 ケース	○	○	○	—	—	○
温暖期継続 ケース	○	○	—	○	○	—

○：状態設定の対象， —：状態設定の対象外

(1) 気温

気温変化は、廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、気温の変化に伴い降水量、地下水位（地下水流動）、蒸発散量及びかん養量に影響する可能性があることから、気温変化を長期変動事象として考慮し、将来の気温を設定する。

a. 気温の設定に関する考え方

将来の気温変化については、南極氷床コアの水素同位体比を用いた過去の気温の推定に関する知見⁽⁷⁾⁽¹²⁾及び人間活動による温室効果ガス濃度を考慮した気温変動予測結果に基づいて設定する。

(a) 寒冷化ケース

以下のとおり、地下水位（地下水流動）を考慮して、寒冷化ケースの状態設定を行う。

E P I C A (2004)⁽⁷⁾に示される過去約45万年間の氷床コアの同位体比に基づく気温変動曲線を第7図に示す。氷床コアの同位体比の変動を気温変動の指標とし、過去4回の気温変動（氷期及び間氷期の繰返し）の間氷期最盛期のピークを基準として重ね合わせ、亜氷期までの時間及び気温変動割合を設定する。気温変動割合は、第7図に示した変動曲線において、現在を0とし、氷期最盛期を100としたときの気温の変動割合を示す。

将来の気温は、気温変動割合及び氷期最盛期の気温から設定することとし、氷期最盛期の気温は、吉田他(2011)⁽¹⁸⁾の茨城県花室川における花粉分析結果及び松末他(2000)⁽¹⁹⁾の暖かさの指数を用いて推定された最終氷期最盛期の気温から設定する。

気温は降水量と正の相関関係がある⁽²⁰⁾。また、「(3) 地下水位 (地下水流動)」のとおり、降水量と地下水位及び地下水位と地下水流速は、それぞれ正の相関関係がある。地下水流速は、廃棄物埋設地から漏出した放射性物質の地下水での希釈水量に関係し、地下水流速が低下するほど希釈水量は少なくなる。希釈水量が少なくなると、地下水中の放射性物質の濃度が上がり、地下水中の放射性物質の濃度を用いて評価する被ばく経路の被ばく線量が大きくなる。なお、1,000年後の降水量の変化は少なく、地形は現状とほぼ同様と考えられるため、地下水の流向は変わらない。

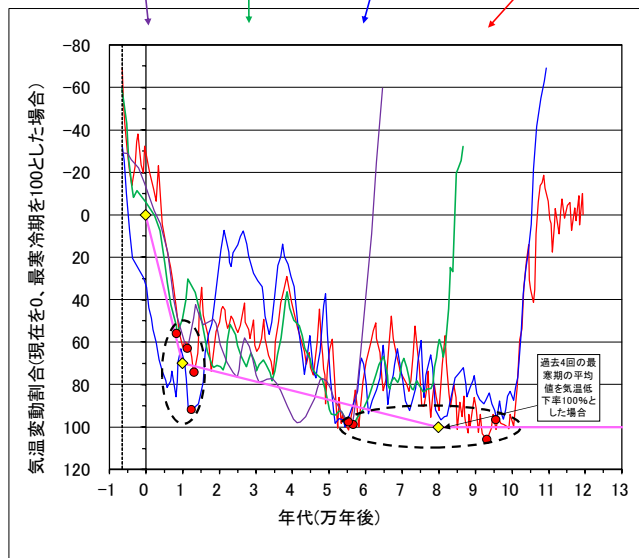
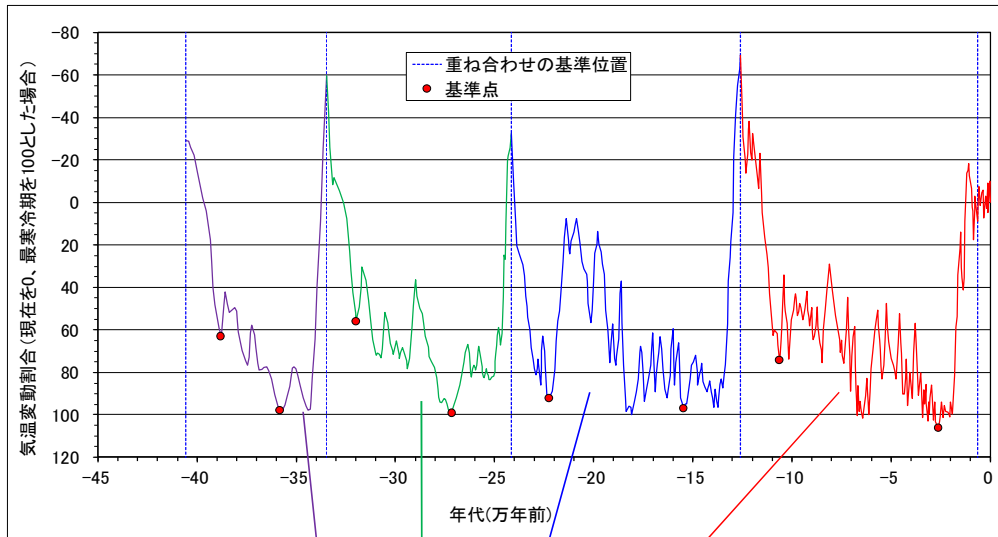
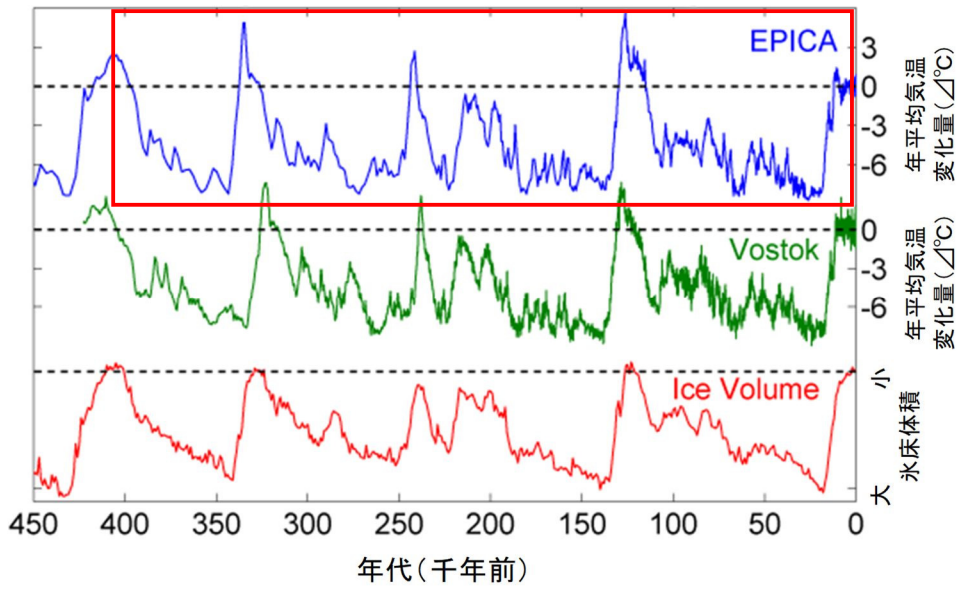
以上より、気温及び降水量は低いほど保守的な設定となる。一方で、降水量の推定そのものにも不確かさがある。

希釈水量の設定の観点で、気温変動の不確かさと、気温と降水量の相関性の不確かさを考慮するが、気温と降水量の相関性においては降水量の設定で後述するように一定程度の統計的な不確かさの情報が得られることから、将来の気温の設定は、最も可能性が高い設定と最も厳しい設定では同一とする。

(b) 温暖期継続ケース

以下のとおり、かん養量を考慮して、温暖期継続ケースの状態設定を行う。

人間活動による影響を考慮した IPCC (2021)⁽¹⁵⁾による温暖化の知見及び過去 30 年間の敷地周辺の年平均気温を考慮して設定する。気温変動の不確かさと、気温と降水量の相関性の不確かさを考慮するが、気温と降水量の相関性においては降水量の設定で後述するように一定程度の統計的な不確かさの情報が得られることから、将来の気温の設定は、最も可能性が高い設定と最も厳しい設定では同一とする。



EPICA (2004) ⁽⁷⁾ に基づく

第7図 過去の気候変動曲線と重ね合わせ

(c) 最も可能性が高い設定

i. 寒冷化ケース

寒冷化ケースにおいては、氷期最盛期の年平均気温から求めた気温変動割合を用いて将来の気温を設定する。氷期最盛期に至るまでの気温変化については、過去約 45 万年間の連続的なデータが取得されている南極氷床コアの水素同位体比⁽⁷⁾に基づいて整理された年平均気温の変化量の変動グラフを用いて設定する。将来の気温の変動曲線を第 8 図に示す。同図から、最も可能性が高い設定では約 8 万年後に氷期最盛期になると想定する。

将来の亜氷期までの時間は、過去 4 回の間氷期最盛期から亜氷期及び氷期最盛期までの時間の平均値から 10,000 年と設定する。

現在の年平均気温は、水戸地方気象台の観測値(1991 年～2020 年)の平均値とする。

将来の氷期最盛期の気温は、吉田他(2011)⁽¹⁸⁾における茨城県の花室川における花粉分析結果及び松末他(2000)⁽¹⁹⁾の暖かさの指数に基づくと、年平均気温は -0.6°C ～ 3.6°C となるが、**廃棄物**埋設地付近が亜寒帯針葉樹林群集と冷温帯～亜寒帯針葉樹林群集の境界付近であったとすると、亜寒帯針葉樹林群集と冷温帯～亜寒帯針葉樹林群集の閾値である暖かさの指数 46 (月・ $^{\circ}\text{C}$) が妥当と判断される。このため、暖かさの指数の 46 (月・ $^{\circ}\text{C}$) を用いて設定する。

また、将来の亜氷期の気温は、過去 4 回の亜氷期における気温変動割合の平均値から設定する。

1,000 年後の気温は、現在から亜氷期までの時間及び気温変動割合の平均値を結んだ直線を用いて求める。

ii. 温暖期継続ケース

温暖期継続ケースにおいては、初期に人間活動により温度が上昇し、その後一定となり、温暖期がその後継続すると想定する。

温暖期継続ケースの気温は、人間活動による影響を考慮した IPCC (2021) ⁽¹⁵⁾ による温暖化の知見及び過去 30 年間の敷地周辺の年平均気温を考慮して設定する。

(d) 最も厳しい設定

i. 寒冷化ケース

将来の気温の変動曲線を第 9 図に示す。同図から、最も厳しい設定では約 6 万年後に氷期最盛期になると想定する。

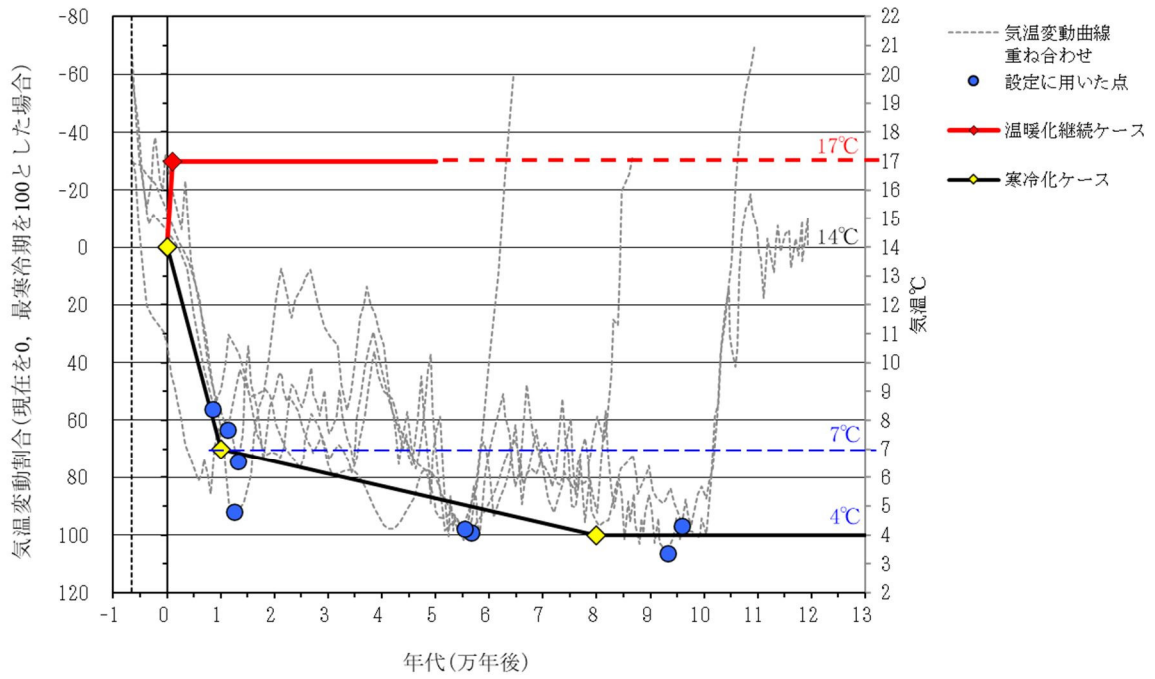
気温は低下量が大きく、低下時期が早いほど保守的な設定となるため、最も厳しい設定における将来の亜氷期までの時間は、過去 4 回の間氷期最盛期から亜氷期までの時間の最短値から設定する。

最も厳しい設定における現在の年平均気温及び将来の氷期最盛期の気温は、後述する気温と降水量の相関性の不確かさを考慮した方が希釈水量は少なくなるため、最も厳しい設定には最も可能性が高い設定の気温を用いる。また、将来の亜氷期の気温は、気温の低下量が大きいほど保守的となるため、過去 4 回の亜氷期における気温変動割合の最大値から設定する。

