

透明度目標値について

[基本的考え方及び設定結果]

目 次

1. 透明度の目標の基本的考え方	1
1.1 透明度の目標設定の目的	1
1.2 設定する透明度の目標の種類	1
1.3 透明度目標値の導出及び設定の考え方	2
1.3.1 透明度目標値の導出及び設定に用いる情報	2
1.3.2 透明度目標値の導出及び設定	2
1.3.3 その他	2
2. 透明度目標値の設定方法	3
3. 海藻草類の生育に必要な透明度目標値の設定	4
3.1 検討対象種の選定	4
3.2 検討対象種の必要光量からみた透明度目標値の設定	16
3.2.1 検討対象種の必要光量からみた透明度の算出方法	16
3.2.2 検討対象種の生育に必要な光量に関する知見の検索・収集	18
3.2.3 文献の精査及び文献内容の整理	20
3.2.4 各検討対象種の生育に必要な光量の設定	22
3.2.5 葉上浮泥による光の減衰	48
3.2.6 海水面直下における光強度の設定	51
3.2.7 維持すべき光の減衰係数の設定	52
3.2.8 水中光の減衰係数と透明度の関係	53
3.2.9 必要光量からみた目標透明度の設定	54
3.3 現場データによる検証	56
3.4 海藻草類の生育に必要な透明度の目標値	58
4. 親水利用からみた透明度の目標値	59
4.1 対象とする親水利用行為の設定	59
4.2 親水利用行為の透明度の目標値の設定	59
4.3 親水利用からみた透明度の目標値	61
5. 透明度の目標設定	62

別添資料 [透明度目標値の設定に係る資料]

1. 透明度の目標の基本的考え方

1.1 透明度の目標設定の目的

閉鎖性海域では生態系の劣化が問題となっており、生物の生育・生息環境として適切な状態に保つことの重要性が指摘されている。特に浅海域は様々な生物の生育・生息の場であり、水質浄化、生物生産、親水など多くの機能を有していることから、その環境を保全し、再生することが求められている（今後の閉鎖性海域対策に関する懇談会 2007）。閉鎖性海域の中での浅海域の特徴は、高い生産性にあり、これを支える環境要素のひとつとして海中へ届く光の量（水中光量）を左右する透明度がある。透明度が低ければ、水中光量が少なくなり、海藻草類など水生植物の光合成が妨げられる。その結果、水質浄化、生物の生育・生息機能が働かなくなり生態系の劣化につながる。

また、透明度は親水利用に大きく関わっており、水の濁りにより透明度が低下すると、水辺空間の景観は損なわれ、水辺の親水機能は低下する。

このような課題を踏まえ、透明度の低下による海藻草類の生育と親水利用への影響を少なくし、良好な海域環境を回復するために、海域における適切な透明度の目標を設定する必要がある。

1.2 設定する透明度の目標の種類

透明度は、浅海域に生息する海草藻場に必要水中光量を左右する要素であり、海藻草類の生育によって形成される藻場は魚介類の基礎生産、産卵場および保育場、摂餌場および隠れ場等の様々な生物の生息にも密接に関連する。また、透明度は景観的な要素を示し、水の透明さを表す一般市民にわかりやすい指標である。海域の親水機能を発揮させるためには、それに対応する水の透明さが必要である。

上記の観点を踏まえ、以下に示す2種類の透明度の目標を設定する。

(1) 海藻草類の生育に必要な透明度の目標

海藻草類の生育に影響を及ぼす環境要因は、徳田ら（1987）によると、水中光量、付着基盤、水温等の物理的要因、塩分、栄養塩濃度等の化学的要因、波や流れ、潮汐による干出等の動力学的要因等がある。これらのうち、水中光量は、植物である海藻草類にとって最も重要な環境要因の1つであり、閉鎖性海域においては制限因子になりやすい。したがって海藻草類の生育に必要な光量が確保できる透明度の目標を設定する。

なお、本検討において海藻草類の生育とは、海藻草類が生長、生残し、再生産することと定義した。

(2) 親水利用からみた透明度の目標

親水利用の観点からは、海域の親水利用が支障なく行われる透明度を目標として

設定する。

そこで、透明度の目標を設定するにあたっては、当該海域における親水利用行為を同定するとともに、親水利用に関する透明度の判定基準、さらには親水利用には景観的な要素も含まれることから、景観の要素としての観点も含めて目標を設定するものとする。

1.3 透明度目標値の導出及び設定の考え方

1.3.1 透明度目標値の導出及び設定に用いる情報

透明度目標値の検討には、検討対象種の生育に必要な最低光量に関する記載がある文献を収集した。生育に必要な最低光量に関しては、現地調査によって実海域の分布下限水深における光量が記述されている文献や、水槽等を用いた実験で海藻草類の生育に必要な最低光量が記述されている文献、プロダクトメーター（差働式検容計）などを用いて光合成速度を測定した文献を用いた。

親水利用からみた透明度の目標値の検討では、親水利用行為にかかる透明度の判定基準及び目安となる資料並びにこれまでの水質汚濁の環境基準の設定の検討資料のうち、透明度をもとに基準値を設定した資料を用いた。

1.3.2 透明度目標値の導出及び設定

(1) 海藻草類の生育に必要な透明度目標

海中に生育する大型海藻もしくは海草の群落と、それを基礎とする独特の生物群集や環境は、「藻場」と呼ばれている（環境省 2004）。藻場は、基礎生産、デトライタス食物連鎖と一次消費者の維持、産卵場及び保育場、摂餌場及び隠れ場、環境の安定化、流れ藻の供給といった機能を有する（海洋生物環境研究所 1991）。

このように海藻草類が形成する藻場は様々な機能を有することから、海藻草類の生育に必要な透明度目標は、藻場を構成する種が生活史を通して生長、生残して再生産が行われ、藻場が維持されるレベルの目標値を設定することとした。

(2) 親水利用からみた目標透明度

親水利用からみた透明度目標は、様々な親水利用行為が支障なく行われるレベルの目標値を行為毎に設定することとした。

1.3.3 その他

(1) 透明度の定義と数値の扱い

ここで扱う透明度とは、海水の濁りの指標であり、海洋観測指針（気象庁 1999）に従い、透明度板（secchi disk とも言う）という直径 30cm の白色の平らな円盤を水平に海水に降ろし、上からみてこれが見えなくなる限界の深さとした。目標とする透明度の単位はmで表す。また、目標のわかりやすさ、妥当性・再現性

の検証や目標達成状況の評価等において扱いやすい数値が望ましいことから、小数点以下を切り上げて整数で設定する。

2. 透明度目標値の設定方法

透明度の目標設定フローは図 1.3.1 に示すとおりである。

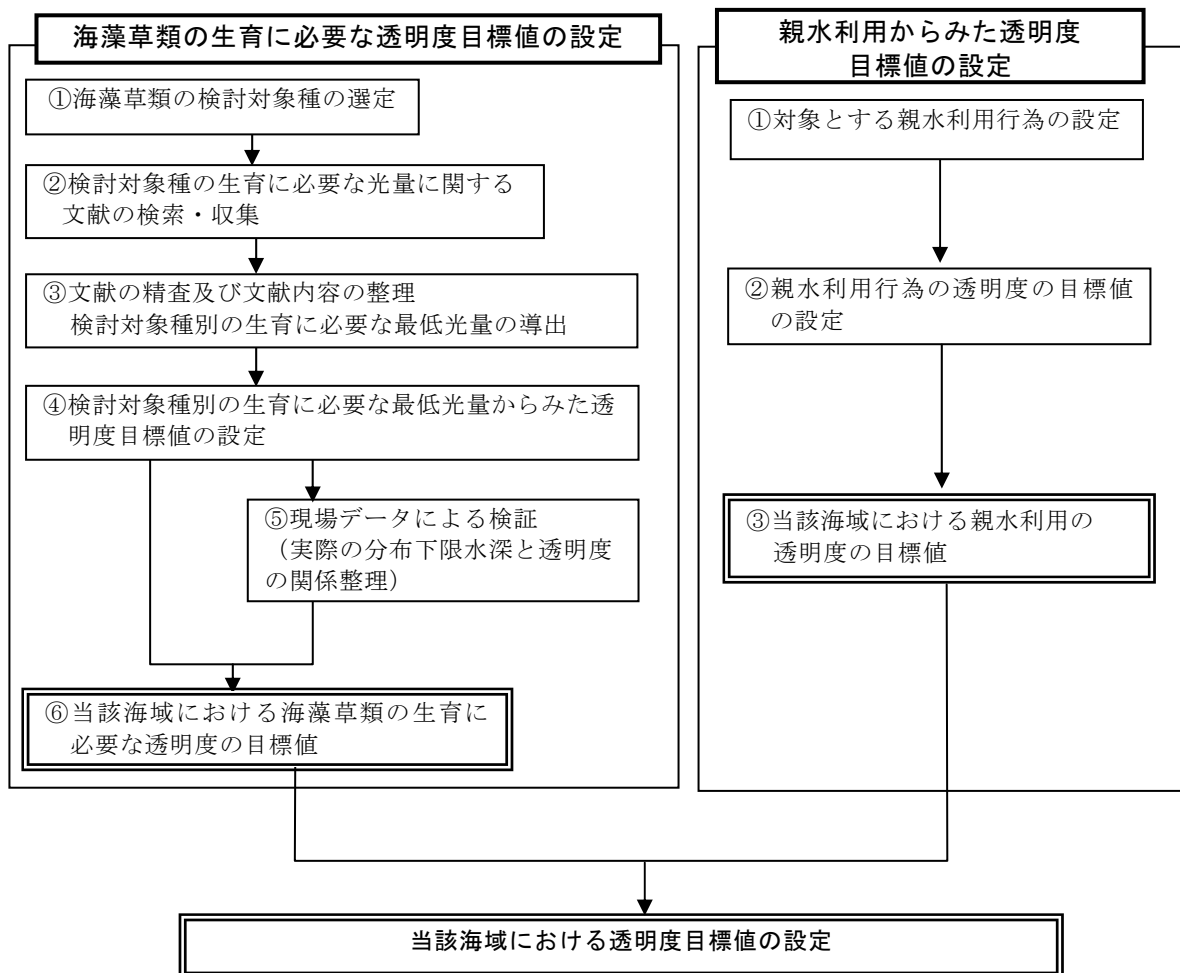


図 1.3.1 透明度目標値の設定フロー

3. 海藻草類の生育に必要な透明度目標値の設定

3.1 検討対象種の選定

(1) 検討対象種の抽出

海藻草類が形成する藻場は前述した様々な機能を有することから、透明度の目標値は、このような藻場を構成する種が良好に生育し藻場が有する機能が発揮されるように設定されることが重要である。そのため、検討対象種は、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海において、現在及び過去に確認された藻場の主要構成種を選定することとした。