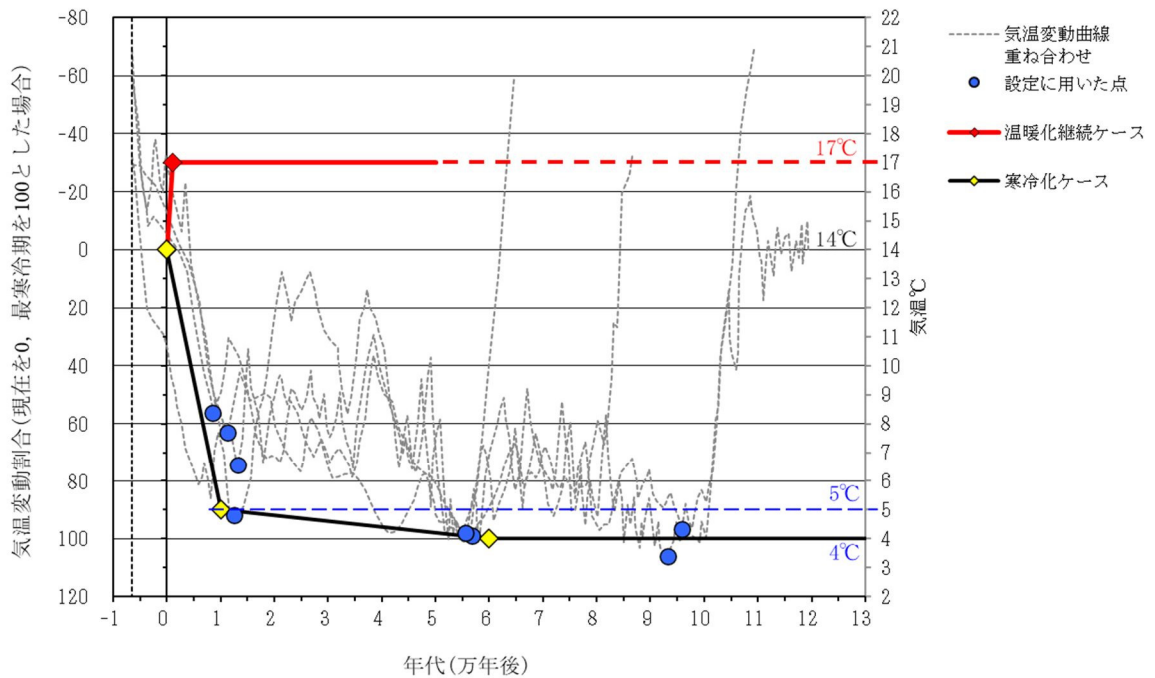
1,000 年後の気温は、現在から亜氷期までの時間の最短値及び気温変動割合の最大値を結んだ直線を用いて求める。

ii. 温暖期継続ケース

後述する降水量の状態設定における気温と降水量の相関関係において、不確かさを考慮した方がかん養量は多くなることから、最も可能性が高い設定の気温を用いる。



第 8 図 将来の気温の変動曲線（最も可能性が高い設定）



第 9 図 将来の気温の変動曲線（最も厳しい設定）

b. 気温変化

(a) 最も可能性が高い設定

i. 寒冷化ケース

最も可能性が高い設定における現在の年平均気温は、水戸地方気象台の観測値（1991年～2020年）の平均値である14℃とする。

吉田他（2011）^{（18）}及び松末他（2000）^{（19）}に基づき、廃棄物埋設地が亜寒帯針葉樹林群衆と冷温帯～亜寒帯針葉樹林群衆の境界付近であると想定し、亜寒帯針葉樹林群衆と冷温帯～亜寒帯針葉樹林群衆の閾値である暖かさ指数46（月・℃）を用いて最終氷期最盛期の年平均気温を推定すると、3.6℃であった（第10図参照）。このことから、将来の氷期最盛期の年平均気温は4℃とする。

現在から氷期最盛期への気温の変化率を100%とすると、最初の亜氷期における気温低下は氷期最盛期の約70%にあたるため、亜氷期までの10,000年後までに70%の気温低下が起こると想定した。

10,000年後の亜氷期の気温は、現在の気温（14℃）及び氷期最盛期（4℃）から気温変動割合（70%）を考慮し、7℃となる。

1,000年後の気温は、現在の気温（14℃）から10,000年後の亜氷期における気温（7℃）の変化率を考慮して、13.3℃となることから13℃と設定する。

ii. 温暖期継続ケース

核燃料サイクル開発機構（1999）^{（21）}では、日本海側及び中日本気候区の例で6,000年前頃（HT期に相当）には、+2℃～+3℃に達したとされている。また、IPCC（2021）^{（15）}にて、「温室効果ガスの抑制のための気候政策を導入するが、2030年までの各国の自国決定貢献（NDC）の排出量の上限とするシナリオ（SSP2-4.5）」では、

最良推定値が 2.7℃である（第 6 表参照）。

よって、過去 30 年間の敷地周辺の年平均気温である 14℃に、気温の上昇値として保守的に 3℃を加えた 17℃を最も可能性が高い設定とする。

(b) 最も厳しい設定

i. 寒冷化ケース

最も厳しい設定における現在の年平均気温は、水戸地方気象台の観測値(1991 年～2020 年)の年平均気温の最低値である 13℃となるが、降水量の不確かさを考慮した方が希積水量は少なくなるため、最も可能性が高い設定の 14℃と設定する。

将来の氷期最盛期の年平均気温の最も厳しい設定は、松末他(2000)⁽¹⁹⁾における現在と過去の氷期の気温差の最大値が約 13℃であったことから、敷地周辺における 1991 年～2020 年の年平均気温の最低値である 13℃から現在と過去の氷期の気温差の最大値 13℃を低下させると 0℃となる。しかし、氷期最盛期は主な評価対象期間より 10,000 年以上先であること、降水量の状態設定においては気温と降水量の相関関係の不確かさを考慮することから、最も可能性が高い設定の気温である 4℃と設定する。

現在から氷期最盛期への気温の変化率を 100%とすると、最初の亜氷期における気温低下は氷期最盛期の約 90%にあたるため、亜氷期までの 10,000 年後までに 90%の気温低下が起こると想定した。

10,000 年後の亜氷期の気温は、現在の気温(14℃)及び氷期最盛期(4℃)からの気温変動割合(90%)を考慮し、5℃となる。

1,000 年後の気温は、現在の気温(14℃)から 10,000 年後の亜氷期における気温(5℃)の変化率を考慮して、13.1℃となることから 13℃

と設定する。

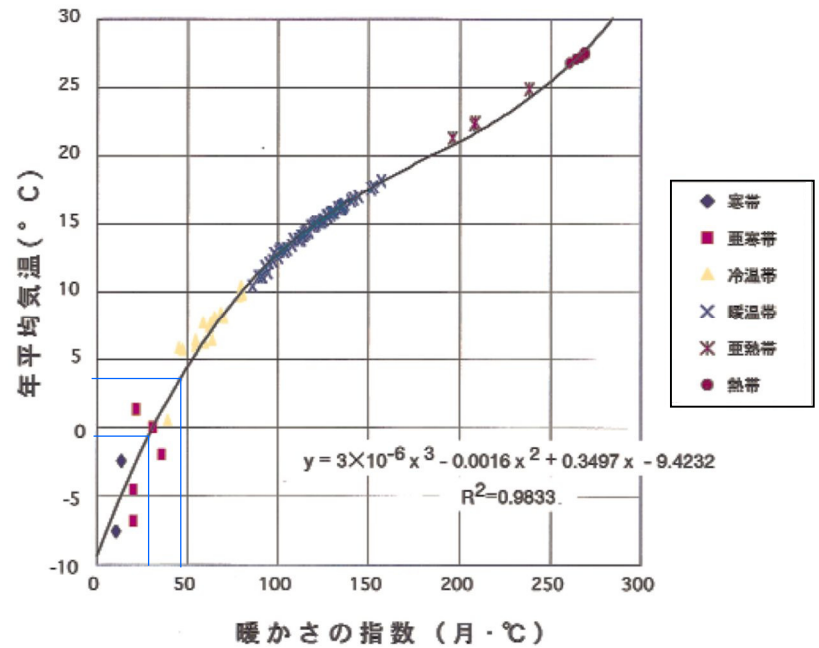
ii. 温暖期継続ケース

かん養量の観点から保守的となるよう、気温変動の不確かさと気温と降水量の相関性の不確かさを踏まえて設定する。

気温変動の不確かさを考慮する場合、「温室効果ガスの抑制のための気候政策を導入するが、2030年までの各国の自国決定貢献(NDC)の排出量の上限とするシナリオ(SSP2-4.5)」(IPCC(2021)⁽¹⁵⁾)において最高値が3.5℃であるため(第6表参照)、1,000年後の気温の上昇値を保守的に4℃とし、過去30年間の水戸地方気象台の年平均気温である14℃に気温上昇4℃を加えると18℃となる。

しかし、降水量の設定で後述するように、気温と降水量の相関性の不確かさを考慮した方がかん養量は多くなる。このため、気温の状態設定においては、気温変動の不確かさは考慮せず、最も可能性が高い設定と同様に17℃とする。

暖かさ指数	氷期最盛期 年平均気温 ①
月・℃	℃
29.0	-0.6
46.0	3.6



松末他 (2000) ⁽¹⁹⁾ に加筆

第 10 図 暖かさの指数と平均気温の関係

第 6 表 2100 年までの世界平均気温の上昇

シナリオ	短期、2021～2040 年		中期、2041～2060 年		長期、2081～2100 年	
	最良推定値 (°C)	可能性が非常に 高い範囲 (°C)	最良推定値 (°C)	可能性が非常に 高い範囲 (°C)	最良推定値 (°C)	可能性が非常に 高い範囲 (°C)
SSP1-1.9	1.5	1.2 - 1.7	1.6	1.2 - 2.0	1.4	1.0 - 1.8
SSP1-2.6	1.5	1.2 - 1.8	1.7	1.3 - 2.2	1.8	1.3 - 2.4
SSP2-4.5	1.5	1.2 - 1.8	2.0	1.6 - 2.5	2.7	2.1 - 3.5
SSP3-7.0	1.5	1.2 - 1.8	2.1	1.7 - 2.6	3.6	2.8 - 4.6
SSP5-8.5	1.6	1.3 - 1.9	2.4	1.9 - 3.0	4.4	3.3 - 5.7

※1850 年～1900 年の世界平均気温との対比

I P C C (2021) ⁽¹⁵⁾

c. 気温の状態設定

上記の現在及び氷期最盛期の気温並びに気温の変動曲線を踏まえ、最も可能性が高い設定及び最も厳しい設定において、寒冷化ケースにおける1,000年後の気温を13℃と設定する。

また、最も可能性が高い設定及び最も厳しい設定において、温暖期継続ケースにおける1,000年後の気温を17℃と設定する。

気温の状態設定結果を第7表に示す。

第7表 気温の状態設定値

ケース		モデル化時期	気温 (°C)
寒冷化ケース	最も可能性が高い設定	1,000 年後	13
	最も厳しい設定	1,000 年後	13
温暖期継続ケース	最も可能性が高い設定	1,000 年後	17
	最も厳しい設定	1,000 年後	17

(2) 降水量

降水量の変化は廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、降水量の変化により、かん養量及び地下水位（地下水流動）に影響する可能性があることから、降水量の変化を長期変動事象として考慮し、将来の降水量を設定する。

a. 降水量の設定に関する考え方

気温と降水量との関係には、正の相関がある⁽²⁰⁾。また、地形等の気候因子も降水量と相関がある。したがって、敷地周辺と地形等が類似した地点のデータを用いることで、その影響を除けば、気温と降水量との相関関係が求められる。そこで、将来の降水量の設定に当たっては、敷地周辺と気候因子が類似する地点の気温と降水量の関係に基づき、将来の気温に対応する降水量を設定する。将来の気温は、「(1) c. 気温の状態設定」で設定した値を用いる。

敷地周辺の水戸地方気象台と気候因子が類似する地点の現在の気温と降水量の関係を求める。

気象庁のホームページから過去 30 年間（1991 年～2020 年）における 63 地点（北海道：27 地点，青森県：6 地点，岩手県：8 地点，宮城県：7 地点，福島県：4 地点，茨城県：5 地点，千葉県：6 地点）のデータを収集し、水戸地方気象台の観測地点と地形的に大きく異なる地点を排除した。

気候因子が類似する地点の判断に使用した項目は以下のとおりである。

- ① 東日本の太平洋側からオホーツク海側に位置すること。
- ② アリソフの気候区分が寒帯～温帯であること。
- ③ 陸度（半径 50 km 円内の陸域の占める割合）が $1/10 \sim 9/10$ であること。
- ④ 開放度（半径 15 km 円内で対象地点より標高が 200 m 以上高い範囲を

除く角度) が 240° ～ 360° であること。

上記条件で抽出された 41 地点の年平均気温と年降水量を整理し (第 8 表参照), 41 地点の年平均気温と年降水量の関係 (第 11 図参照) を指数回帰式で表した。

気象データは, 1991 年～2020 年の 30 年間の平年値データを使用する。平年値を用いた理由は, 平年値がその時々々の気象や天候を評価する基準として利用され, その地点の気候を表す値として用いられること, 局地的な短期変動が除去できるなど平均値としての安定性・均質性が考慮されているためである。

(a) 最も可能性が高い設定

41 地点の気温と年降水量の関係は指数回帰式 (第 11 図の中央の近似曲線) で表されることから, 最も可能性が高い設定においてはこの指数回帰式を用いて設定する。

(b) 最も厳しい設定

最も厳しい設定においては, 気温と降水量の関係のばらつきを考慮し, 寒冷化ケースにおいては希釈水量が少なくなるように, 気温と降水量の下限値 (第 11 図の下側の近似曲線) の指数回帰式を, また, 温暖期継続ケースにおいてはかん養量が多くなるように気温と降水量の上限値の指数回帰式 (第 11 図の上側の近似曲線) を, それぞれ用いて設定する。

b. 降水量の変化

(a) 最も可能性が高い設定

i. 寒冷化ケース

寒冷化ケースの将来の降水量は, 第 11 図に示す指数回帰式 (中央)

及び最も可能性が高い設定における気温の状態設定値(13.3℃)から、1,000年後に1,410 mm/yと設定する。

ii. 温暖期継続ケース

温暖期継続ケースの将来の降水量は、第11図に示す指数回帰式(中央)及び最も可能性が高い設定における気温の状態設定値(17℃)から、1,000年後に1,660 mm/yと設定する。

(b) 最も厳しい設定

i. 寒冷化ケース

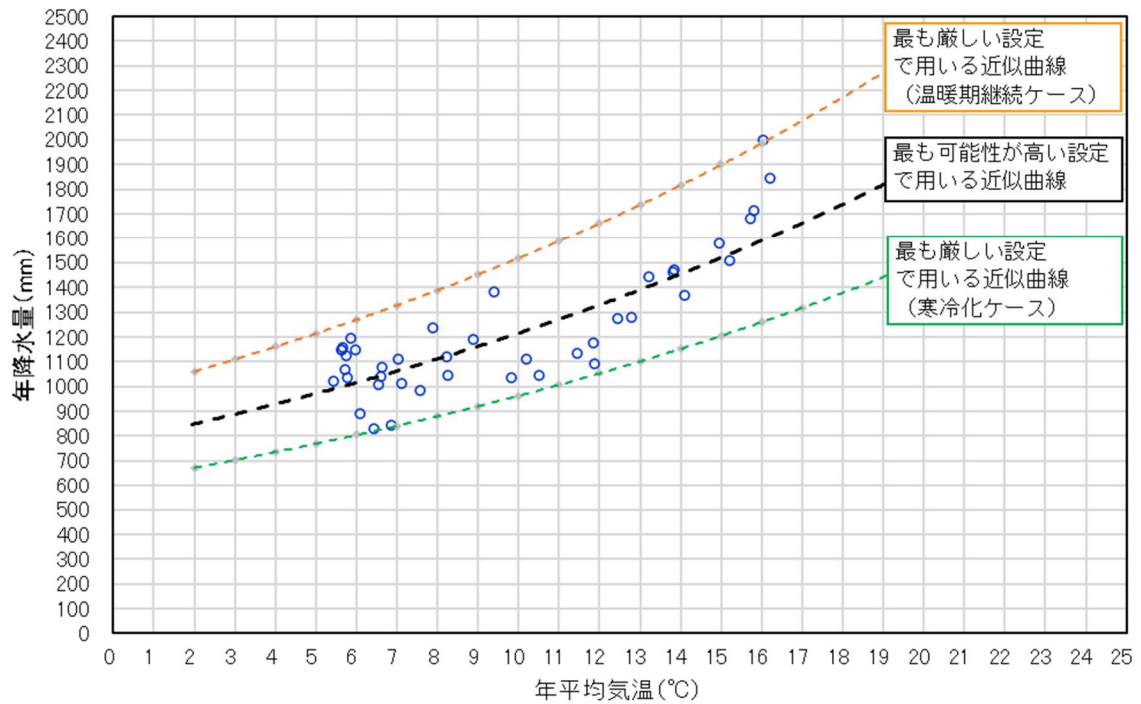
寒冷化ケースの将来の降水量は、第11図に示す指数回帰式(下側)及び最も厳しい設定における気温の状態設定値(13.1℃)から、1,000年後に1,110 mm/yと設定する。

ii. 温暖期継続ケース

温暖期継続ケースの将来の降水量は、第11図に示す指数回帰式(上側)及び最も厳しい設定における気温の状態設定値(17℃)から、1,000年後に2,080 mm/yと設定する。

第8表 敷地周辺と類似する気候因子を持つ地点の気温と降水量

	地点	年平均気温(°C)	年降水量(mm/y)
1	北海道 宗谷岬	6.4	827.8
2	北海道 稚内	7.0	1109.2
3	北海道 網走	6.9	844.2
4	北海道 標津	5.6	1148.0
5	北海道 別海	6.0	1148.4
6	北海道 根室	6.6	1040.4
7	北海道 厚床	5.7	1158.8
8	北海道 榊町	5.8	1035.2
9	北海道 太田	5.9	1195.2
10	北海道 白糖	5.8	1124.8
11	北海道 釧路	6.6	1080.1
12	北海道 池田	6.1	890.9
13	北海道 浦幌	6.5	1005.9
14	北海道 糠内	5.4	1022.9
15	北海道 大津	5.7	1066.2
16	北海道 大樹	5.6	1146.0
17	北海道 苫小牧	7.9	1239.2
18	北海道 鷓川	7.1	1010.6
19	北海道 室蘭	8.9	1188.9
20	北海道 日高門別	7.6	983.7
21	北海道 静内	8.3	1043.3
22	北海道 浦河	8.2	1118.3
23	青森県 六ヶ所	9.4	1383.3
24	青森県 三沢	10.2	1110.2
25	青森県 十和田	9.8	1038.0
26	青森県 八戸	10.5	1045.1
27	宮城県 鹿島台	11.4	1134.5
28	宮城県 石巻	11.9	1091.3
29	宮城県 塩釜	11.8	1175.0
30	宮城県 仙台	12.8	1276.7
31	宮城県 亘理	12.4	1272.2
32	福島県 小名浜	13.8	1461.2
33	茨城県 北茨城	13.2	1444.3
34	茨城県 水戸	14.1	1367.7
35	茨城県 鉾田	13.8	1468.5
36	茨城県 鹿嶋	14.9	1576.6
37	千葉県 銚子	15.8	1712.4
38	千葉県 横芝光	15.2	1509.4
39	千葉県 茂原	15.7	1682.4
40	千葉県 勝浦	16.0	1999.2
41	千葉県 館山	16.2	1845.9



第 11 図 敷地周辺と類似する気候因子を持つ地点の気温と年降水量の相関

c. 降水量の状態設定

降水量の状態設定結果を第 9 表に示す。

第 9 表 降水量の状態設定値

ケース		モデル化時 期	気温 (°C)	降水量 (mm/y)
寒冷化ケース	最も可能性が高い設定	1,000 年後	13 [*]	1,410
	最も厳しい設定	1,000 年後	13 [*]	1,110
温暖期継続ケース	最も可能性が高い設定	1,000 年後	17	1,660
	最も厳しい設定	1,000 年後	17	2,080

※：寒冷化ケースにおける降水量の算出において、最も可能性が高い設定及び最も厳しい設定の気温は、それぞれ 13.3°C 及び 13.1°C を用いる。

(3) 地下水位（地下水流動）

地下水位（地下水流動）は廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、地下水位（地下水流動）の変化に伴い地下水流速に影響する可能性がある。地下水流速は、廃棄物埋設地から漏出した放射性物質の地下水での希釈水量に関係し、希釈水量は被ばく線量評価に影響する。このため、地下水位（地下水流動）を長期変動事象として考慮し、将来の地下水位、動水勾配及び地下水流速を設定する。

a. 地下水位、動水勾配及び地下水流速の設定に関する考え方

廃棄物埋設地付近には砂丘砂層が分布しており、廃棄物埋設地は砂丘砂層中に設置される。廃棄物埋設地の周辺を流動する地下水は、敷地の西側に分布する台地から流動してくる地下水と敷地内の降水のかん養が主な供給源となっている。廃棄物埋設地周辺の地下水は、主に難透水層（A c 層）上部にある不圧帯水層（d u 層，A g 2 層）中を西側から東側の海域へ向かって流動していると考えられる。廃棄物埋設地の地下水位は、いずれも廃棄物埋設地底面レベルを上回ったことはない。1,000 年後の将来の地形は現状とほぼ同様と考えられるため、将来においても廃棄物埋設地周辺の地下水は、西側から東側の海域へ向かって流動していると考えられる。

廃棄物埋設地周辺の地下水位観測の結果に基づき、動水勾配及び地下水流速を評価する。

将来の地下水位、動水勾配及び地下水流速の設定においては、降水量に応じて地下水位が変動し、動水勾配及び地下水流速に影響を与えられられる。このため、将来の地下水位、動水勾配及び地下水流速は以下の方法により設定する。

- ① 過去の記録に基づき、12ヶ月間の降水量と廃棄物埋設地直下の平均地下水位の相関を設定する。

② 廃棄物埋設地直下の平均地下水位と、廃棄物埋設地の上流と下流の地下水位から算出した年平均動水勾配の相関を設定する。

③ 将来の降水量の設定に基づき、①及び②で設定した相関を用いて、地下水位、動水勾配及び地下水流速を設定する。

なお、長期の状態設定においては、液状化及び隆起・沈降運動が地下水流動に影響する可能性がある。液状化については、敷地周辺の設置地盤に分布する砂層や砂礫層がほぼ水平成層に分布していることから、液状化に関わる沈下は水平方向にほぼ一様に生じると考えられる。隆起・沈降運動については、敷地周辺の隆起運動が大局的であることから、一様に生じると考えられる。このため、液状化及び隆起運動が地下水流速の設定に影響することはない。

b. 地下水位、動水勾配及び地下水流速の変化

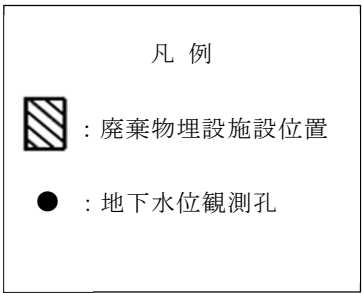
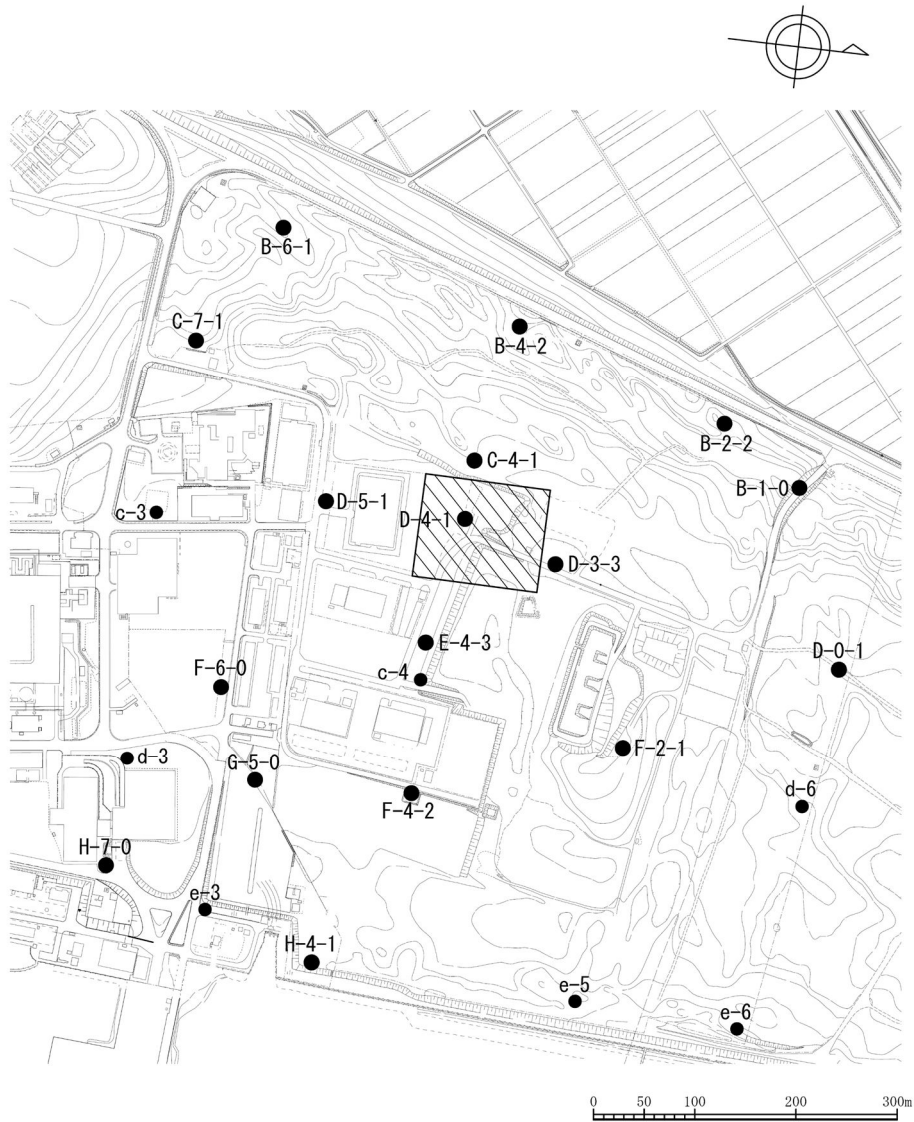
(a) 降水量と地下水位の関係

廃棄物埋設地の周辺を流動する地下水は、敷地の西側に分布する台地から流動してくる地下水と敷地内の降水のかん養が主な供給源となっているため、降水量と地下水位の変動については相関性があると考えられる。

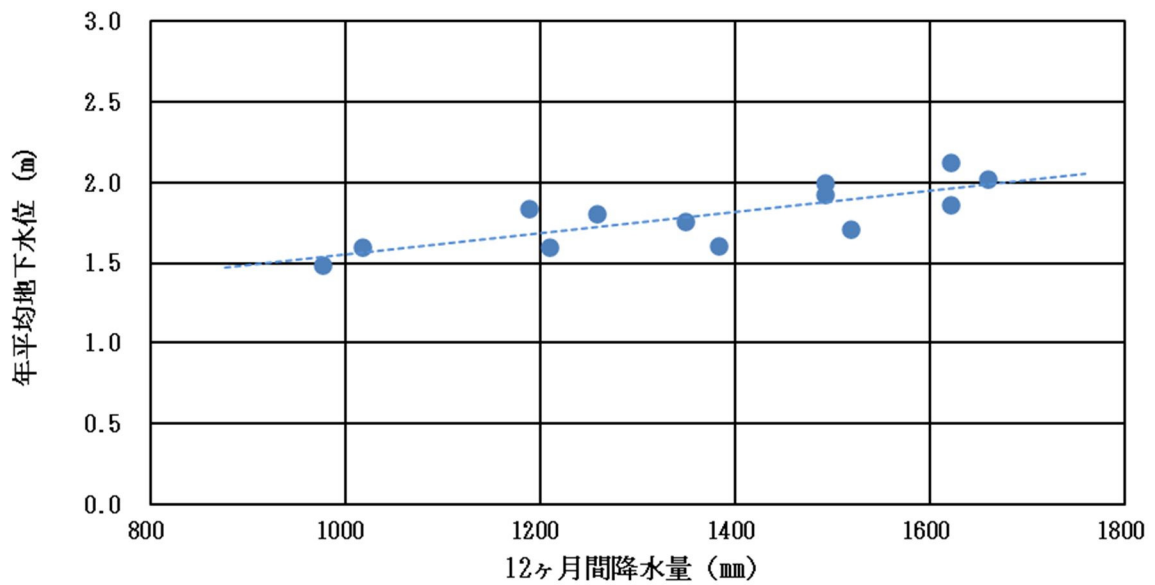
12ヶ月間の降水量と廃棄物埋設地のほぼ中央に位置する地下水位観測孔（D-4-1孔（第12図参照））の12ヶ月間の平均地下水位との相関を設定した。相関の設定においては、12ヶ月間の期間の設定を1ヶ月ずつずらして相関関係を確認し、最も相関がよくなる10月から翌年9月の12ヶ月間の降水量と平均地下水位を用いた。