1) 日本の藻場

我が国の沿岸域に分布する藻場については、環境省が実施する自然環境保全基礎調査（第2回（1981）、第4回（1997）、第5回（1998～2001）、第7回（2002～2006））によって把握されている。「日本の干潟、藻場、サンゴ礁の現況 第2巻 藻場」（環境庁編 1997）によると、国内の藻場は構成される種によっていくつかのタイプに分けられ、表 3.1.1 に示すアマモ場、ガラモ場、コンブ場、アラメ場、ワカメ場、テングサ場、アオサ・アオノリ場、その他に分けられる。

表 3.1.1 我が国の海域で確認されている藻場の区分

藻場のタイプ	構成種
アマモ場	アマモ科等の海草類 アマモ (<i>Zostera marina</i>)、コアマモ (<i>Zostera japonica</i>)、スガモ (<i>Phyllospadix iwatensis</i>)、エビアマモ (<i>Phyllospadix japonica</i>)、スゲアマモ (<i>Zostera caespitosa</i>)、ウミヒルモ (<i>Zostera japonica</i>)、タチアマモ (<i>Zostera caulescens</i>) 等
ガラモ場 (ホンダワラ類藻場)	ホンダワラ科 ヤツマタモク (<i>Sargassum patens</i>)、マメタワラ (<i>Sargassum piluliferum</i>)、ウミトラノオ (<i>Sargassum thunbergii</i>)、ホンダワラ (<i>Sargassum fulvellum</i>) 等
コンブ場	コンブ科 マコンブ (<i>Laminaria japonica</i>)、ミツイシコンブ (<i>Laminaria angustata</i>) 等
アラメ場	コンブ科 カジメ (<i>Ecklonia cava</i>)、アラメ (<i>Eisenia bicyclis</i>)、スジメ (<i>Costaria costata</i>)、クロメ (<i>Ecklonia kurome</i>)、ツルアラメ (<i>Ecklonia stolonifera</i>)、サガラメ (<i>Eisenia arborea</i>) 等
ワカメ場	チガイソ科 ワカメ (<i>Undaria pinnatifida</i>)、ヒロメ (<i>Undaria undarioides</i>) 等 コンブ科 アントクメ (<i>Eckloniopsis radicata</i>) 等
テングサ場	テングサ科 マクサ (<i>Gelidium elegans</i>)、オオブサ (<i>Gelidium pacificum</i>)、オバクサ (<i>Pterocladia capillacea</i>) 等
アオサ・アオノリ場	アオサ科 アナアオサ (<i>Ulva pertusa</i>)、スジアオノリ (<i>Enteromorpha prolifera</i>)、ヒラアオノリ (<i>Enteromorpha compressa</i>) 等

(出典) 環境庁 (1997)、環境省 (2004)、吉田忠夫 (1988) より作成

(2) 東京湾における検討対象種の選定

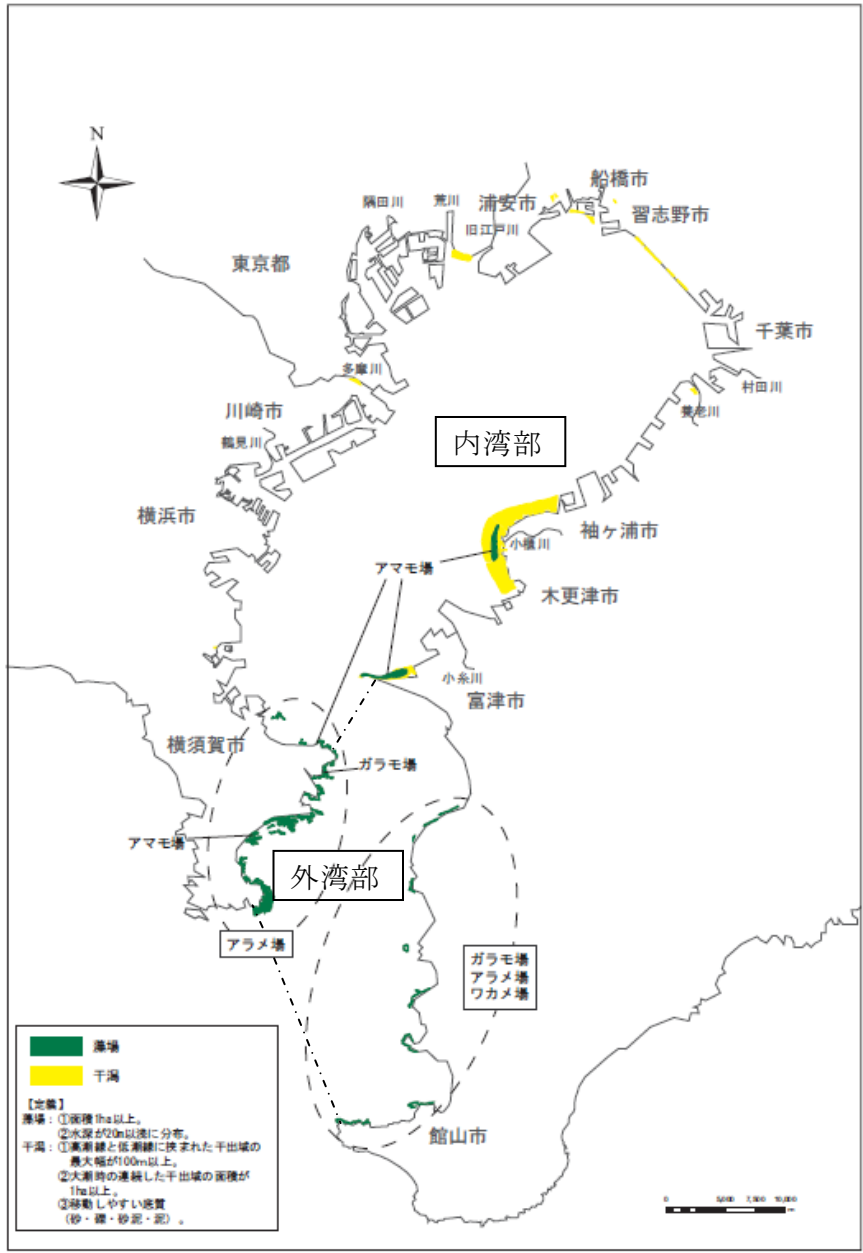
1) 東京湾における藻場の分布

東京湾内の藻場のタイプ別の面積を表 3.1.2 に示した。東京湾では、アラメ場、アマモ場、ガラモ場、ワカメ場が確認されており、この順に面積が広い。アラメ場、アマモ場の2つのタイプの藻場で全体の藻場の約9割を占め、他のタイプに比べて広く分布している。内湾部ではアマモ場、アラメ場が確認され、外湾部ではアラメ場が広く、その他ガラモ場やワカメ場、アラメ場・ガラモ場の混在藻場が確認されている。

表 3.1.2 東京湾内の藻場のタイプと面積

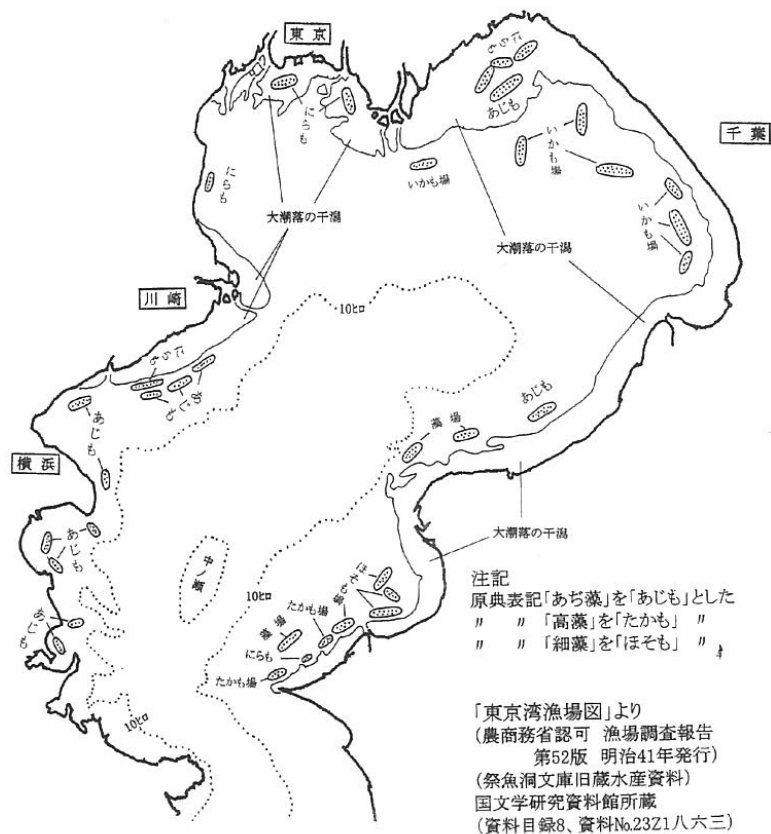
藻場のタイプ別面積 (ha)	東京湾	内訳	
		内湾	外湾
アマモ場	264 (18%)	240	24
アラメ場	1,033 (70%)	109	924
ガラモ場	58 (4%)	—	58
ガラモ場、アラメ場混在	64 (4%)	—	64
その他、ワカメ場を含む アラメ場、ガラモ場、ア マモ場の混在	63 (4%)	—	63
合計	1,482ha	349ha	1,133ha

(注) 東京湾は、房総半島西端の洲崎と三浦半島の剣崎を結ぶ北の海域を指し、
内湾は富津岬と観音崎を結ぶ北の水域指し、それ以南を外湾とした(図 3.1.1 参照)。
(出典) 環境庁 第5回 自然環境保全基礎調査より作成



(出典) 環境庁 第5回 自然環境保全基礎調査より作成

図 3.1.1 東京湾の藻場分布図



(出典) 漁業情報サービスセンター (2004)

図 3.1.2 東京湾における明治時代の藻場分布域

なお、東京湾の過去の藻場の分布状況については、明治時代の東京湾漁場図（図 3.1.2）に、「あぢも」、「にらも」等の記載がある。これらはそれぞれアマモ、コアマモを指しており（田中 2007）、明治時代から内湾部にはアマモ場が広く分布していたと考えられる。

また、現在は内湾部ではアマモ場以外の詳細な記録は見当たらないが、岩田ほか（1997）によると、1970年代当初より行われた埋め立て以前は、横浜市沿岸において金沢地先から根岸湾周辺は、かなり広大なガラモ帯が存在したらしい、との記述がある。