設定した相関を第13図に、相関の設定に用いた12ヶ月間の降水量と平均地下水位を第10表に示す。

将来の廃棄物埋設地の地下水位は，設定した相関に基づき，「（２）
c．降水量の状態設定」で設定した将来の降水量を用いて設定する。



第 12 図 地下水位観測孔位置図



第 13 図 12 ヶ月間降水量と平均地下水位との相関

第 10 表 相関の設定に用いた 12 ヶ月間降水量と平均地下水位

期間	12ヶ月間降水量 (mm)	D-4-1孔水位(平均) (T.P.m)
2006年10月～2007年9月	1620.0	2.13
2007年10月～2008年9月	1257.5	1.81
2008年10月～2009年9月	1188.0	1.84
2009年10月～2010年9月	1659.0	2.03
2010年10月～2011年9月	1621.0	1.87
2011年10月～2012年9月	1491.5	1.93
2012年10月～2013年9月	1209.0	1.60
2013年10月～2014年9月	1491.5	2.00
2014年10月～2015年9月	1349.0	1.76
2015年10月～2016年9月	1382.5	1.61
2016年10月～2017年9月	1017.0	1.60
2017年10月～2018年9月	1518.5	1.72
2018年10月～2019年9月	976.5	1.49

(b) 地下水位と動水勾配の関係

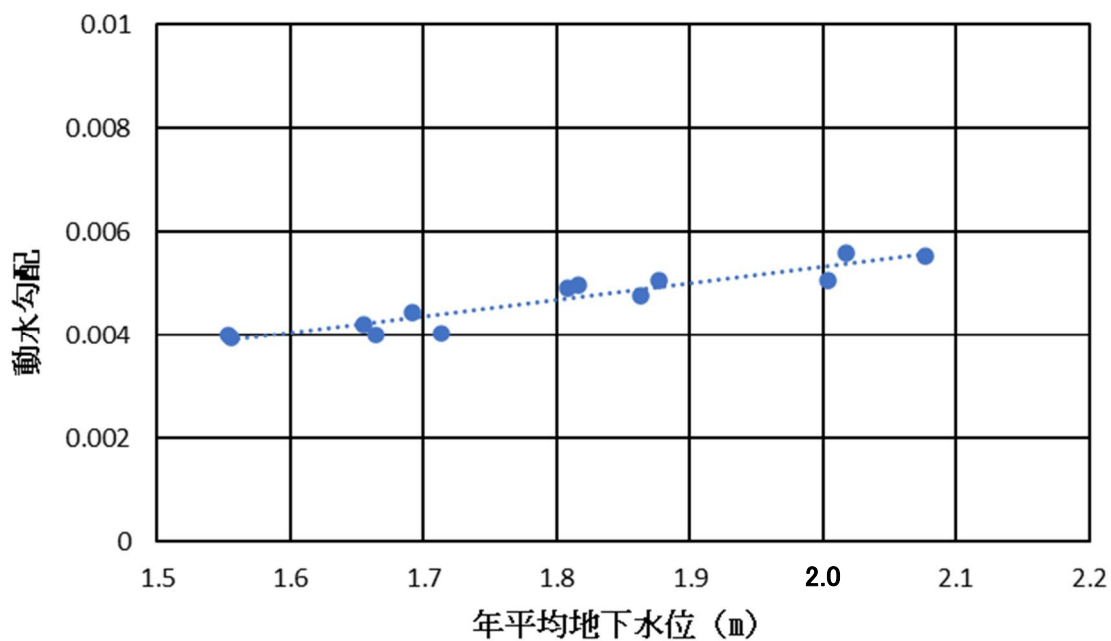
廃棄物埋設地の周辺を流動する地下水は、降水量が供給源となり、廃棄物埋設地の西側から東側の海域へ向かって流動しており、廃棄物埋設地周辺の水収支の状況は、降水量の多少により地下水位が上下するとともに、動水勾配も上下すると考えられる。このため、地下水位と動水勾配の変動については相関があると考えられる。

地下水位観測孔（D-4-1孔）の年平均地下水位と年間の動水勾配との相関を設定した。

年間の動水勾配は、廃棄物埋設地の上流側の地下水位観測孔（C-4-1孔（第12図参照））と下流側の地下水位観測孔（c-4孔（第12図参照））の日々の観測値の水位差を、C-4-1孔からc-4孔間の距離で除して算出し、それらを平均して設定した。

設定した相関を第14図に、相関の設定に用いた年平均地下水位と年間の動水勾配を第11表に示す。

将来の動水勾配は、設定した相関に基づき、「(a) 降水量と地下水位の関係」で設定した将来の地下水位を用いて設定する。



第 14 図 年平均地下水位と年間の動水勾配の相関

第 11 表 相関の設定に用いた年平均地下水位と年間の動水勾配

年	D-4-1孔水位 (平均) (T.P.m)	動水勾配 (平均)
2007	2.02	0.00559
2008	1.82	0.00497
2009	1.88	0.00506
2010	2.08	0.00554
2011	1.81	0.00491
2012	1.86	0.00477
2013	1.65	0.00421
2014	2.00	0.00508
2015	1.71	0.00402
2016	1.66	0.00399
2017	1.56	0.00395
2018	1.69	0.00443
2019	1.55	0.00401

(c) 動水勾配と地下水流速の関係

将来の地下水流速は、「(b) 地下水位と動水勾配の関係」にて算出した動水勾配に、廃棄物埋設地近傍で行った揚水試験で得られた透水係数を用いて、ダルシー流速を算出することで設定する。透水係数は、揚水試験結果の算術平均値 3.23×10^{-2} (cm/s) を用いた。

(d) 最も可能性が高い設定

i. 寒冷化ケース

寒冷化ケースにおける将来の地下水位、動水勾配及び地下水流速は、最も可能性が高い設定における寒冷化ケースの 1,000 年後の降水量の状態設定値から第 12-1 表のとおり設定する。

第 12-1 表 最も可能性が高い設定（寒冷化ケース）の地下水位、

動水勾配及び地下水流速

降水量 (mm)	地下水位 (T.P. m)	動水勾配 (-)	地下水流速 (m/y)
1,410	+1.83	4.77×10^{-3}	48.5

ii. 温暖期継続ケース

温暖期継続ケースにおける将来の地下水位、動水勾配及び地下水流速は、最も可能性が高い設定における温暖期継続ケースの 1,000 年後の降水量の状態設定値から第 12-2 表のとおり設定する。

第 12-2 表 最も可能性が高い設定（温暖期継続ケース）の地下水位，

動水勾配及び地下水流速

降水量 (mm)	地下水位 (T. P. m)	動水勾配 (-)	地下水流速 (m/y)
1,660	+1.99	5.30×10^{-3}	54.0

(e) 最も厳しい設定

i. 寒冷化ケース

寒冷化ケースにおける将来の地下水位，動水勾配及び地下水流速は，最も厳しい設定における寒冷化ケースの 1,000 年後の降水量の状態設定値から第 12-3 表のとおり設定する。

第 12-3 表 最も厳しい設定（寒冷化ケース）の地下水位，

動水勾配及び地下水流速

降水量 (mm)	地下水位 (T. P. m)	動水勾配 (-)	地下水流速 (m/y)
1,110	+1.63	4.12×10^{-3}	42.0

ii. 温暖期継続ケース

温暖期継続ケースにおける将来の地下水位，動水勾配及び地下水流速は，最も厳しい設定における温暖期継続ケースの 1,000 年後の降水量の状態設定値から第 12-4 表のとおり設定する。

第 12-4 表 最も厳しい設定（温暖期継続ケース）の地下水位，
動水勾配及び地下水流速

降水量 (mm)	地下水位 (T. P. m)	動水勾配 (-)	地下水流速 (m/y)
1,320	+1.77	4.57×10^{-3}	46.6

c. 地下水位，動水勾配及び地下水流速の状態設定

地下水位，動水勾配及び地下水流速の状態設定結果を第 13 表に示す。
地下水位，動水勾配及び地下水流速は希釈水量に関連しており，降水量が
少ない方が希釈水量も少なくなるため保守的となる。したがって，地下水
位，動水勾配及び地下水流速の設定値は寒冷化ケースを状態設定の対象と
する。

第 13 表 地下水位，動水勾配及び地下水流速の状態設定値

ケース		モデル化 時期	気温 (°C)	降水量 (mm)	地下水位 (T. P. m)	動水勾配 (-)	地下水 流速 (m/y)
寒冷化 ケース	最も可能 性が高い 設定	1,000 年後	13	1,410	+1.8	4.77×10^{-3}	49
	最も厳し い設定	1,000 年後	13	1,110	+1.6	4.12×10^{-3}	42

(4) 蒸発散量

蒸発散量は、かん養量の設定に必要となるため設定する。

a. 蒸発散量の設定に関する考え方

蒸発散量は、「添付資料1 水理」に基づいて、ソーンズウェイト法⁽²²⁾により求められる(第14表参照)。

ソーンズウェイト法で算出される可能蒸発散量は、一般的には水収支式で求めた蒸発量よりも大きいことから、一般的な補正係数を用いてソーンズウェイト法で算出される可能蒸発散量を補正して蒸発散量を設定する。

可能蒸発散量は植物で完全に覆われた地表面に十分に水分を供給した時の蒸発散量であり、実際の蒸発散量は地表面(土地利用や植生分布等)における経験的係数を可能蒸発散量に乗じて算出されることが多い。本検討における敷地周辺の蒸発散量は、後述するかん養量の設定において保守的に年間浸透水量が多くなるように、日本において用いられることが多い係数0.6~0.7⁽²³⁾より係数0.6を用いて、ソーンズウェイト法で算出される可能蒸発散量に係数0.6を乗じて蒸発散量を設定する。

将来の蒸発散量は、「(2)降水量」に示す敷地周辺と気候因子が類似した41地点の年平均気温から可能蒸発散量を計算し、実蒸発散量と可能蒸発散量の比0.6を用いて、41地点の年平均気温と蒸発散量の関係を得た(第15図参照)。

ここで、蒸発散量の計算に使用する気温は、「(1)c. 気温の状態設定」で求めた1,000年後の気温の状態設定値から設定する。

ここで用いる41地点の年平均気温は、「(2)降水量」の状態設定と同様に、1991年~2020年の気象データの年平均気温である。

41地点の年平均気温と蒸発散量の関係式は、ソーンズウェイト法を用いて可能蒸発散量を算出し、上記で求めた実蒸発散量と可能蒸発散量の比

0.6 を考慮した蒸発散量を用いて作成する（第 15 表及び第 15 図参照）。

将来の蒸発散量は、この関係式から、最も可能性が高い設定又は最も厳しい設定の気温を用いて設定する。

(a) 最も可能性が高い設定

敷地周辺と類似した気候因子を持つ 41 地点の蒸発散量と年平均気温の関係式から、最も可能性が高い設定における将来の気温の状態設定値を用いて設定する。

(b) 最も厳しい設定

敷地周辺と類似した気候因子を持つ 41 地点の蒸発散量と年平均気温の関係式から、最も厳しい設定における将来の気温の状態設定値を用いて設定する。

第 14 表 水戸地方気象台の気温データに基づきソーンズウェイト法
により求めた可能蒸発散量と蒸発散量の設定

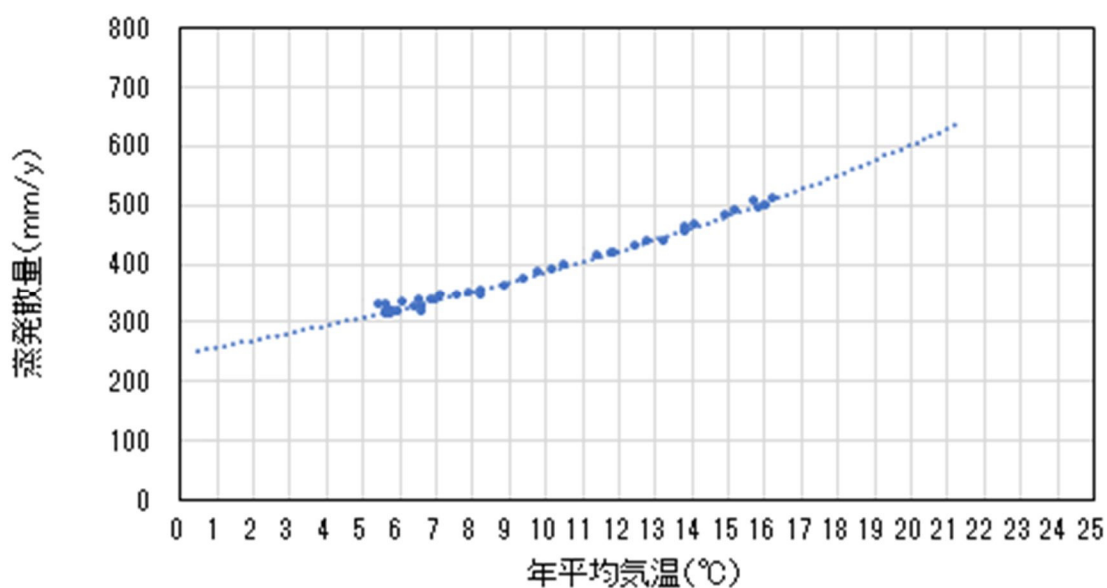
年	年平均気温(°C)	年降水量(mm/y)	可能蒸発散量(mm/y)	蒸発散量(mm/y)※
1991	14.0	1954.5	769.2	461.5
1992	13.5	1327.5	741.6	445.0
1993	12.9	1393.5	714.9	428.9
1994	14.3	1236.5	799.5	479.7
1995	13.6	1254.0	752.9	451.8
1996	13.0	1162.5	728.8	437.3
1997	14.0	1073.5	769.3	461.6
1998	14.1	1663.5	772.3	463.4
1999	14.5	1272.0	806.8	484.1
2000	14.2	1400.0	788.4	473.1
2001	13.7	1243.5	771.5	462.9
2002	14.0	1180.0	775.1	465.0
2003	13.3	1439.0	736.2	441.7
2004	14.4	1406.5	787.7	472.6
2005	13.4	1147.0	757.0	454.2
2006	13.9	1671.5	767.7	460.6
2007	14.4	1367.0	786.4	471.8
2008	13.9	1181.0	762.7	457.6
2009	14.2	1461.0	773.3	464.0
2010	14.5	1530.5	805.6	483.4
2011	14.1	1498.5	788.2	472.9
2012	13.9	1485.5	783.2	469.9
2013	14.3	1338.0	788.4	473.0
2014	14.2	1471.0	785.2	471.1
2015	14.8	1226.5	805.8	483.5
2016	14.8	1426.0	809.4	485.6
2017	14.2	1126.5	787.5	472.5
2018	15.3	1282.5	843.2	505.9
2019	14.9	1391.0	812.6	487.6
2020	15.0	1422.0	813.4	488.1
30年平均	14.1	1367.7	779.5	467.7

※蒸発散量＝可能蒸発散量×0.6

第 15 表 敷地周辺と類似する気候因子を持つ地点の
気象データに基づく年平均気温と蒸発散量の設定

	地点	年平均気温(°C)	年降水量(mm/y)	可能蒸発散量(mm/y)	蒸発散量(mm/y) [※]
1	北海道 宗谷岬	6.4	827.8	543.1	325.9
2	北海道 稚内	7.0	1109.2	561.2	336.7
3	北海道 網走	6.9	844.2	564.2	338.5
4	北海道 標津	5.6	1148.0	530.3	318.2
5	北海道 別海	6.0	1148.4	529.4	317.7
6	北海道 根室	6.6	1040.4	529.9	318.0
7	北海道 厚床	5.7	1158.8	521.5	312.9
8	北海道 榑町	5.8	1035.2	520.0	312.0
9	北海道 太田	5.9	1195.2	528.0	316.8
10	北海道 白糠	5.8	1124.8	527.5	316.5
11	北海道 釧路	6.6	1080.1	543.2	325.9
12	北海道 池田	6.1	890.9	559.7	335.8
13	北海道 浦幌	6.5	1005.9	563.0	337.8
14	北海道 糠内	5.4	1022.9	552.6	331.6
15	北海道 大津	5.7	1066.2	534.1	320.5
16	北海道 大樹	5.6	1146.0	549.0	329.4
17	北海道 苫小牧	7.9	1239.2	582.2	349.3
18	北海道 鷓川	7.1	1010.6	577.3	346.4
19	北海道 室蘭	8.9	1188.9	601.5	360.9
20	北海道 日高門別	7.6	983.7	580.1	348.1
21	北海道 静内	8.3	1043.3	592.4	355.4
22	北海道 浦河	8.2	1118.3	579.7	347.8
23	青森県 六ヶ所	9.4	1383.3	621.3	372.8
24	青森県 三沢	10.2	1110.2	649.8	389.9
25	青森県 十和田	9.8	1038.0	642.9	385.7
26	青森県 八戸	10.5	1045.1	660.8	396.5
27	宮城県 鹿島台	11.4	1134.5	689.4	413.6
28	宮城県 石巻	11.9	1091.3	699.0	419.4
29	宮城県 塩釜	11.8	1175.0	698.1	418.9
30	宮城県 仙台	12.8	1276.7	733.1	439.9
31	宮城県 亘理	12.4	1272.2	717.6	430.6
32	福島県 小名浜	13.8	1461.2	756.1	453.6
33	茨城県 北茨城	13.2	1444.3	732.9	439.7
34	茨城県 水戸	14.1	1367.7	779.5	467.7
35	茨城県 鉾田	13.8	1468.5	768.9	461.3
36	茨城県 鹿嶋	14.9	1576.6	802.2	481.3
37	千葉県 銚子	15.8	1712.4	823.8	494.3
38	千葉県 横芝光	15.2	1509.4	821.6	493.0
39	千葉県 茂原	15.7	1682.4	842.9	505.8
40	千葉県 勝浦	16.0	1999.2	834.2	500.5
41	千葉県 館山	16.2	1845.9	853.7	512.2

※蒸発散量 = 可能蒸発散量 × 0.6



第 15 図 敷地周辺と類似する気候因子を持つ地点の
気温と蒸発散量の関係

b. 蒸発散量の変化

(a) 最も可能性が高い設定

i. 寒冷化ケース

寒冷化ケースの将来の蒸発散量は、第 15 図に示す関係式及び最も可能性が高い設定における寒冷化ケースの気温の状態設定値 (13.3°C) から、1,000 年後に 450 mm/y と設定する。

ii. 温暖期継続ケース

温暖期継続ケースの将来の蒸発散量は、第 15 図に示す関係式及び最も可能性が高い設定における温暖期継続ケースの気温の状態設定値 (17°C) から、1,000 年後に 530 mm/y と設定する。

(b) 最も厳しい設定

i. 寒冷化ケース

寒冷化ケースの将来の蒸発散量は、第 15 図に示す関係式及び最も

厳しい設定における寒冷化ケースの気温の状態設定値(13.1℃)から、1,000年後に440 mm/yと設定する。

ii. 温暖期継続ケース

後述するかん養量の状態設定において保守的にかん養量が多くなるように、気温と降水量の相関関係の不確かさ(第11図参照)を考慮して、降水量が多くなる設定とする。このため、気温の設定は不確かさを見込まず、最も可能性が高い設定における温暖期継続ケースの気温の状態設定値(17℃)を用いる。温暖期継続ケースの将来の蒸発散量は、最も可能性が高い設定と同様に1,000年後に530 mm/yと設定する。

c. 蒸発散量の状態設定

蒸発散量の状態設定結果を第16表に示す。

かん養量が多くなると廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出量が増加するため、かん養量が多くなるように温暖期継続ケースの状態設定を行う。

第16表 蒸発散量の状態設定値

ケース		モデル化時期	気温 (℃)	降水量 (mm/y)	蒸発散量 (mm/y)
温暖期継続 ケース	最も可能性が 高い設定	1,000年後	17	1,660	530
	最も厳しい 設定	1,000年後	17	2,080	530

(5) かん養量

かん養量の変化は廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、かん養量が増加すると廃棄物埋設地への浸透水量の変化に伴い廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出量に影響する可能性があることから、かん養量の変化を長期変動事象として考慮し、将来のかん養量を設定する。なお、廃棄物埋設地直上を対象としたかん養量については、廃棄物埋設施設の設計を踏まえて別途設定する。

a. かん養量の設定に関する考え方

将来のかん養量を予測するためには、かん養量変化を推定できる指標が必要である。かん養量は、降水量、蒸発散量及び表面流出量が把握できれば一般的な水収支式より算出することができる。敷地周辺においてはおおむね水収支式（式（1））が成立していると想定される。

$$\begin{aligned} \text{降水量 (mm)} &= \text{蒸発散量 (mm)} + \text{表面流出量 (mm)} + \text{かん養量 (mm)} \\ &+ \text{貯留変化量 (mm)} \cdots \text{式 (1)} \end{aligned}$$

ここで、貯留変化量を0と設定する。

降水量は、「(2) c. 降水量の状態設定」で設定した値を用いる。

蒸発散量は、「(4) c. 蒸発散量の状態設定」で設定した値を用いる。

表面流出量は、「添付資料1 水理」で設定した値を用いる。表面流出量は、降水量に流出係数を乗じて算出することができる。流出係数については土地利用形態により設定することが一般的であり、文献においてその値が示されている。本検討における敷地周辺の流出係数は、物部（1933）⁽²⁴⁾における平らな耕地の流出係数0.45～0.60及び日本下水道協会（2009）⁽²⁵⁾における住宅公団団地等の中層住宅団地及び一戸建て住宅の多い地

域の流出係数 0.50 より，0.50 と設定する。

表面流出量は主に降水量，地形，地盤の水理特性の影響を受けると考えられるが，1,000 年程度までの期間であれば，地形や地盤の水理特性は大きく変化ないことから，表面流出係数は将来も同様とする。

以上より，かん養量は式 (2) にて設定する。

$$\begin{aligned} \text{かん養量 (mm)} &= \text{降水量 (mm)} - \text{蒸発散量 (mm)} \\ &\quad - \text{表面流出量 (mm)} \cdots \text{式 (2)} \end{aligned}$$

b. かん養量の変化

(a) 最も可能性が高い設定

i. 寒冷化ケース

寒冷化ケースにおける将来のかん養量は，最も可能性が高い設定における寒冷化ケースの降水量の状態設定値から，1,000 年後に 260 mm/y と設定する。

ii. 温暖期継続ケース

温暖期継続ケースにおける将来のかん養量は，最も可能性が高い設定における温暖期継続ケースの降水量の状態設定値から，1,000 年後に 300 mm/y と設定する。

(b) 最も厳しい設定

i. 寒冷化ケース

寒冷化ケースにおける将来のかん養量は，最も厳しい設定における寒冷化ケースの降水量の状態設定値から，1,000 年後に 120 mm/y と設定する。

ii. 温暖期継続ケース

温暖期継続ケースにおける将来のかん養量は、最も厳しい設定における温暖期継続ケースの降水量の状態設定値から、1,000年後に510 mm/y と設定する。

c. かん養量の状態設定

「第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第十三条（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地）第1項第三号及び第四号への適合性について 線量評価パラメータ」で設定する年間浸透水量については、かん養量が多くなると廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出量が増加するため、かん養量が多くなるように状態設定を行う。

降水量と蒸発散量はどちらも温暖期継続ケースで増加し、寒冷化ケースで減少する。式(2)より、温暖期継続ケースにおいては、降水量の増加はかん養量の増加に寄与するが、一方で、蒸発散量の増加はかん養量の減少に寄与する。この際、第11図及び第15図のとおり、気温の変化量に対する降水量の変化量の方が蒸発散量の変化量よりも大きいため、かん養量の設定においては降水量が支配的となり、降水量が増加する温暖期継続ケースの方がかん養量は多くなる。このため、「b. かん養量の変化」のとおり、温暖期継続ケースの方がかん養量は多くなる。

以上より、かん養量の設定値は温暖期継続ケースを状態設定の対象とする。

敷地周辺のかん養量の状態設定結果を第17表に示す。

第 17 表 かん養量の状態設定値

ケース		モデル化 時期	気温 (°C)	降水量 (mm/y)	蒸発散量 (mm/y)	かん養量 (mm/y)
温暖期継続 ケース	最も可能性 が高い設定	1,000 年後	17	1,660	530	300
	最も厳しい 設定	1,000 年後	17	2,080	530	510

(6) 海水準変動

海水準変動は、廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、海水準変動が生じると、敷地周辺における河川及び海の分布域が変化し、将来の人の生活環境及び生活様式に影響を及ぼすことが想定される。また、海水準変動により侵食基準面が変化することにより、河食に影響する可能性があることから、海水準変動を長期変動事象として考慮し、寒冷化ケース及び温暖期継続ケースにおける海水準の変動時期及び変動量を設定する。

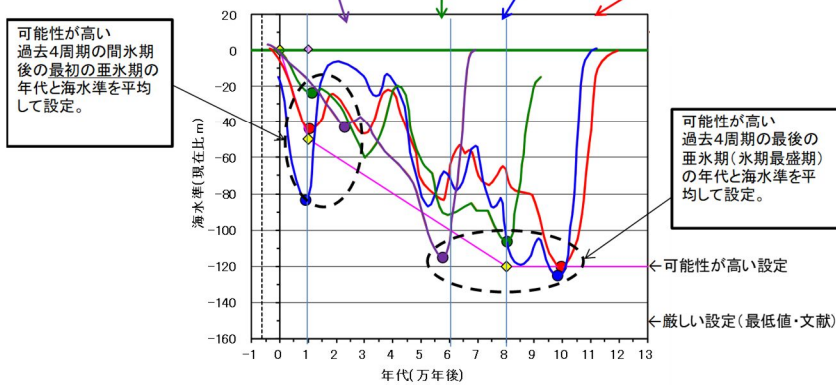
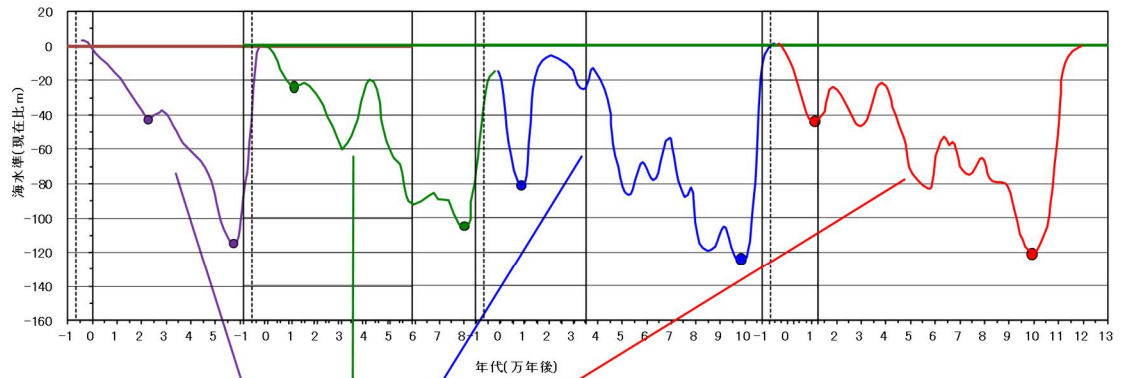
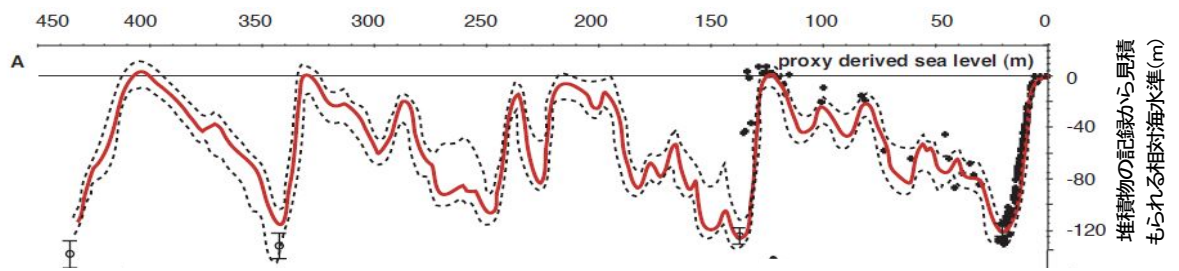
a. 海水準変動の設定に関する考え方