2) 東京湾の検討対象種の抽出に用いた資料

東京湾の検討対象種の選定は、現在の藻場分布だけでなく過去の藻場分布状況も踏まえて、内湾部にみられるアマモ場、内湾部の一部と外湾部にみられるアラメ場、外湾部にみられるガラモ場、ワカメ場を対象として、これらの藻場を構成する種を中心に検討対象種を選定することとした。検討対象種の選定には表 3.1.3 に示す。資料を用いて上記に示した藻場を構成する種を中心に選定した。

表 3.1.3 東京湾に生育する海藻草類がまとめられている既存資料

資料名	発行者[年]
「東京湾の生物誌」	沼田真（監修） 風呂田利夫（編集）[1997]
「日本の干潟、藻場、サンゴ礁の現況」	環境庁[1997]
「千葉県植物誌」	千葉県[2003]
「沿岸植生調査報告書」	神奈川県水産試験場[1995]

(3) 伊勢湾における検討対象種の選定

1) 伊勢湾における藻場の分布

伊勢湾の藻場のタイプ別の面積を表 3.1.4 に示した。「日本の干潟、藻場、サンゴ礁の現況 第2巻 藻場」（環境庁編 1997）によると、伊勢湾では、アマモ場、ワカメ場、ガラモ場、アラメ場の順に面積が広く、4つのタイプの藻場で全体の藻場の約6割（4つのタイプが混在する藻場を含むと9割以上）を占める。伊勢湾のうち、三河湾ではアマモ場とガラモ場が存在し、伊勢湾のアマモ場、ガラモ場の生育面積に対し、それぞれ約8割、約7割を占める。分布図を図 3.1.3 に示した。

伊勢湾の過去の藻場の分布状況については、1955年の分布図を図 3.1.4 に示したが、かつての伊勢湾には、伊勢湾（狭義）で11,400ha、三河湾で6,800haの合計18,200haのアマモ場が存在したとされており（伊勢湾研究会編 1995）、湾口部から湾奥部にかけての沿岸域に広く分布していたことが分かる。

表 3.1.4 伊勢湾内の藻場のタイプと面積

藻場のタイプ	藻場面積 伊勢湾（三河湾分）	構成比 （%）
アマモ場	516(390)	18.0%
ガラモ場	376(248)	13.3%
アラメ場	305(0)	10.8%
ワカメ場	438(0)	15.5%
アマモ場・ガラモ場・アラメ場・ワカメ場を含む混在	1,095(0)	38.7%
テングサ場	7(0)	0.2%
その他	92(0)	3.3%
総計	2,829(638)	100%

注) 藻場面積の（ ）は、三河湾の藻場面積を表す。

(出典) 環境庁 第4回自然環境保全基礎調査より作成

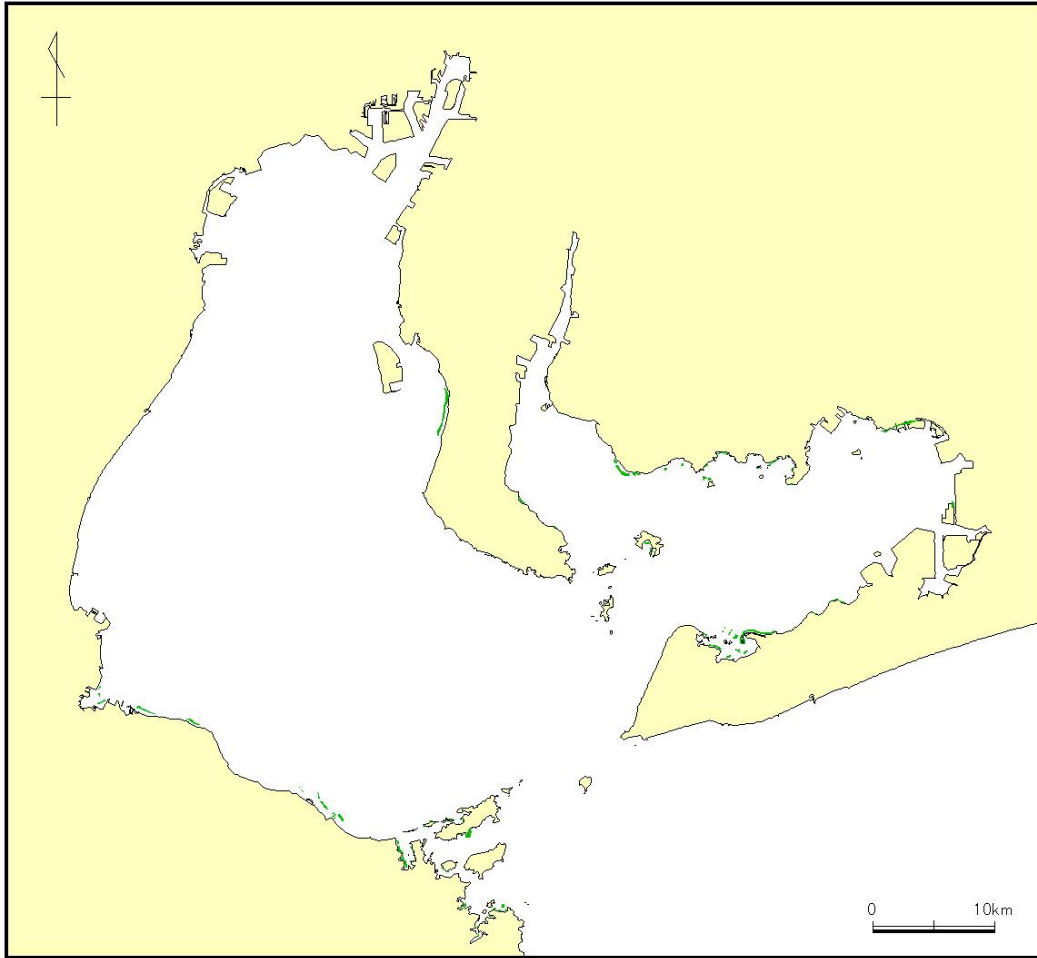
2) 伊勢湾の検討対象種の抽出に用いた資料

伊勢湾では、アマモ場、ガラモ場、アラメ場、ワカメ場、テングサ場が確認され、検討対象種は、これらの藻場を構成する種を中心に選定することとした。

検討対象種の選定に当たっては、表 3.1.5 に示す資料から生育している海藻草類を整理し選定した。また、これらの文献に挙げられていない種について、平成 19 年度～21 年度にかけて開催された「閉鎖性海域中長期ビジョンに係る懇談会 目標設定 WG」の検討によって追加した。

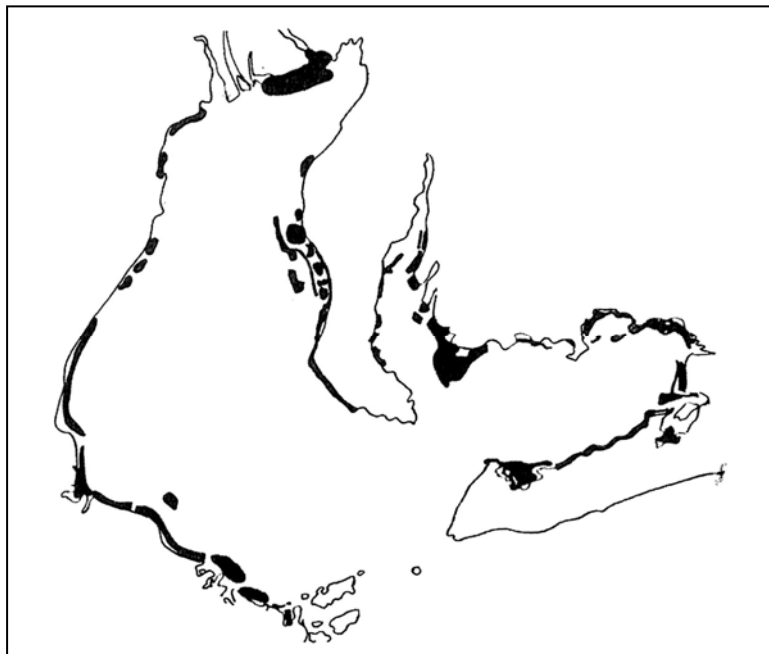
表 3.1.5 伊勢湾に生育する海藻草類がまとめられている既存資料

資料名	発行者[年]
「日本の干潟、藻場、サンゴ礁の現況」	環境庁[1997]
「中部新国際空港の漁業に関する調査報告書 平成 7 年度調査報告（4 か年とりまとめ）」	社団法人 日本水産資源保護協会[1996]
「三重県科学技術振興センター共同研究事業 伊勢湾の生態系の回復に関する研究」（平成 12 年度、13 年度、14 年度）	三重県科学技術振興センター・三重大学・京都大学・東海大学[2001、2002、2003]
平成 14 年度 名古屋技調報告「伊勢湾内藻場・貧酸素水塊調査（藻場編）」	国土交通省 中部地方整備局 名古屋港湾空港技術調査事務所[2002]



(出典) 環境庁 第4回自然環境保全基礎調査より作成

図 3.1.3 伊勢湾における近年（1990年代）のアマモ場分布域



(出典) 伊勢湾研究会編（1995）

図 3.1.4 伊勢湾における過去（1955年）のアマモ場分布域

(4) 瀬戸内海における検討対象種の選定

1) 瀬戸内海における藻場の分布

瀬戸内海の藻場のタイプ別の面積を表 3.1.6 に、分布図を図 3.1.5 示した。瀬戸内海では、アマモ場、ガラモ場、アラメ場の順に面積が広く、3つのタイプの藻場で全体の藻場の約6割を占める。瀬戸内海中部の備後灘、備讃瀬戸、備後灘、安芸灘等でアマモ場が広く、瀬戸内海西部の周防灘や豊後水道でガラモ場が広い。

瀬戸内海の藻場面積の推移を表 3.1.7 に示したが、1960年には約2万3千haの広大なアマモ場が広がっていたが、近縁はその1/3以下に減少している。

瀬戸内海では、アマモ場、ガラモ場、アラメ場及びワカメ場、テングサ場、アオサ・アオノリ場、その他の藻場が確認された。

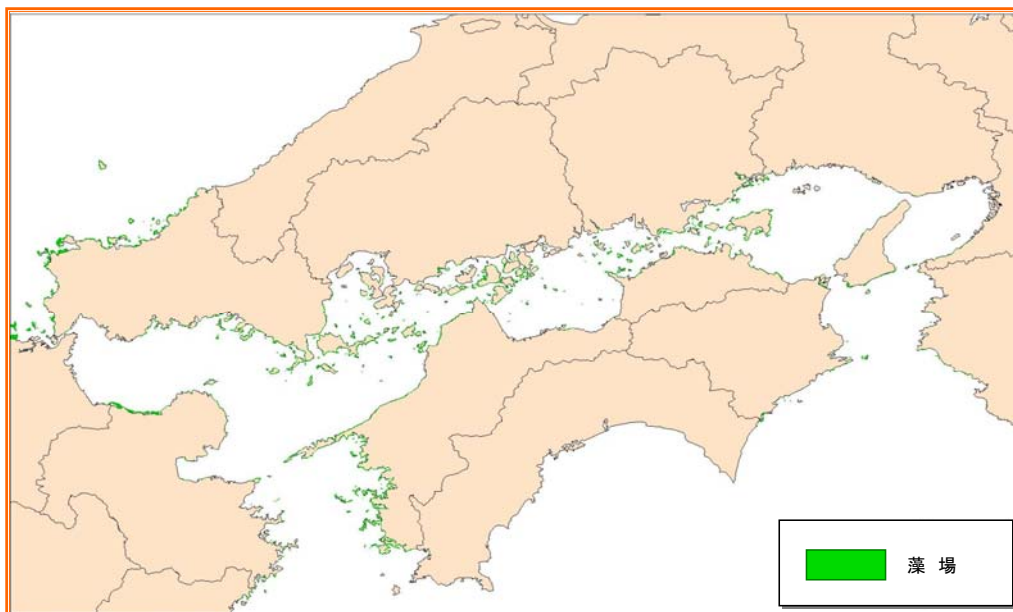
表 3.1.6 瀬戸内海の藻場のタイプと面積

現存藻場の タイプ別面積 (ha)	瀬戸内海												
	合計	内訳											
		大阪湾	播磨灘	紀伊水道	燧灘	備讃瀬戸	備後灘	安芸灘	広島湾	伊予灘	別府湾	周防灘	豊後水道
アマモ場	6381 (24%)	12	204	226	1,111	1,426	510	1,738	204	495	85	363	7
ガラモ場	5511 (21%)	98	331	381	383	429	157	999	124	349	125	821	1,314
アラメ場	4617 (17%)	26	37	928	149	0	0	229	35	1,159	81	575	1,398
ワカメ場	896 (3%)	267	278	16	1	133	0	71	0	10	10	110	0
テングサ場	1250 (5%)	89	28	209	0	52	2	6	31	257	51	491	34
アオサ、 アオノリ場	4667 (18%)	200	357	61	108	617	85	86	101	228	85	2,664	75
その他	3102 (12%)	198	48	115	103	8	426	620	128	154	60	1,120	122
合計	26,424ha (100%)	890ha	1,283ha	1,936ha	1,855ha	2,665ha	1,180ha	3,749ha	623ha	2,652ha	497ha	6,144ha	2,950ha

注) 「第4回自然環境保全基礎調査報告書」(環境庁、平成元年～4年)より作成

同一の藻場で複数のタイプが存在する場合、複数のタイプに各々同面積が重複して計上されている。

(出典) せとうちネット「瀬戸内海の環境情報」(<http://www.seto.or.jp/seto/kankyojoho/index.htm>)



(出典) 環境庁 第4回自然環境保全基礎調査より作成

図 3.1.5 瀬戸内海の藻場分布図

表 3.1.7 瀬戸内海における藻場面積の推移

調査年度	アマモ場面積	ガラモ場面積
1960	22,635	—
1966	10,623	—
1971	5,574	4,529
1978	7,011	5,729
1989～90	6,381	5,511

(単位:ha)

(出典) せとうちネット「瀬戸内海の情報」
http://www.seto.or.jp/seto/kankyojoho/sizenkankyo/moba_higata.htm
 1960、1966、1971年は水産庁南西海区水産研究所調査
 1978、1989～1990年は、第4回自然環境保全基礎調査(環境庁)より作成

2) 瀬戸内海の検討対象種の抽出に用いた資料

瀬戸内海では、アマモ場、ガラモ場、アラメ場及びワカメ場、テングサ場、アオサ・アオノリ場が確認されており、検討対象種は、表 3.1.8 に示す資料から、これらの藻場を構成する種を中心に生育している海藻草類を整理し選定した。

表 3.1.8 瀬戸内海に生育する海藻草類がまとめられている既存資料

資料名	発行者[年]
「日本の干潟、藻場、サンゴ礁の現況」	環境庁[1997]
「沿岸海域藻場調査 瀬戸内海関係海域藻場分布調査報告－藻場の分布－」	南西海区水産研究所[1979]
「順応的管理による海辺の自然再生」	国土交通省 港湾局（監修）[2007]
「海藻の生態と藻礁」	徳田廣・川嶋昭二・大野正夫・小河久朗 編集[1991]
「21 世紀の海藻資源 -生態機構と利用の可能性-」	大野正夫編[1996]

(5) 検討対象種の選定

各湾に生育している海藻草類について文献を整理し、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海で現在及び過去に確認されている藻場を構成する種を表 3.1.9 に示すとおり選定した。

なお、アオサ・アオノリ場に生育するアオサ類等は主に干出時間の長い潮間帯上部から中部に生育し（能登谷 2003）、水中の生育時間が短く透明度との関連が低いと考えられるため、除外することとした。

表 3.1.9 検討対象種の選定

NO.	藻場の種類	和名	学名	東京湾	伊勢湾	瀬戸内海
1	アマモ場	アマモ	<i>Zostera marina</i>	●	●	●
2		ウミヒルモ	<i>Halophila ovalis</i>	●		●
3		エビアマモ	<i>Phyllospadix japonica</i>	●	●	
4		コアマモ	<i>Zostera japonica</i>	●	●	●
5		タチアマモ	<i>Zostera caulescens</i>	●		●
6	ガラモ場	アカモク	<i>Sargassum horneri</i>	●	●	●
7		イソモク	<i>Sargassum hemiphyllum</i>	●	●	●
8		ウミトラノオ	<i>Sargassum thunbergii</i>	●		●
9		エンドウモク	<i>Sargassum yendoii</i>		●	●
10		オオバノコギリモク	<i>Sargassum giganteifolium</i>			●
11		オオバモク	<i>Sargassum ringgoldianum ssp. ringgoldianum</i>	●		
12		コブクロモク	<i>Sargassum crispifolium</i>		●	
13		シダモク	<i>Sargassum filicinum</i>			●
14		ジョロモク	<i>Myagropsis myagroides</i>	●	●	●
15		スナビキモク	<i>Sargassum ammophilum</i>	●		
16		タマナシモク	<i>Sargassum nipponicum</i>		●	
17		タマハハキモク	<i>Sargassum muticum</i>	●	●	
18		トゲモク	<i>Sargassum micracanthum</i>		●	●
19		ナラサモ	<i>Sargassum nigrifolium</i>	●		●
20		ネジモク	<i>Sargassum sagamianum</i>			●
21		ノコギリモク	<i>Sargassum macrocarpum</i>			●
22		ハハキモク	<i>Sargassum miyabei</i>			●
23		ヒジキ	<i>Sargassum fusiformis</i>	●	●	●
24		ヒラネジモク	<i>Sargassum okamurae</i>		●	
25		フシスジモク	<i>Sargassum confusum</i>			●
26		フタエモク	<i>Sargassum duplicatum</i>		●	
27		ホソバモク	<i>Sargassum angustifolium</i>			●
28		ホンダワラ	<i>Sargassum fulvellum</i>	●		●
29		マメタワラ	<i>Sargassum piluliferum</i>		●	●
30		ヤツマタモク	<i>Sargassum patens</i>	●	●	●
31		ヤナギモク	<i>Sargassum ringgoldianum ssp. coreanum</i>			●
32		ヨレモク	<i>Sargassum siliquastrum</i>		●	●
33	ヨレモクモドキ	<i>Sargassum yamamotoi</i>		●		
34	アラメ場	アラメ	<i>Eisenia bicyclis</i>	●	●	●
35		カジメ	<i>Ecklonia cava</i>	●	●	●
36		クロメ	<i>Ecklonia kurume</i>	●		●
37	サガラメ	<i>Eisenia arborea</i>		●		
38	ワカメ場	アオワカメ	<i>Undaria peterseniana</i>			●
39		ヒロメ	<i>Undaria undarioides</i>			●
40		ワカメ	<i>Undaria pinnatifida</i>	●	●	●
41	テングサ場	オオブサ	<i>Gelidium pacificum</i>		●	
42		オバクサ	<i>Pterocladia capillacea</i>		●	●
43		ヒメテングサ	<i>Gelidium divaricatum</i>			●
44		ヒラクサ	<i>Ptilophora subcostata</i>		●	●
45		マクサ	<i>Gelidium elegans</i>		●	●
46		ユイキリ	<i>Acanthopeltis japonica</i>		●	
47	オゴノリ場	オゴノリ	<i>Gracilaria asiatica</i>	●	●	●
種数				21	28	35

3.2 検討対象種の必要光量からみた透明度目標値の設定

3.2.1 検討対象種の必要光量からみた透明度の算出方法

(1) 必要光量からみた透明度の算出手順

検討対象種の必要光量からみた透明度目標値は図 3.2.1 に示す手順で行った。

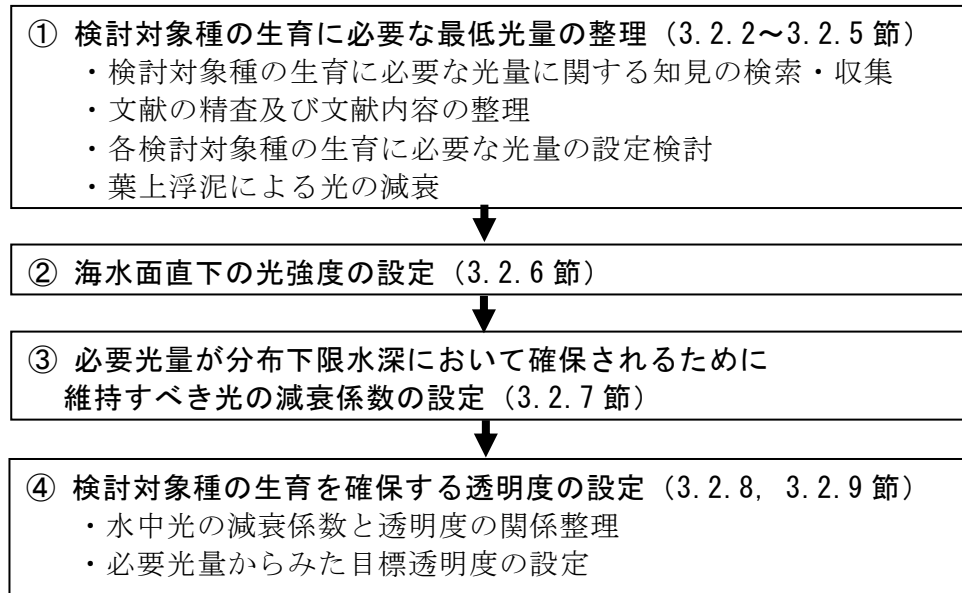


図 3.2.1 検討対象種の必要光量からみた透明度目標値の設定手順

(2) 必要光量からみた透明度の算出方法

水中での光量の減衰は Lambert-Beer の法則にしたがう (石川ら 1988)。

$$A = B \cdot \exp(-kz) \quad (1)$$

(A: 水深 z における水中光量、B: 水面直下の水中光量、k: 減衰係数)