世界的な海水準変動は、気候変動に伴う大陸氷床の拡大・縮小に伴って生じる現象と考えられており、過去の海水準変動は気候変動と同様に、約8万年周期から約12万年周期で低海水準期と高海水準期を繰り返している⁽²⁶⁾。

したがって、海水準変動の長期変動状態の設定のうち、寒冷化ケースにおける将来の氷期最盛期に至るまでの海水準変動は、気温変動と同様に、過去約45万年間の低海水準期と高海水準期の平均値及び変動幅を考慮し、汎世界的な海水準変動を酸素同位体比から推定している Labeyrie et al. (2003)⁽²⁶⁾ を用いて設定する。過去45万年間の海水準変動曲線を第16図に示す。

なお、日本の海成段丘面等の形成年代と汎世界的な海水準変動は調和的⁽²⁷⁾であることから、汎世界的な海水準変動は敷地においても同様とする。

温暖期継続ケースにおける海水準変動は、人間活動による温暖化の影響が今後継続した場合の上昇温度と海水準上昇の予測（IPCC (2013)⁽¹⁴⁾ 及び IPCC (2021)⁽¹⁵⁾）に基づき設定する。



Labeyrie et al. (2003) ⁽²⁶⁾ に基づく

第 16 図 過去の海水準変動曲線と重ね合わせ

河食への影響の他に、海水準変動に関連するパラメータとして「廃棄物埋設地下流端から海までの距離」があるが、海水準変動はパラメータの設定には影響ない。寒冷化ケースにおいては、海水準の低下に伴い「廃棄物埋設地下流端から海までの距離」は増加するため、海までの放射性物質の移動距離が長くなる。現在の設定と比較して線量評価においては保守的となるため、廃止措置の開始後の評価に影響はない。温暖期継続ケースにおいては、設定した海水準の上昇量は保守的な設定であること、海水準の上昇は緩慢な事象であること及び海岸侵食が顕著な地域では海岸侵食の対策が施されることを踏まえれば、海水準上昇に伴い廃棄物埋設地下流端から海までの距離が短くなるような状況は考えられない。

(a) 最も可能性が高い設定

i. 寒冷化ケース

第 17 図に将来の海水準の変動曲線（最も可能性が高い設定）を示す。Labeyrie et al. (2003) ⁽²⁶⁾ を基に、過去 4 回の海水準変動曲線の間氷期最盛期のピークを基準として重ね合わせ、亜氷期までの時間及び海水準を設定する。設定した時間及び海水準を結んだ直線を将来の海水準とする。

将来の亜氷期までの時間については、過去 4 回の間氷期最盛期から亜氷期までの時間の平均値を用いる。

将来の亜氷期の海水準については、過去 4 回の亜氷期における海水準の平均値を用いる。

また、1,000 年後の海水準は、現在から亜氷期までの時間及び海水準の平均値を結んだ直線を用いて求める。

ii. 温暖期継続ケース

温暖期継続ケースにおける海水準変動については、過去の海水準変動の傾向から現在は間氷期最盛期になると考えられるため、将来の海水準変動の設定には不確かさが大きく状態設定が困難である。

しかし、過去 300 万年間の温暖期における海面水位は、世界平均で現在より 5 m 上回っており、最終間氷期（約 12.9 万年前～約 11.6 万年前）のうち数千年にわたっては、現在より海面水位が 5 m より高く、10 m 以上は高くなかったという報告⁽¹⁴⁾がある。

この結果を参考に、温暖期継続ケースにおける海水準変動は、不確かさを考慮して 1,000 年後には現在の海水準より 10 m 海水準が上昇し、継続すると設定する。海水準が上昇する期間は、ANDRA (2005)⁽¹⁶⁾より、将来 5 万年程度は温暖期が継続するとされることから、評価期間中継続すると設定する。

(b) 最も厳しい設定

i. 寒冷化ケース

第 18 図に将来の海水準の変動曲線（最も厳しい設定）を示す。最も可能性が高い設定と同様に、過去 4 回の海水準変動曲線の間氷期最盛期のピークを基準として重ね合わせ、亜氷期までの時間及び海水準から設定する。

海水準は低下量が大きく、低下時期が早いほど、河川の河口での侵食基準面の低下により河食が進むことから保守的な設定となるため、最も厳しい設定における将来の亜氷期までの時間については、過去 4 回の間氷期最盛期から亜氷期までの時間の最短値を用いる。

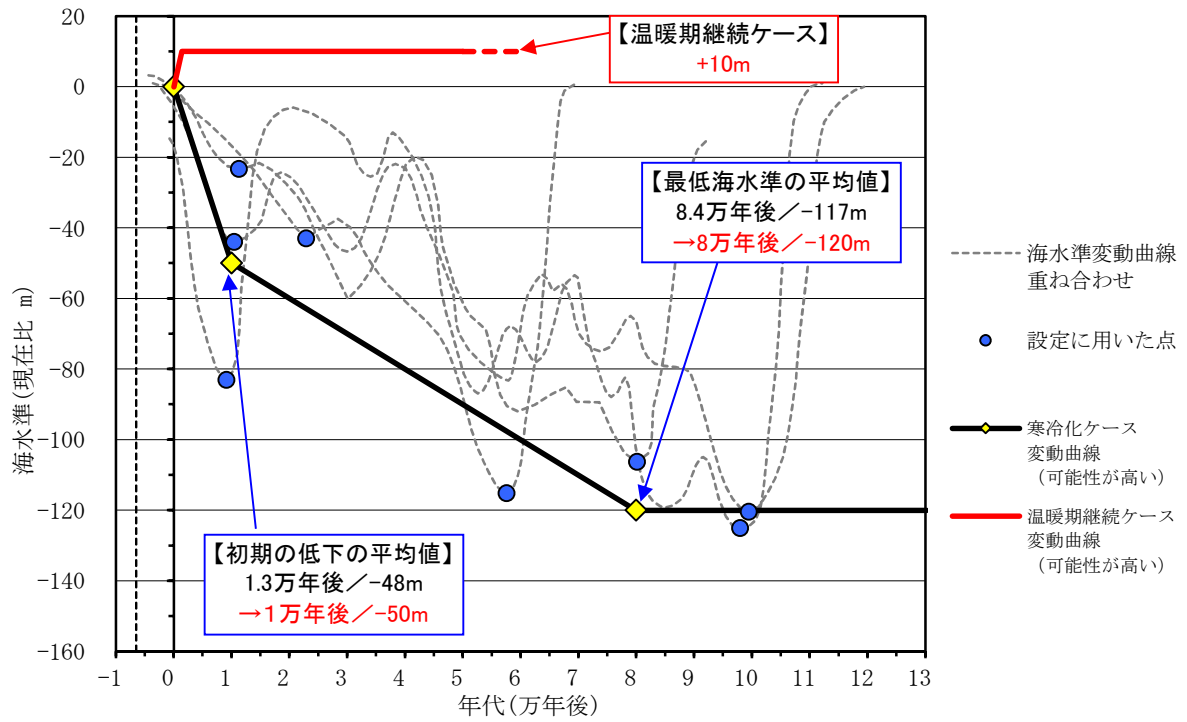
将来の亜氷期までの海水準については、亜氷期は海水準低下量の最大値から設定する。

また、1,000 年後の海水準は、現在から亜氷期までの時間の最短値

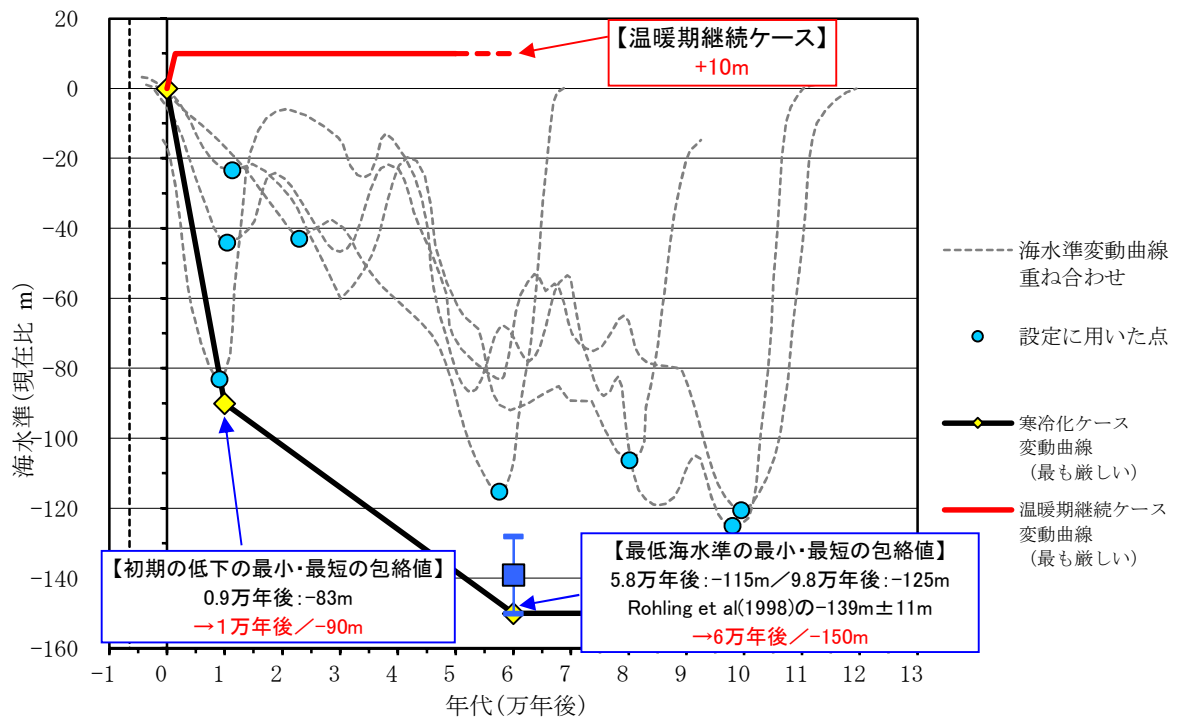
及び海水準低下量の最大値を結んだ直線を用いて求める。

ii. 温暖期継続ケース

温暖期継続ケースにおける海水準の設定に当たっては、最も可能性が高い設定において不確かさを考慮していることから、最も可能性が高い設定と最も厳しい設定は同様に、1,000年後には現在の海水準より10 m海水準が上昇し、継続すると設定する。



第 17 図 将来の海水準変動曲線 (最も可能性が高い設定)



第 18 図 将来の海水準変動曲線 (最も厳しい設定)

b. 海水準変動の変化

(a) 最も可能性が高い設定

i. 寒冷化ケース

過去4回の亜氷期までの時間及び海水準の平均値から、亜氷期の海水準は10,000年後に現在比 -50 mとし、1,000年後の海水準は、現在から亜氷期までの直線を将来の海水準とすることから、現在比 -5.0 mとする。

ii. 温暖期継続ケース

最終間氷期の数千年は、海面水位が現在より 5 m高く、 10 m以上は高くなかったとされていることから、不確かさを考慮して1,000年後には現在の海水準より 10 m上昇すると設定する。

(b) 最も厳しい設定

i. 寒冷化ケース

過去4回の亜氷期までの時間及び海水準の最大値から、亜氷期の海水準は10,000年後に現在比 -90 mとし、1,000年後の海水準は、現在から亜氷期までの直線を将来の海水準とすることから、現在比 -9.0 mとする。

ii. 温暖期継続ケース

温暖期継続ケースにおける海水準変動の設定値の推定には不確かさが大きく状態設定が困難であり、最も可能性が高い設定において不確かさを考慮していることから、最も厳しい設定は最も可能性が高い設定と同様に1,000年後には現在の海水準より 10 m上昇すると設定する。

c. 海水準変動の状態設定

海水準変動の状態設定結果を第 18 表に示す。

海水準は低下量が大きく，低下時期が早いほど，侵食基準面が変化することによる河食への影響の観点から保守的な設定となるため，海水準が低下する寒冷化ケースを状態設定の対象とする。