式 1 より、ある深度の水中光量が算定でき、検討対象種の分布下限水深における光量の推定にも用いられている (石川ら 1988、神奈川県環境農政部水産課 2006、Dennison W.C. et al.1987)。そこで、透明度目標値の算定は以下のように行った。

まず、検討対象種の生育に最低限必要な光量(A)を既往の科学論文等から収集した。次に、全天日射量データから水面の反射や吸収分を除いた海水面直下に透過する光強度 (B) を求め、今後確保すべき分布下限水深 z (m) において、検討対象種の生育に必要な最低光量(A)を確保するために必要とする光の減衰係数 k を求めた (式 2)。

$$k = -\frac{1}{z} \ln(A/B) \quad (2)$$

減衰係数と透明度は、Poole and Atkins (1929) に従い、得られた光の減衰係数

kをもとに、海域の特性によって異なる定数 (D) を設定し、確保すべき分布下限水深における目標透明度 (Tr) を算定した (式 3)。

$$Tr = D/k \quad (3)$$

(D: 定数、Tr: 透明度)

なお、本検討では検討対象種である海藻草類の生育を確保するという視点から、発芽直後等のように生活史の初期段階も考慮し、確保すべき光量が海底面で満たされるように透明度目標値を設定することとした。また、水深の基準は平均水面とした。水中光量については、光合成に有効な波長範囲である波長 400~700nm (山田ら 1983) の光合成有効放射 (Photosynthetic Active Radiation: PAR) を対象として検討した。

また、海藻草類が生育できる光量が生育水深まで到達しても、海藻草類の葉上等に浮泥が堆積することで海藻草類が受けられる光量は減衰してしまう (玉置ら 1999、平岡ら 2001、川崎ら 1991)。しかしながら、浮泥による光量の減衰は浮泥中の有機物含有量等、浮泥の質の違いによっても影響の程度が異なることが報告されている (川崎ら 1991)。そのため、海域ごとに個別に検討する必要がある、その影響を統一的に設定することは困難であると考えられる。そのため、透明度の目標値設定では浮泥の影響は考慮しないこととした (浮泥の影響検討は、「3.2.5 葉上浮泥による光の減衰」参照)。

3.2.2 検討対象種の生育に必要な光量に関する知見の検索・収集

(1) 文献の検索・収集方法

1) 文献収集に用いたデータベースについて

検討対象種の生育に必要な光量に関する知見については、国内及び海外で発表されている学術論文、研究報告、事業報告等を対象とする文献検索により収集した。文献の検索にあたっては、国内で発表された技術文献の保有数が多い JST 文献検索サービス (JDream II) のほか、国立国会図書館蔵書検索・申込システム (NDL-OPAC)、Google Scholar、Science Direct を利用した。

表 3.2.1 検討対象種の必要光量に関する知見収集に用いたデータベース

サービス名	概要	収録件数	対象としている分野	利用可能なデータベース	作成・管理	備考
JST文献検索サービス (JDream II)	科学技術や医学・薬学関係の文献情報を手軽に検索できるようにしたデータベースサービス	4900万件 (2009年2月)	科学技術系のジャーナル、学会誌、協会誌、企業・大学・独立行政法人・公設試験場等の技術報告、業界誌、臨床報告等	JSTPlus, JST7580, JMEDPlus, JCHEM, MEDLINE, JSTChina, JSTPatM, 医学・薬学予稿集全文データベース, JAPICDOC 等	独立行政法人科学技術振興機構	有料
国立国会図書館蔵書検索・申込システム (NDL-OPAC)	和図書、洋図書、和雑誌新聞、洋雑誌新聞、電子資料、和古書・漢書、博士論文、規格・テクニカルレポート類等を検索できる図書館蔵書データベース	1847万件 (2008年8月1日現在)	【規格資料】 ISO、IEC、JIS、英文JIS等、国際規格や国家規格、その他内外の団体規格等。 【テクニカルレポート】 米国政府研究開発リポート (PB、AD、DOE、NASA等)、INISリポート、RANDリポート等。 【学協会ペーパー】 主として4学会 (AIAA、ASME、SAE、SME) のペーパー (プレプリント)。 【UMI博士論文】 UMIが頒布する北米博士論文のうち、科学技術分野のもの。	—	国立国会図書館	無料
Google Scholar	学術出版社、専門学会、プレプリント管理機関、大学、及びその他の学術団体の学術専門誌、論文、書籍、要約、記事を検索できるサービス。	—	学術専門誌、論文、書籍、要約等	—	Google	無料
Science Direct	エルゼビア社が発行する1800以上の科学・技術・医学・社会科学分野の雑誌を掲載した電子ジャーナルサービス。	約1800万件	科学・技術・医学・社会科学分野	—	エルゼビア社	有料

2) 文献を検索するキーワードについて

文献の検索にあたっては、以下のキーワードを用いた。キーワードの組み合わせの例は図 3.2.2 に示すとおりである。

検討対象種に関するキーワード：検討対象種名（和名、学名）

必要光量に関するキーワード：

光（Light）、水深（Depth）、透明度（Tranceparency）、分布（Distribution）、下限（Limit）等

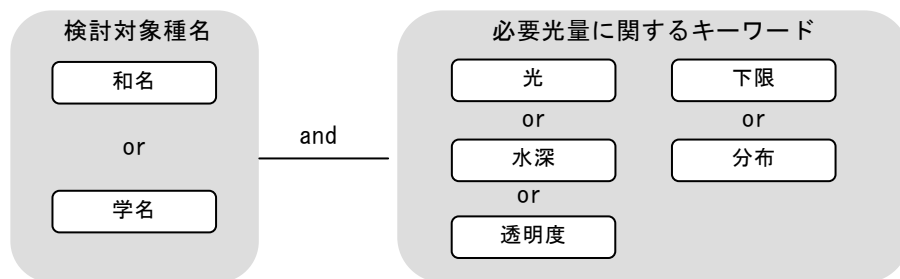


図 3.2.2 検索キーワードの組み合わせ

3.2.3 文献の精査及び文献内容の整理

(1) 光強度を示す単位について

海藻草類と光量に関する文献において、光の強さは観測時に使用する機器によって、照度 (lux : ルックス)、エネルギー ($W \cdot sec$: ワット秒、cal : カロリー)、光量子 (E : アインシュタイン、mol : モル) 等で示されていた。光合成の反応は、光量子によって駆動されるため、光合成では光量子単位での測定が最適とされている (高橋ら 1996)。実際に、光の強さは多くの文献で「 $\mu E/m^2/s$ 」、「 $\mu mol/m^2/s$ 」、または、その 1 日の積算値である日積算光量「 $E/m^2/d$ 」、「 $mol/m^2/d$ 」が用いられていた。

そこで、本検討では検討対象種が生育に必要とする光強度を日積算光量「 $mol/m^2/d$ 」で評価することとし、その他の値で示されている文献については、比較検討するために日積算光量に換算し、単位は「 $mol/m^2/d$ 」で統一的に示すこととした。E (アインシュタイン) で記載されている文献の単位は、そのまま mol に読み替え、「 $E/m^2/d$ 」、「 $\mu E/m^2/s$ 」は、それぞれ「 $mol/m^2/d$ 」、「 $\mu mol/m^2/s$ 」と読み取った。

(2) 文献の精査及び文献内容の整理

収集・整理した文献の中から、検討対象種の生育に対する必要光量に関する記載がある文献を抽出した。

収集・整理した検討対象種の必要光量に関する情報は、①現地調査を行って把握した事例、②水槽等で光条件を人工的に操作して生長・生残状況を観察した事例 (以下、「水槽実験」とした)、③生理的な側面から光合成や呼吸量をプロダクトメーター (差働式検容計) (横浜ら 1988) 等を用いて光条件を変えて測定して、補償光量を把握した事例 (以下、「光合成実験」とした) の 3 つに分類された。それぞれの調査方法の特徴を以下に示す。

1) 現地調査による検討対象種の必要光量の把握

現地調査では、実海域において検討対象種が分布している下限水深における光量を連続観測した事例、陸上で観測した全天日射量、分布下限水深、水中の光減衰率から分布下限水深における光量を推定した事例が得られた。

各検討対象種の分布下限水深とは、分布が認められる最深部とし、被度が低く生育状況が点生でも生育が認められた最も深い水深とした。

現地における水中光量を連続観測した事例では、ある期間分布下限水深に光量を観測する機器を設置し、その調査期間の日積算光量の平均値を示していた。

分布下限水深における光量を推定した事例では、水中での光量の連続観測は行わずに、検討対象種の分布下限水深を詳細に調査して把握し、併せてその近傍で光量を鉛直的に観測して減衰曲線を作成し、光の減衰係数を把握している。同時に陸上で観測した全天日射量から、光の減衰係数を用いて検討対象種の分布下限水深における水中光量を推定している (石川ら 1988)。この手法は、全天日射量については気象庁

観測による長期間のデータが蓄積されているため、変動の大きい全天日射量の月平均や年平均などの統計値が得られ、この値を換算して分布下限水深における日積算光量の月平均や年平均が把握できる（全天日射量から水中の日積算光量の換算方法は「3.2.6 海水面直下における光強度の設定」参照）。ただし、海中における光の減衰に最も影響する要因は懸濁物質の反射や選択的吸収等の光学的性状であり、これも場所、季節によってかなり異なることが分かっている（古川ら 1961、井上 1977、須藤ら 1992）。そのため、水中の光の減衰係数は年間を通して頻度高く計測されていることが重要である。

全天日射量から分布下限水深の水中光量を推定する手法について、その推定値の妥当性を検証するために、現地で水中光量を実測値と対比させた事例が得られた。その結果、両者は潮位変動等によって多少の差はみられたものの、7～10月の3ヵ月の期間平均ではほぼ同程度の値が得られたとしている（藤澤ら 2001）。したがって、本検討においては全天日射量から分布下限水深の水中光量を推定する方法と実際に水中光量を連続観測した手法の両方について知見を整理した。

実海域の分布下限水深は、波浪や流況などの影響を受けながら決定されており、その場の光量は対象種が長期間に渡って生育できる最低光量を示す値としては最も現状を反映した値であると考えられる。

2) 水槽実験による検討対象種の必要光量の把握

水槽実験では、人工的に光量を操作した水槽内で一定期間海藻草類を培養し、光量と生育状況について把握している。

この手法の特徴としては、光条件に限定して詳細にその影響を把握することが可能である。しかし、飼育期間が数週間から1ヵ月程度と短期間である場合が多く、その光量条件下における長期間の生育状況については不明である。また、静穏で様々な条件が制御された水槽内での結果は、葉上の堆積物や潮汐変動、光量の変動等、実海域で海藻草類に到達する光量を制限する要因は考慮されていないため、生育に必要な光量を過小評価している可能性がある（U. S. EPA 2003）。また、このような水槽実験では、光量を変えたいくつかの実験区が設けてあるが、実験区の光量の設定間隔が大きい場合は生長に最低限必要な光量を正確には把握しにくいという課題が残る。そこで、水槽実験からは、生長が認められた最低光量、生長が認められなかった光量、低光量条件下における生残状況について把握した。

3) 光合成実験による検討対象種の必要光量の把握

光合成実験では、海藻草類の一部もしくは小型の藻体全体を用いて光合成速度や呼吸速度を測定し、光合成による生産と呼吸による消費が等しくなる光量である補償光量が求められている。

この手法の特徴としては、検討対象種の補償光量が得られ、この光量は海藻草類が生育に最低限必要な光量であると考えられる。ただし、実験時間が非常に短く、実験

に用いるのは光合成を行う海藻草類の一部であることが多い。U. S. EPA (2003) の検討においても、短期的な光合成実験から、対象種の生長に必要なとする光量を求めるのは課題があり、最低必要光量を求めるためには光合成と呼吸の均衡だけでなく、増殖要件や被食による減少、葉の枯死分等を考慮する必要があるとしている。

したがって、光合成実験によって得られる補償光量は、実海域の分布下限水深の光量よりも小さい値が得られると考えられる。このため、実海域で得られた光量が補償光量を上回っているか、大きく乖離していないか、前述の現地調査で得られた値の妥当性を検証するために利用することとした。

3.2.4 各検討対象種の生育に必要な光量の設定

(1) アマモ

1) 収集文献内容の精査と整理

収集した文献の中から、アマモの生育に必要な最低光量に関する記載がある文献を抽出した。

アマモの生育に必要な最低光量に関する文献は、現地調査でアマモの分布下限水深において光量を実測した事例や、分布下限水深を調査し、水中光量の鉛直観測から水中の光の減衰係数を把握し、その海域の日射量データから分布下限水深における水中光量を推定した事例、水槽実験によって人工的に光条件を操作し生育状況を観察した事例、光合成実験によって補償光量を把握した事例が得られた。

収集・整理した文献から、特に現地調査事例について以下のような文献については、検討対象種の生育に必要な最低光量が得られないと考えられ除外することとした。

<精査の結果で除外した文献の条件>

- ・現地調査で藻場における光量が観測されてはいるが、観測地点が分布下限水深でない事例
- ・現地調査で藻場の分布下限水深が、底質条件や他種との競合など光量条件以外で決定されると考えられる事例
- ・現地調査で、光量の観測期間が極短期間（数日間）である事例
- ・現地調査で、水中の光強度を数日間鉛直観測して海面との相対値（%）を示しており、光強度の絶対値が不明な事例
- ・水槽実験で生育に最適な光量を測定することが目的で、弱光量条件の実験区が設定されていない。
- ・水槽実験や光合成実験で、赤色光、青色光など特殊な光源を用いて生長状況を観察している事例

また、アマモの生育に必要な最低光量については、国内の文献で多くみられた日積算光量 ($E/m^2/d$ ($=mol/m^2/d$)) の年間平均値や調査期間平均値で示されている文献

の他に、海外の文献では、一定の光量以上の光の照射時間で評価している事例がみられた (Dennison et al. 1985、Dennison et al. 1986、Dennison et al. 1987、Zimmerman.R.C 1995、Moore et al. 1997)。例えば、Dennison et al. (1985) は、アマモの生育には6~8月では飽和光量に相当する $100 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上の光量が1日に6~8時間以上必要であるとしている。国内の研究では、このような最低必要光量の評価方法はほとんど用いられておらず、川崎ら (1990) が唯一、神奈川県小田和湾における調査結果を上記の Dennison et al. (1985) の結果と比較している。この結果によると、小田和湾でアマモが群落として密生している水深では $100 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上の光量が6~8月では1日に8ないし9時間で、ほとんど生育していない場所では2ないし3時間であり、結果は一致していたとしている (川崎ら 1990)。ただし、アマモの生育に必要な光量を表す手法として日積算光量による評価と一定光強度以上の日照時間による評価のどちらが妥当であるかは、今後の知見を積み重ねて検討する必要があるとしている (川崎ら 1990)。以上のことから、本検討ではある光量以上の日照時間による最低必要光量の評価は行わなかった。

2) アマモの多年生、一年生について

アマモは、神奈川県の小田和湾では、3月頃より一部の株 (栄養株) が花枝に変化し、種子ができる。6月中旬から下旬には種子が熟して花穂から脱落し、冬まで海底の砂に埋まっている。1月頃発芽し、6月下旬まで草丈が伸びるとともに、分枝しながら増える (川崎 1988)。地域によって時期的なずれは若干あるが基本的なサイクルは変わらず、このようなアマモを多年生のアマモといい、周年、アマモ場がみられる。日本ではこのようなアマモ場が多いが、鹿児島湾や岡山県牛窓、浜名湖等では夏から秋にかけて消失するアマモ場がある。このような場所のアマモは発芽後1年以内に種子をつくり、枯死する一年生のアマモである (川崎 1988)。一年生のアマモの派生条件は明らかになっていないが、一年生のアマモが生育する場所の特徴として、水深が深い場所、高水温、夏季の貧酸素、汽水域、低い光透過率等が挙げられ、アマモの生育にとって厳しい環境条件の場所で形成されることが多い (水産庁 2007、川崎 1988)。

本検討において収集した文献では、多年生、一年生アマモの区別を明記している文献はほとんどなく、現地調査の事例では主に周年藻場が維持される多年生のアマモ場を対象にされていたため、目標値の設定は多年生のアマモが生育できる光量として設定することとした。

3) 文献別の必要光量の読み取り

i) 現地調査によるアマモの必要光量

現地調査では、分布下限水深における光量が観測もしくは推定されており、5つの海域におけるアマモの分布下限水深の日積算光量を読み取った(表 3.2.2)。

石川ら(1988)は、小田和湾の湾口部、湾奥部の2カ所の藻場における光の減衰係数とアマモの分布下限水深を実測値し、全天日射量の月平均統計値を用いて分布下限水深の日積算光量の月平均値を推定している。推定方法は、まず、水面直下の水中光量(I_0) ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$)の月平均値を以下の式によって求めている。

$$I_0 (\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}) = \text{全天日射量} (\text{MJ}/\text{m}^2) \times 0.42 \times 0.79 \times 0.20 \times 23.4$$

全天日射量(MJ/m^2)は理科年表の日積算量の月平均値を用い、0.42は全天日射量に占める光合成有効放射(PAR)の割合(Bassham 1977, 古川・須藤、1979)、0.79は海面での反射、吸収による減衰率(水面直下の光量/水面の光量)で実測値から設定、0.2はcalとmol(モル)の換算係数($1\text{cal}/\text{cm}^2/\text{d}=0.2\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$)、23.4はMJとcalの換算係数($1\text{MJ}/\text{m}^2=1/0.0428\text{cal}/\text{cm}^2=23.4\text{cal}/\text{cm}^2$)である。

次に、水中での光の減衰は、実測値から得た現場の減衰係数と分布下限水深から、以下の式(有賀、横浜 1979)を用いて分布下限水深における水中光量の日積算光量の月平均値から年平均値を求めている。

$$I = I_0 e^{-kz} \quad (k: \text{減衰係数}, z: \text{分布下限水深})$$

その結果、日積算光量の年間平均値は、湾奥部では $3.1 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{d}$ (水深4.5m)、湾口部で $3.0 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{d}$ (水深6.5m)としている。

同文献の山口県柳井湾の事例は、分布下限水深、減衰係数について既存の調査結果を引用して、上記の小田和湾と同様の方法で分布下限水深における日積算光量を推定している。その結果、柳井湾ではアマモが点生している地点では $2.9 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{d}$ (水深5.0m)であったとしている。

平岡ら(2005)は、広島県岩国地先のアマモ場の分布下限水深において、1~2ヵ月ごとに2~3週間光量を連続観測している。その結果、日積算光量は観測した調査月ごとの平均値で $0.9\sim 6.6 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{d}$ の範囲であり、その年間平均値は $3.3 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{d}$ が得られている。

平岡ら(2000)は、広島県岩国地先のアマモ場の分布下限水深付近における日積算光量を、約1年半に渡り毎月実測した減衰係数と既往の全天日射量データから推定している。分布下限水深における日積算光量の年間平均は $3 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{d}$ 、最も低い月は $1 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{d}$ が得られた。

吉田ら(2004)は、三河湾のアマモ場群落中心の群落直上と底層付近で光量を連続観測し、アマモの生育に必要とされる年間平均光量 $3 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{d}$ (石川ら 1988)になる水深はD.L.-1.8mと推定され、実際の下限水深D.L.-1.6mとほぼ等しかったとしている。

Thom and Southard(2008)からは、アメリカ西海岸のSequim Bayにおいて、6~9月に鉛直観測で藻場の分布下限水深(MLLW, -4.9m)の光量を観測した事例では、日

積算光量の調査期間中の平均で 2.6 mol/m²/d が得られた。

以上のように、アマモの分布下限水深における光量の観測や推定結果から、アマモの分布下限水深における光量は海域によって若干異なり、2.9 mol/m²/d (柳井湾) ~ 3.3mol/m²/d (広島湾) の範囲であった。アマモの生育に対する安全側をとると、分布下限水深の光量から得られたアマモの生育に必要な最低光量は、日積算光量の年間平均値で 3.3 mol/m²/d となる。

表 3.2.2 アマモの生育に必要な光量に関する文献の読み取り結果 (現地調査)