第 18 表 海水準変動の状態設定値

ケース		モデル化時期	海水準 (現在比：m)
寒冷化ケース	最も可能性が高い設定	1,000 年後	-5.0
	最も厳しい設定	1,000 年後	-9.0

3. 3 プレート運動と気候変動の両者に起因する事象

プレート運動と気候変動の両者に起因する事象は、「侵食」を対象とし、長期変動事象として考慮する。

(1) 侵食

侵食作用が継続することによる廃棄物埋設地の侵食に伴う廃棄物の地表接近並びに海水及び河川水による影響の可能性があることから、侵食を長期変動事象として考慮する。

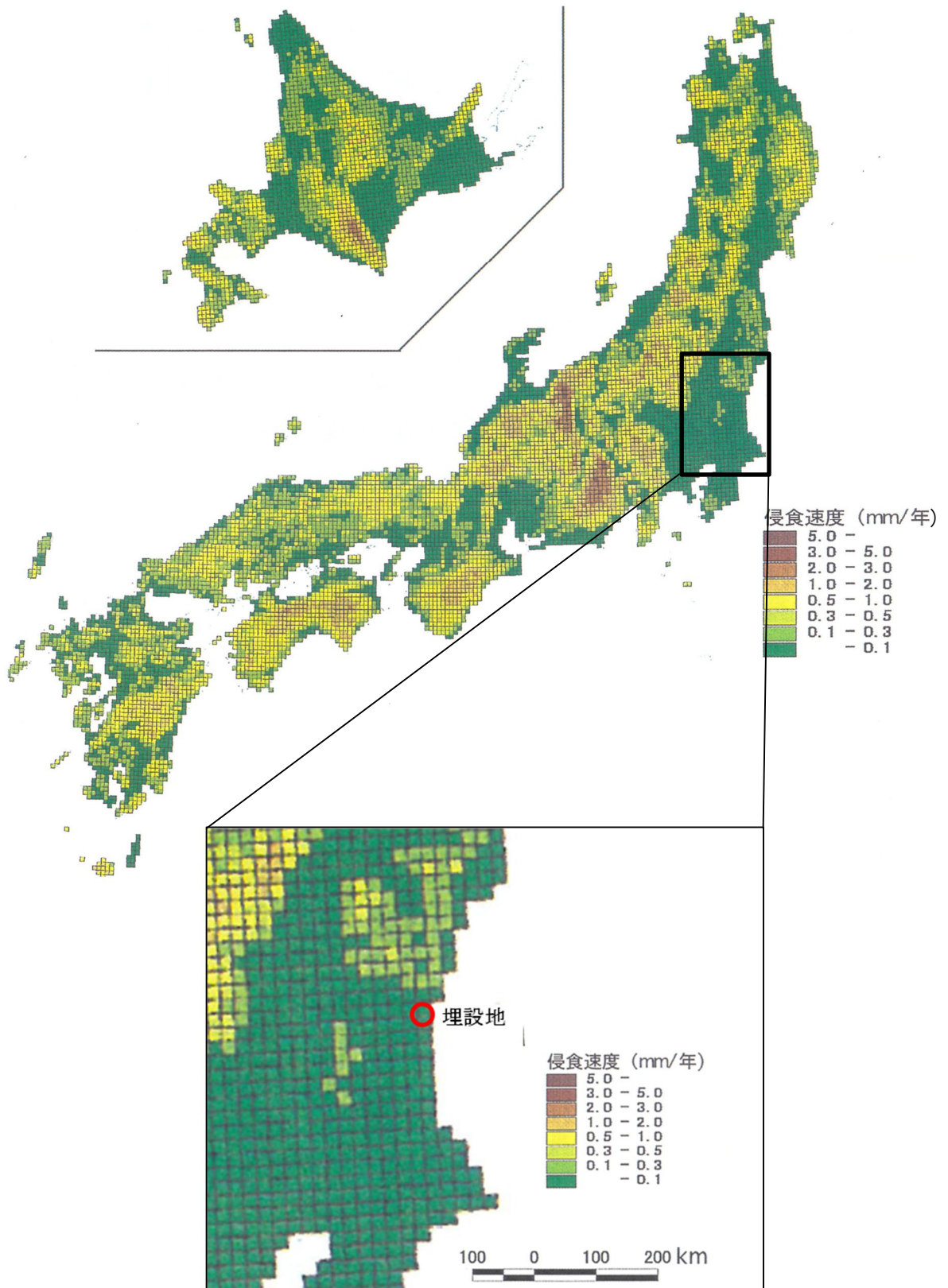
核燃料サイクル開発機構（1999）⁽²¹⁾によれば、侵食は雨食、河食、氷食、風食、沿岸部における沿岸流と波浪等による侵食（以下「海食」という。）に区分される。また、流出土砂量から推定される河川流域の侵食速度のように、ある広がりをもつ地域全体の平均的な削剥量（以下「面的侵食」という。）としてとらえられる場合と、河川の下刻のように流路が選択的に掘り下げられる場合（以下「線的侵食」という。）がある。これらを踏まえて、廃棄物埋設地に影響を及ぼす可能性のある侵食作用について整理する。

廃棄物埋設地に影響を及ぼす可能性のある侵食は、敷地周辺の面的侵食、河食、海食及び廃棄物埋設地の線的侵食が想定される。

a. 敷地周辺の面的侵食

藤原他（1999）⁽²⁸⁾によれば、敷地周辺の面的侵食による侵食速度は0.1 mm/年以下とされており（第19図参照）、1,000年後の状態設定において廃棄物の地表接近への影響は小さく、廃棄物埋設地に大きな影響を及ぼさないと想定される。

以上より、敷地周辺の面的侵食は長期変動事象として考慮しない。



核燃料サイクル開発機構 (1999) ⁽²¹⁾ にて引用されている

藤原他 (1999) ⁽²⁸⁾ に加筆

第 19 図 基準高度分散量から計算した全国の侵食速度の分布

b. 河食

廃棄物埋設地の北側約 1.2 km には久慈川が西から東へ流れており、この久慈川の河食による影響を検討する。

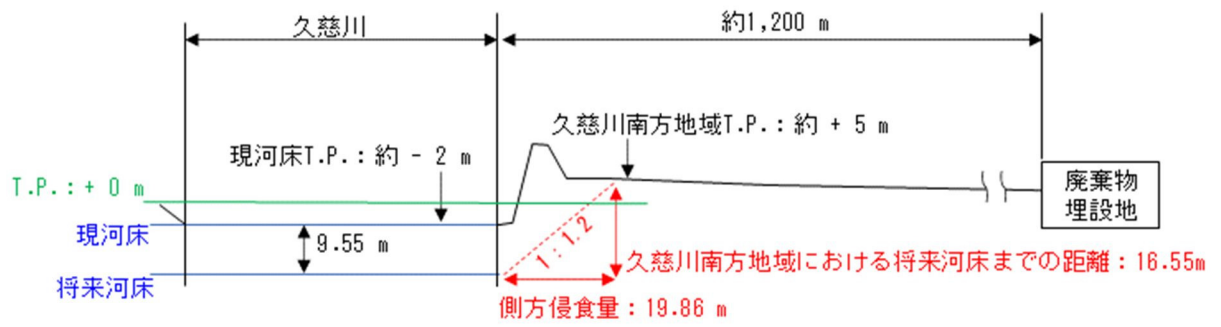
将来、寒冷化により海水準が低下した場合、それに伴い現在の久慈川的位置において、河川の下方侵食（下刻）及び側方侵食が想定される。

下方侵食は相対海水準低下に伴い侵食基準面が低下するため、海水準の低下量分だけ下方侵食が進行すると想定される。

側方侵食については、久慈川の下方侵食に伴い、河川端から切土に対するのり面勾配で側方侵食が進行すると想定される。久慈川の下流付近の地層は粘性土、砂質シルト、シルト質細砂、細砂が互層となっている。久慈川の下流付近の地層に相当する土質である粘性土、砂質土、砂について、切土に対する標準のり面勾配は、日本道路協会（2009）⁽²⁹⁾より 1 : 0.8 ~ 1 : 1.5 程度であることから、平均的なのり面勾配として 1 : 1.2 で側方侵食による斜面が形成されると設定する。

1,000 年後の状態設定において、海水準低下量の最も厳しい設定は -9.0 m（第 18 表参照）であり、また、隆起速度を考慮した侵食基準面の低下は 5.5 m/万年（第 4 表参照）から、1,000 年後では 0.55 m 程度であるため、久慈川の下方侵食量は 9.55 m となる。側方侵食の範囲は、下方侵食 9.55 m におけるのり面勾配 1 : 1.2 の斜面が地形面と交差する地点までであり、側方侵食量は 20 m 程度となる（第 20 図参照）。久慈川から廃棄物埋設地までは約 1,200 m あるため、20 m 程度の側方侵食を考慮しても廃棄物埋設地まで河食は到達せず、埋設した放射性廃棄物への河川水の影響はない。

以上より、河食は長期変動事象として考慮しない。



第 20 図 1,000 年後の状態設定における久慈川の河食 (イメージ図)

c. 海食

廃棄物埋設地の東側約 0.4 km に海岸があるため、海食による影響を検討する。

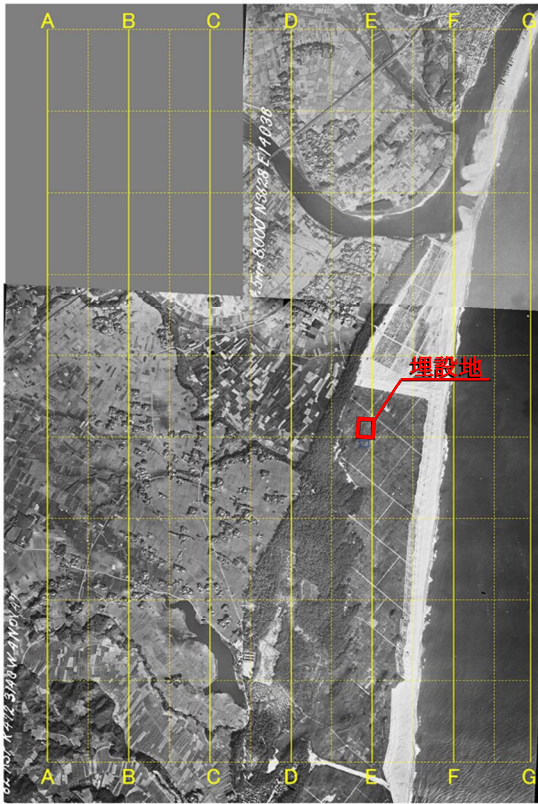
廃棄物埋設地の東方の汀線付近においては、消波ブロックが設置され、さらに消波ブロックより陸側は護岸になっており、侵食防止が施されている。

空中写真より、1947年（昭和22年）から2021年（令和3年）までの74年間において、廃棄物埋設地の東方の海岸線は大きく変化していない（第21図参照）。また、地形図より、1960年（昭和35年）から2021年（令和3年）までの61年間において、廃棄物埋設地の東方の海岸線は大きく変化していない（第22図参照）。久慈川河口の南側付近には砂浜の堆積が見られるものの、地形図及び航空写真より廃棄物埋設地の東方の海岸線への影響はない。

茨城県（2016）⁽³⁰⁾によれば、茨城沿岸では河川からの土砂供給の減少や沿岸開発に伴う大規模構造物の設置による沿岸漂砂の不均衡などの要因で侵食傾向にあるとされている。また、茨城沿岸で発生している侵食は、ダムなどによる河川からの土砂供給の減少、過去の砂利採取、大規模構造物の遮蔽域への砂の移動、沿岸漂砂の遮断、港内浚渫等のメカニズムが原因と考えられている。東海村の海岸は、長期的な汀線の後退傾向（1 m/年程度以上）を示す区間外であり（第23図参照）、また、一般公共海岸区域（海岸保全区域外）となっており、海岸保全施設の整備計画はされていない。

以上より、過去（60年～70年前）から現在において廃棄物埋設地東方の海岸線は海食による影響がなく、将来の埋設した放射性廃棄物への将来の海水の影響は想定されないことから、海食は長期変動事象として考慮し

ない。



1947 (S22) 年 3 月 25 日撮影
(USA-R472-29, USA-R472-57 を編集)

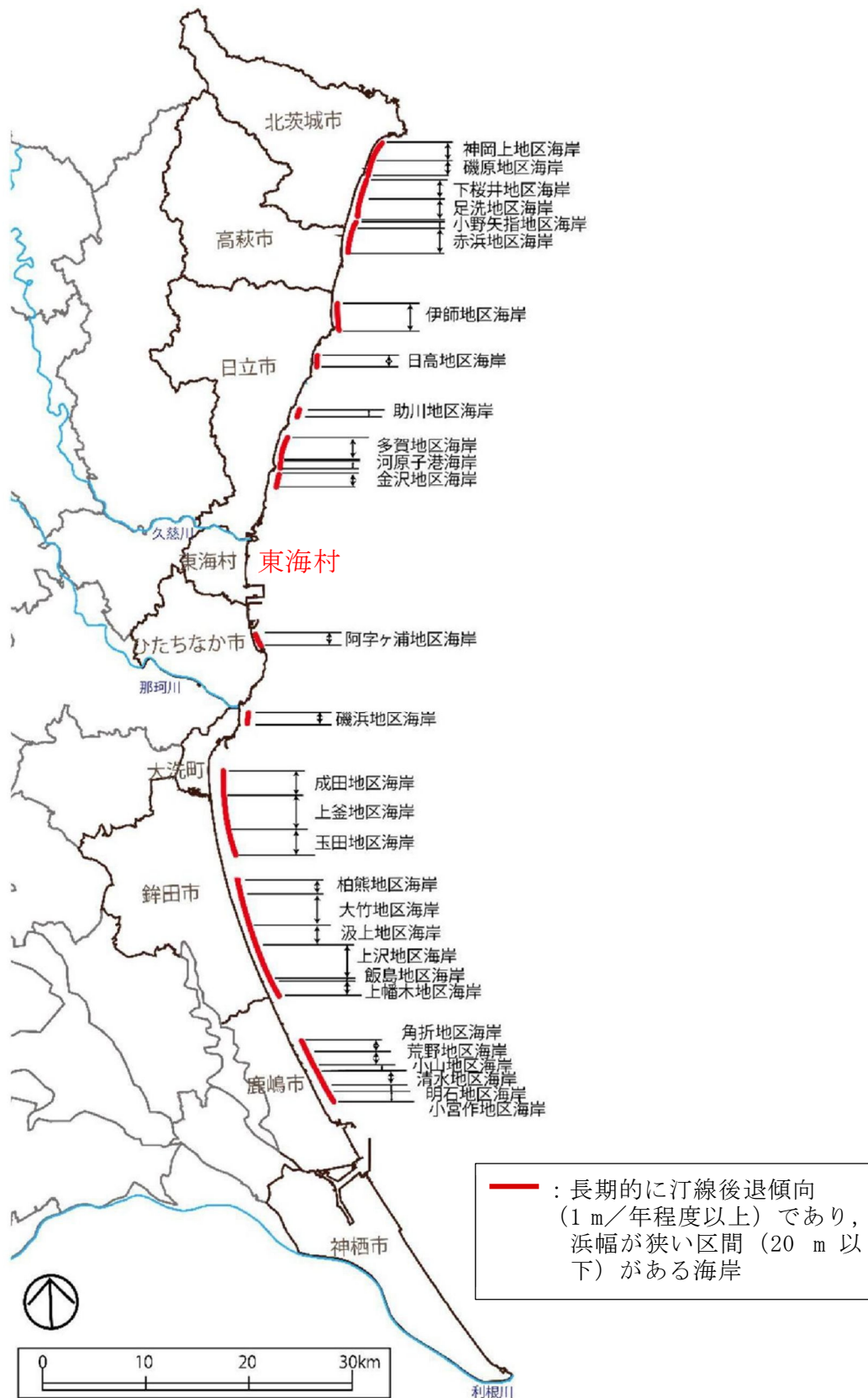


2021 (R3) 年 1 月 14 日撮影
(CKT20206-C2-8, CKT20206-C3-8 を編集)