NO.	場所	必要光量に関する調査方法、結果	アマモの生育に必要な光量 (日積算光量 (mol/m ² /d))	出典
①	神奈川県 小田和湾	<p>●方法：小田和湾近傍の日射量データ (東京・月別平均値) を用い、実測した減衰係数から分布下限水深の日積算光量の年間平均値を推定した。</p> <p>●結果：2 ヶ所の分布下限水深における日積算光量の年間平均値： St.A : 3.1 mol/m²/d (水深 4.5m) St.B : 3.0 mol/m²/d (水深 6.5m)</p>	<p>St.A : 3.1 mol/m²/d St.B : 3.0 mol/m²/d (いずれも年間平均値)</p>	石川ら (1988)
②	山口県 柳井湾	<p>●方法：上記①と同様の方法で、柳井湾におけるアマモの分布下限水深、減衰係数 (既往知見より)、広島の全天日射量から、アマモの分布下限水深における日積算光量の年間平均値を推定した。</p> <p>●結果： アマモの分布下限水深 : 2.9 mol/m²/d (水深 5.0m) 分布がみられない水深 : 1.8 mol/m²/d (水深 6.3m) : 2.5 mol/m²/d (水深 5.3m)</p>	2.9 mol/m ² /d (年間平均値)	石川ら (1988)
③	広島湾 岩国地先	<p>●方法：アマモ分布下限水深付近における光量子計による測定を 2000 年 12 月~2001 年 10 月に 1~2 ヶ月ごとに調査を行った。1 回の調査は 2~3 週間連続観測した。日積算光量の年間平均値を算定。</p> <p>●結果：アマモの分布下限水深の日積算光量 日積算光量の月平均 : 0.9 ± 0.4 ~ 6.6 ± 2.7 mol/m²/d 日積算光量の年間平均 : 3.3 mol/m²/d (水深 4m (原記載 D.L. -2m より換算))</p>	3.3 mol/m ² /d (年間平均値)	平岡ら (2005)
④	広島湾 岩国地先	<p>●方法：光量子量を月に 1 回鉛直観測し、全天日射量 (広島) からアマモの分布下限水深における日積算光量を推定した。 期間：1996 年 9 月~98 年 3 月 (1 年半)</p> <p>●結果： 日積算光量の年間平均値 : 3mol/m²/d (水深 4m (原記載 D.L. -2m より換算))</p>	3.0 mol/m ² /d (年間平均値)	平岡ら (2000)
⑤	三河湾 三谷町地先	<p>●方法：アマモ場群落直上で 2000 年 4 月~01 年 2 月、隔月 10 日間連続観測し、石川ら (1988) が求めたアマモの生育に必要とされる日積算光量 3mol/m²/d の水深を推定。</p> <p>●結果：2 ヶ所で実測した光量から減衰係数を算定し、日積算光量の年間平均値が計算上 3mol/m²/d となる水深は、D.L. -1.8m (水深約 3.1m) と推定され、実際の分布下限水深 D.L. -1.6m (水深約 2.9m) とほぼ一致した。</p>	— (日積算光量の年間平均値が 3 mol/m ² /d になる水深と実際の分布下限水深がほぼ一致)	吉田ら (2004)
⑥	Puget sound (USA)	<p>●方法：アマモの群落分布下限水深 (水深 4.9m) 及び分布下限水深 (水深 6.1m) において、日積算光量を観測。光量の測定は 2002 年 6~9 月に測定。</p> <p>●結果：群落分布下限水深における日積算光量の調査期間の平均値 2.6 mol /m²/d ・分布下限水深の光量：平均 2.3 mol/m²/d (水温目安夏季：12-14℃、冬季 6-8℃) () の単位は文献の原記載。</p>	(2.6 mol/m ² /d) (6~9 月の期間平均値)	Thom and Southard (2008)

ii) 水槽実験によるアマモの必要光量

水槽実験から得られたアマモの生育に必要な最低光量を表 3.2.3 に示した。

川崎ら (1988) は、日積算光量が 1.1~19.8 mol/m²/d の範囲でのアマモの生長量の違いを実験で確認した。この実験によると、8~10 月 (水温 21~26℃) に光量 1.1mol/m²/d では 1 ヶ月間分枝はしなかったがまったく枯死せず、2 ヶ月後には生残率は 60%に低下した。光量 2.1mol/m²/d の実験区でも 2 ヶ月間で分枝はみられず、生残率 70%であり、この程度の光量では葉長、地下茎長の生長抑制が顕著であった。光量 5.7 mol/m²/d 以上の実験区では分枝がみられている。

以上のことから、水温 21~26℃では光量が 2.1 mol/m²/d では長期間の生育は困難と考えられる。生長が認められる最低光量については正確な値は得られず、水温が 21~26℃程度では光量が 2.1 mol/m²/d では 2 ヶ月以上の生残のためには不足していると考えられる。

表 3.2.3 アマモの生育に必要な光量に関する文献の読み取り結果 (水槽実験)

NO.	必要光量に関する調査方法、結果	アマモの生育に必要な光量 (日積算光量 (mol/m ² /d))	文献
⑦	<ul style="list-style-type: none"> ●方法：陸上水槽にアマモを移植し、園芸用遮光ネットによって、日積算光量が 0~20mol/m²/d の範囲で 5 段階 (1.1、2.1、5.7、8.1、19.8 mol/m²/d) に実験区を設定し、生長、生残を観察した。 ・実験期間：8~10 月 ・水温：約 21~26℃ ●結果： ・光量が 1.1mol/m²/d、2.1mol/m²/d の実験区は 2 ヶ月経過しても分枝せず、葉長、地下茎長の生長抑制が顕著であった。 ・1.1 mol/m²/d では、1 ヶ月間は枯死しないが、2 ヶ月続くと生残率は 60%になり、2.1mol/m²/d では 2 ヶ月で生残率は 70%であった。 ・5.7 mol/m²/d 以上の実験区は分枝がみられた。 	2.1mol/m ² /d 以下では生長が抑制され、2 ヶ月後の生残率が 60~70%。	川崎ら (1988)

iii) 光合成実験によるアマモの必要光量

光合成実験は、プロダクトメーターを用いて光条件を変えて光合成および呼吸速度を測定した文献が収集され補償光量を読み取った（表 3.2.4）。また、得られた補償光量は、現地調査や水槽実験値と比較するために、生育に必要な最低限の1日の光量（倉島ら 1996）として、単位を「 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ 」に換算し括弧内に併記した。これを日補償積算光量とした。換算には横浜（2008）の考えを用い、夜間の呼吸分を考慮して生育に必要な光量として定義し、日補償積算光量（ $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ ）＝補償光量（ $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ） $\times 24$ 時間 $\times 60$ 分 $\times 60$ 秒 $\times 10^6$ として算定した。

森田ら（2003）では、アマモの温度別の補償光量に関する知見を収集し、水温と補償光量との関係が整理されている（補償光量 $=0.9712\exp[0.1088\times\text{水温}]$ ）。補償光量は水温とともに増加しており、生長には水温上昇に伴ってより多くの光を必要とするようになると考えられる。アマモの生育上限水温は月平均で 28°C 程度であることから（水産庁 2007）、最も光が必要となると考えられる上限水温付近では補償光量は約 $20\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ （日補償積算光量（以下同じ）： $1.7\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ ）になる。

阿部ら（2007）では、補償光量は水温とともに増加し、低水温下の 5°C で $10\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ （ $0.9\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ ）、高水温下では 28°C で $20\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ （ $1.7\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ ）が得られた。

阿部ら（2003）では、補償光量は水温が $10\sim 25^\circ\text{C}$ の範囲では 25°C の時に最も多く $13.67\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ （ $1.2\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ ）が得られた。

尾田（2006）では、年間を通して毎月光合成速度を測定し、補償光量は $10\sim 20\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ （ $0.9\sim 1.7\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ ）であったとしている。

以上のことから、水温の上昇とともに補償光量が増加することは収集した文献で一致しており、 $5^\circ\text{C}\sim 28^\circ\text{C}$ では日補償積算光量に換算すると $0.6\sim 1.7\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ の範囲であった。生育するために最も光量が必要になると考えられる生育上限水温においては $1.7\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ （ 28°C ）が得られた。

表 3.2.4 アマモの生育に必要な光量に関する文献の読み取り結果（光合成実験）

NO.	必要光量に関する調査方法、結果	アマモの生育に必要な光量 (日積算光量 (mol/m ² /d))	文献
⑧	<p>●方法：補償光量について既往の文献の実験結果を用いて算定している。</p> <p>●結果：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水温 (t) と補償光量 (I_c) の関係は、 I_c=0.9712exp[0.1088t] (R²=0.92) で表せる。 ・生育限界付近の水温 28℃での補償光量は、25 μmol/m²・/s (算定式から算出) (1.7 mol/m²/d) ・アマモ場の分布下限水深は、水中光量 I_z から補償光量 I_c を差し引いた純光合成光量 I_n の月別平均値が 0 になる水深で概ね表現できる。 	<p>1.7 mol/m²/d (生育限界付近の水温 28℃時)</p>	<p>森田ら (2003)</p>
⑨	<p>●方法：種子を発芽させ、10cm 程度のアマモ実生を用いて、プロダクトメーターを用いて光合成、呼吸速度を計測し補償光量を調べた。水温 5～35℃。</p> <p>●結果：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・補償光量は、5～28℃までは、約 10～20 μmol/m²・/s (0.9～1.7 mol/m²/d) の範囲で推移 (グラフから読み取り)。 ・29℃以上では 40 μmol/m²・/s (3.5 mol/m²/d) 以上に急増。ただし、29℃以上では草体の変色、枯死がみられ、生育上限水温を超えていたと考えられる。 	<p>0.9～1.7 mol/m²/d (5～28℃)</p>	<p>阿部ら (2007)</p>
⑩	<p>●方法：プロダクトメーターによって葉片だけでなく株全体を用いて光合成、呼吸速度を計測し補償光量を調べた。水温：10～25℃</p> <p>●結果：</p> <p>補償光量は、6.89～13.67 μmol/m²・/s (0.6～1.2 mol/m²/d)</p>	<p>0.6～1.2 mol/m²/d (10～25℃)</p>	<p>阿部ら (2003)</p>
⑪	<p>●方法：アマモ葉片を用いて、年間を通してプロダクトメーターを使って光合成、呼吸速度を計測し補償光量を調べた。水温 5.5～30.5℃。</p> <p>●結果：年間を通して、概ね 10～20 μmol/m²・/s であった。</p>	<p>0.9～1.7 mol/m²/d (5.5～30.5℃)</p>	<p>尾田 (2006)</p>

iv) アマモの生育に必要な最低光量

各調査方法別に得られた光量の知見を表 3.2.5 に整理した。

アマモの生育に必要な光量について、実海域の分布下限水深における日積算光量の年間平均値、水槽実験によって得られた生長が制限される日積算光量の期間平均値、光合成実験によって得られた補償光量から算定した日補償積算光量が得られた。これらの値のうち、分布下限水深の日積算光量の年間平均値が最も高い値であった。

以上から、アマモの生育に必要な最低光量は、最も現状を反映していると考えられる分布下限水深における日積算光量の年間平均値を優先的に用いることとし、日積算光量の年間平均値である $3.3\text{mol/m}^2/\text{d}$ を用いることとする。