第 21 図 空中写真による廃棄物埋設地の東方の海岸線の比較



第 22 図 国土地理院地形図による廃棄物埋設地の東方の海岸線の比較



茨城県 (2016) ⁽³⁰⁾ に加筆

第 23 図 長期的に汀線後退する海岸

d. 廃棄物埋設地の線的侵食

廃棄物埋設地においては雨水等による線的侵食の影響を検討する。

線的侵食は主に面状侵食，リル侵食，ガリ侵食に分類される⁽³¹⁾⁽³²⁾。

面状侵食は，雨滴が地表面に直接落下する際に地表の土粒子が剥離し，地表層を薄く一様に流れる表面流水により，地表面全体が均一に侵食されるものである。面状侵食により低透水性土層の低透水性に影響する可能性があるため，廃棄物埋設地の状態設定において力学的影響を考慮する。なお，廃棄物埋設地の覆土の上部には厚さ 0.3 m の保護工を設置し，覆土に雨滴が直接落下して土粒子が剥離するのを防止する。

リル侵食は，降水量が地表面の浸透能力を上回った場合に流水が発生し，水が流れる部分が集中して斜面を洗堀するものである。また，ガリ侵食は，リル侵食によって形成された洗堀部分の流量が増え，複数のリルが集約されて大きなガリに発展するものである。リル侵食及びガリ侵食により低透水性土層の低透水性に影響する可能性があるため，廃棄物埋設地の状態設定において力学的影響を考慮する。なお，覆土表面（保護土層と保護工の境界部分）への吸出し防止材の設置及び覆土の締固め施工並びに保護工の設置により，土粒子の流出を防止する。

3. 4 その他の事象

(1) 生物学的事象

樹木の植生及びモグラ類による覆土の攪乱の可能性はある。

樹木の植生により低透水性土層の低透水性に影響する可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において力学的影響を考慮する。なお、廃棄物埋設地の最終覆土には栗石等を使用した掘削抵抗性層及び締固めた保護土層を、また、最終覆土の上部には栗石等を使用した保護工を設置することにより、樹木の植生によって最終覆土が損壊するのを防止する。

廃棄物埋設地及びその周辺地盤には腐葉土がないため、モグラ類の餌となる昆虫類及びミミズ類が生息しにくい環境である。餌を求めて地中を移動するモグラの生態を考慮すると、このような環境においてモグラ類が廃棄物埋設地及びその周辺地盤を掘り進み、バリア機能に影響を及ぼすことは考えられない。

(2) 風（台風）

風（台風）により低透水性土層の低透水性に影響する可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において力学的影響を考慮する。なお、廃棄物埋設地の最終覆土の上部には栗石等を使用した保護工を設置することにより、風（台風）によって最終覆土が損壊するのを防止する。

(3) 降雹

降雹により低透水性土層の低透水性に影響する可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において力学的影響を考慮する。なお、廃棄物埋設地の最終覆土の上部には栗石等を使用した保護工を設置することにより、降雹によって最終覆土が損壊するのを防止する。

(4) 積雪

積雪により低透水性土層の低透水性に影響する可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において力学的影響を考慮する。なお、廃棄物埋設地は、積雪による上載荷重に対して十分に余裕をもった設計荷重を設定する。

(5) 風化

風化により低透水性土層の低透水性に影響する可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において力学的影響及び化学的影響を考慮する。なお、廃棄物埋設地の最終覆土の上部には栗石等を使用した保護工を設置することにより、風化によって、最終覆土が損壊するのを防止する。

4 まとめ

廃止措置の開始後の評価における線量評価シナリオの設定に当たって、人工バリア及び天然バリアの機能並びに被ばく経路等に影響を与える自然現象を考慮した地質環境に係る長期変動事象の状態設定結果を第 19 表に示す。

第 19 表 長期変動事象の状態設定結果 (1/3)

起因事象	自然現象	最も可能性が高い設定	最も厳しい設定	記載箇所
プレート運動に起因する事象	火山・火成活動	火山の影響 (降下火砕物)	降下火砕物に含まれる成分によって地下水の水質変化が生じる可能性があることから、廃棄物埋設地の状態設定において化学的影響を考慮する。	3. 1 (1) a. 降下火砕物
	地震・断層活動	地震	廃棄物内に微小な空隙が残存する場合には、地震によって生じる応力及び振動により廃棄物層が沈下することで廃棄物埋設地に陥没が生じる可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において力学的影響を考慮する。	3. 1 (2) a. 地震
		地盤の変形	活断層等の断層変位に伴う設置地盤の変形は廃棄物埋設地の安全性に問題となるものではなく、また、敷地には将来活動する可能性のある断層等の露頭は認められないことから、バリア機能が損なわれるおそれはないため、長期変動事象として考慮しない。	3. 1 (2) b. 地盤の変形
		液状化	廃棄物埋設地の覆土については、廃棄物埋設地の底面レベルが地下水位より上にあり、不飽和土層であることから、液状化は発生しない。 廃棄物埋設地の地盤の液状化については、液状化判定を行った結果、対象層の F_L 値は 1.0 を超えていることから、液状化は発生しない結果となった。一方、液状化を踏まえた検討、揺すり込み沈下及び圧密沈下による合計沈下量は、西側トレンチで最大 0.481 m、東側トレンチで最大 0.368 m である。平面的な沈下量の変化は緩やかであり、廃棄物埋設地の設置地盤に分布する砂層や砂礫層はほぼ水平成層に分布しており、また、液状化に伴う沈下も水平方向にほぼ一様に生じると考えられる。以上より、バリア機能が損なわれるおそれはないため、長期変動事象として考慮しない。	3. 1 (2) c. 液状化
		津波	海水が廃棄物埋設地周辺に流入することで、地下水の化学特性に一時的に影響する可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において化学的影響を考慮する。	3. 1 (2) d. 津波
隆起・沈降運動	隆起・沈降	隆起速度：4.0 (m/万年)	隆起速度：5.5 (m/万年)	3. 1 (3) a. 隆起・沈降

第 19 表 長期変動事象の状態設定結果 (2/3)

起 因 事 象	自然現象	最も可能性が高い設定	最も厳しい設定	記載箇所
気 候 変 動 に 起 因 す る 事 象	気温	寒冷化ケース ・ 1,000 年後 : 13 (°C)	寒冷化ケース ・ 1,000 年後 : 13 (°C)	3. 2 (1) 気温
		温暖期継続ケース ・ 1,000 年後 : 17 (°C)	温暖期継続ケース ・ 1,000 年後 : 17 (°C)	
	降水量	寒冷化ケース ・ 1,000 年後 : 1,410 (mm/y)	寒冷化ケース ・ 1,000 年後 : 1,110 (mm/y)	3. 2 (2) 降水量
		温暖期継続ケース ・ 1,000 年後 : 1,660 (mm/y)	温暖期継続ケース ・ 1,000 年後 : 2,080 (mm/y)	
	地下水位 (地下水 流動)	地下水位		3. 2 (3) 地下水位 (地下水 流動)
		寒冷化ケース 1,000 年後 : +1.8 (T.P. m)	寒冷化ケース 1,000 年後 : +1.6 (T.P. m)	
		動水勾配		
		寒冷化ケース 1,000 年後 : 4.77×10^{-3}	寒冷化ケース 1,000 年後 : 4.12×10^{-3}	
		地下水流速		
		寒冷化ケース 1,000 年後 : 49 (m/y)	寒冷化ケース 1,000 年後 : 42 (m/y)	
蒸発散量	温暖期継続ケース 1,000 年後 : 530 (mm/y)	温暖期継続ケース 1,000 年後 : 530 (mm/y)	3. 2 (4) 蒸発散量	
かん養量	温暖期継続ケース 1,000 年後 : 300 (mm/y)	温暖期継続ケース 1,000 年後 : 510 (mm/y)	3. 2 (5) かん養量	
海水準 変動	寒冷化ケース ・ 1,000 年後 : -5.0 (現在比 : m)	寒冷化ケース ・ 1,000 年後 : -9.0 (現在比 : m)	3. 2 (6) 海水準変動	

第 19 表 長期変動事象の状態設定結果 (3/3)

起因事象	自然現象	最も可能性が高い設定	最も厳しい設定	記載箇所
プレート運動と気候変動の両者に起因する事象	侵食	廃棄物埋設地の線的侵食である面状侵食，リル侵食，ガリ侵食により，低透水性土層の低透水性に影響する可能性があるため，廃棄物埋設地の状態設定において力学的影響を考慮する。		3. 3 (1) 侵食
その他の事象	生物学的事象	樹木の植生により低透水性土層の低透水性に影響する可能性があるため，廃棄物埋設地の状態設定において力学的影響を考慮する。		3. 4 (1) 生物学的事象
	風 (台風)	風 (台風) により低透水性土層の低透水性に影響する可能性があるため，廃棄物埋設地の状態設定において力学的影響を考慮する。		3. 4 (2) 風 (台風)
	降雹	降雹により低透水性土層の低透水性に影響する可能性があるため，廃棄物埋設地の状態設定において力学的影響を考慮する。		3. 4 (3) 降雹
	積雪	積雪により低透水性土層の低透水性に影響する可能性があるため，廃棄物埋設地の状態設定において力学的影響を考慮する。		3. 4 (4) 積雪
	風化	風化により低透水性土層の低透水性に影響する可能性があるため，廃棄物埋設地の状態設定において力学的影響及び化学的影響を考慮する。		3. 4 (5) 風化

5 参考文献

- (1) 社団法人 土木学会 エネルギー委員会 低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会 (2008) : 余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方
- (2) 高橋雅紀 (2004) : 日本列島のE-W 短縮テクトニクスの原因とその開始時期, 日本地震学会2004 年秋季大会講演予稿集, B048
- (3) 吉田武義, 中島淳一, 長谷川昭, 佐藤比呂志, 長橋良隆, 木村純一, 田中明子, Prima, O.D.A., 大口健志 (2005) : 後期新生代, 東北本州弧における火成活動史と地殻・マントル構造, 第四紀研究
- (4) 産業技術総合研究所 (2012) : 地質・気候関連事象の時間スケールに対する不確実性の検討, 独立行政法人産業技術総合研究所 深部地質環境研究コア
- (5) 気象庁・消防庁 (2009) : 震度に関する検討会報告書, 平成21年3月
- (6) 小池一之, 町田洋編 (2001) : 日本の海成段丘アトラス, 東京大学出版会
- (7) E P I C A community members (2004) : Eight glacial cycles from an Antarctic ice core, NATURE, 429, No.6992
- (8) Rohde (2005) : Global Warming Art Project.
- (9) 増田耕一 (1993) : 氷期, 間氷期サイクルと地球の軌道要素; 安成哲三編: 大気, 雪氷相互作用, 気象研究ノート177, 日本気象学会
- (10) 丸山茂徳, 生駒大洋, 玄田英典 (2007) : 地球寒冷化がやってくる. 日本地質学会学術大会講演要旨114
- (11) Abe-Ouchi, A., Saito, F., Kawamura, K., Blatter, H. (2013) : Insolation-driven 100000-year glacial cycles and hysteresis of ice-sheet volume, Nature, Vol.500, No.7461
- (12) ラディマン, W.F. (2005) : 農耕文明が温暖化を招いた? 日経サイエ

ンス, 2005 年6 月号

- (13) IPCC (2007) : Climate Change 2007:The Physical Science Basis, AR4, WG I, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. (気象庁訳, 2008)
- (14) IPCC (2013) : Climate Change 2013:The Physical Science Basis (Technical Summary), AR5, WG I, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (気象庁訳, 2015) .
- (15) IPCC (2021) : Climate Change 2021:The Physical Science Basis (SPM_Summary for Policymakers) , AR6, WG I, Cambridge University Press (気象庁訳, 2021) .
- (16) ANDRA (2005) : Dossier 2005 Argile, Tome Phenomenological evolution of a geological repository, Report Series, Chatenay Malabry, France
- (17) Ganopolski, A., Winkelmann, R., Schellnhuder, H. J. (2016) :Critical insolation-CO2 relation for diagnosing past and future glacial inception, Nature, Vol.529, No.7585
- (18) 吉田明弘, 鈴木三男, 金 憲爽, 大井信三, 中島 礼, 工藤雄一郎, 安藤寿男, 西本豊弘 (2011) : 茨城県花室川堆積物の花粉, 木材化石からみた最終氷期の環境変遷と絶滅種ヒメハリゲヤキの古生態, 植生史研究, Vol.20, No.1
- (19) 松末和之, 藤原治, 末吉哲雄 (2000) : 日本列島における最終氷期最寒冷期の気候. サイクル機構技報 No.6
- (20) 登坂博行 (2006) : 地圏の水環境科学, 東京大学出版会
- (21) 核燃料サイクル開発機構 (1999) : わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2 次取りまとめ— 分

冊1 わが国の地質環境, JNC TN1400 99-21.

- (2 2) Thornthwaite, C.W. (1948) :An approach toward a rational classification of climate, Geographical Review. Vol.38, No.1
- (2 3) 地域分析のための熱・水収支水文学, 新井正, 古今書店
- (2 4) 物部 (1933) : 物部による日本河川の流出係数
- (2 5) 日本下水道協会 (2009) : 下水道施設計画・設計指針と解説, 日本下水道協会
- (2 6) Labeyrie, L., Cole, J., Alverson, K., Stocker, T. (2003) :The History of Climate Dynamics in the Late Quaternary. Alverson, K. D., Bradley, R. S., Pedersen, T. F. 編:Paleoclimate, Global Change and the Future, Global Change - I G B P Series 3, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- (2 7) 日本第四紀学会 (1987) : 百年千年万年後の日本の自然と人類—第四紀研究にもとづく将来予測
- (2 8) 藤原治, 三箇智二, 大森博雄 (1999) : 日本列島における侵食速度の分布, サイクル機構技報 No. 5
- (2 9) 日本道路協会 (2009) : 道路土工 切土工・斜面安定工指針 (平成21年度版)
- (3 0) 茨城県 (2016) : 茨城沿岸海岸保全基本計画 (平成28年3月)
- (3 1) 国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター (2001) : サヘル地域砂漠化防止対策技術集 5. 農地保全技術マニュアル
- (3 2) 独立行政法人 緑資源機構 (2004) : 農地・土壌侵食防止対策技術マニュアル (平成16年3月)

以上