表 3.2.5 アマモの生育に必要な光量

調査方法	種別	光量
現地調査	アマモの分布下限水深の日積算光量の年間平均値	生育に必要な年間平均の日積算光量（年間平均値）： $3.3\text{mol/m}^2/\text{d}$
水槽実験	生長がみられなかった日積算光量	8～10月（水温 $21\sim 26^\circ\text{C}$ ）では $2.1\text{mol/m}^2/\text{d}$ 以下では2ヵ月間分枝せず、生残率は70%に低下する。
光合成実験	日補償積算光量	$1.7\text{mol/m}^2/\text{d}$ (28°C) (生育上限水温での日補償積算光量)
採用したアマモの生育に必要な最低光量（日積算光量の年間平均値）		$3.3\text{mol/m}^2/\text{d}$

v) 季節別の生育に必要な光量について

アマモは季節的に繁茂期と衰退期がみられるが（川崎 1988）、このようなアマモの生物量の季節変化は、日射量の季節変化や水中の透明度の季節変化と関連しているとされている（Sand-jensen 1975, Jacobs 1979, Dennison 1987, Duarte 1991）。また、水温は光合成速度を左右する要素であり（Olsen, Sand-jensen 1993）、水温の変化に伴い、季節ごとに生育に必要な光量は異なっていると考えられる。

実際の閉鎖性海域におけるアマモの分布下限水深の水中光量をみると、東京湾では7月から8月に水中光量が最も低くなり（図 3.2.3）、この時期は海水温が最も高くなる時期とも一致している。

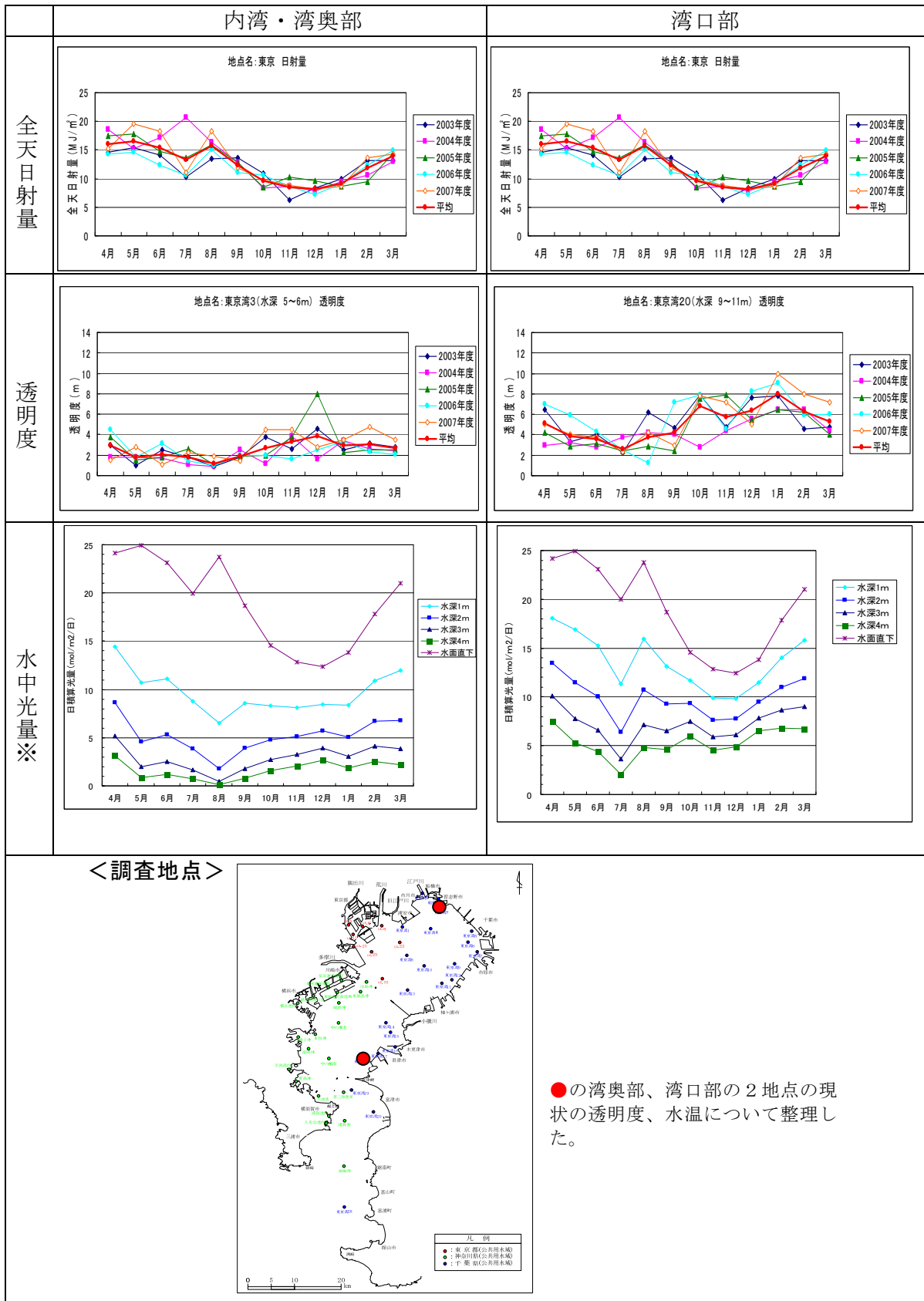
東京湾の湾奥部の船橋海域近傍には、アマモのパッチ状群落が確認されているが、例年8月以降には枯死、流出する（森田ら 2003）。この原因として、森田ら（2003）は、水中光量と補償光量の関係から、8月の高水温と透明度低下が周年の生育を困難にしていることを示している。したがって、東京湾の湾奥部ではアマモの生育条件として厳しくなる夏季の透明度の改善がアマモの生育には重要であると考えられる。

一方、他の海域では、神奈川県小田和湾及び山口県柳井湾のアマモ分布下限水深における日積算光量の推定値は、前述の通りいずれも年間平均値はおおよそ $3 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ であるが、小田和湾では7月に最も低下しており、柳井湾では10月に最も低い値を示している（図 3.2.4）。このように、年間の水中光量の変動時期には海域によって差がみられる。

また、アマモは一時的に光量が低下しても、地下茎に蓄えられた炭水化物を利用することで生残することが出来る（菊地ら 1986, Backman et al. 1976, Ronald M. T. et al. 2008）。Backman et al. (1976) によると、遮光スクリーンを用いて水中光量を自然光の 68% 減衰させた事例では、18 日後に株密度の低下が生じたが、2 ヶ月後に遮光スクリーンを取り除くと元の地下茎から新たな葉が再生したとしており、ある程度の期間は光量が低下しても再生する。

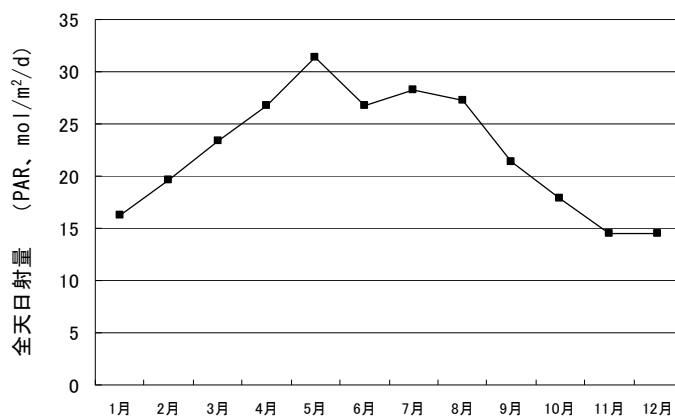
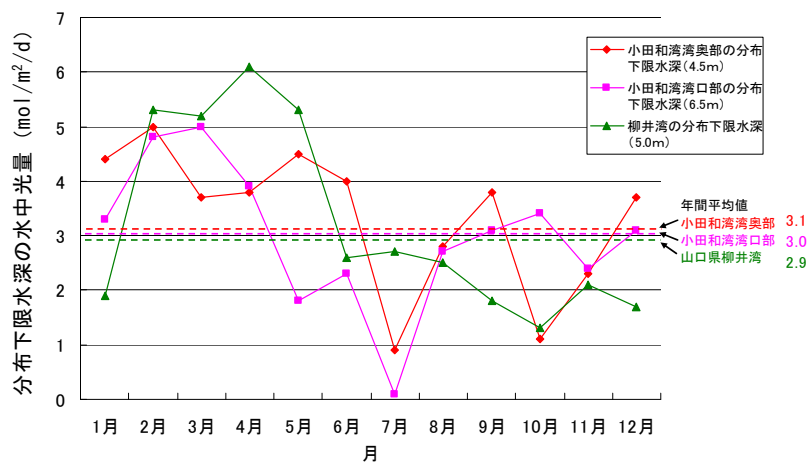
以上のことから、東京湾奥部では夏季に水中の光量が低下し、アマモの生育条件が厳しくなると考えられるが、アマモの生育に影響を及ぼす光量の程度やその持続期間については、水温や日中の潮汐差など海域の特性によって異なっていると考えられ、一般的に論ずることはできない。また、冬季のように水中光量が比較的高い時期についても、光量が不足する時期の栄養源となる光合成産物を貯留するために重要な時期であると考えられ、この時期にどの程度光量が必要であるかも不明である。さらに、アマモは、その場の生育環境の季節変化に適応しながら生育できる能力を有していると考えられることから、季節別に一定の必要光量を設定することは困難である。

したがって、現時点ではアマモの生育に必要な光量は日積算光量の年間平均値を用いることとし、海域ごとに透明度や水温、日中の潮汐差等の特性について調査データを蓄積させ、衰退期、繁茂期など季節別のアマモの生育に必要な光量を詳細に検討していくことは今後の課題とする。



※水中光量は、全天日射量と透明度から算定した。水面直下の水中光量は、石川ら（1988）の方法に従い算定した。

図 3.2.3 東京の日射量、東京湾の透明度の実測値と水中光量の推定値



注1: 東京及び広島の日射量データと実測の減衰係数から水中光量を算定。
 注2: 東京、広島の日射量データ (理科年表 1983 版、統計期間 1974-1980。)
 注3: 減衰係数は、光量の実測値から設定。測定していない月は前後の月から補間して使用。
 注4: 全日射量、水中光量は、光合成有効放射 (PAR)

図 3.2.4 アマモの分布下限水深における水中光量推定値 (小田和湾、柳井湾) と東京の全日射量の経月変化 (石川ら 1988 から作図)

(2) アラメ

1) 収集文献内容の精査と整理

収集した文献の中から、アラメの生育に必要な最低光量に関する記載がある文献を抽出した。

アラメの生育に必要な最低光量は、現地調査ではアラメ分布水深の把握とその分布下限水深における水中エネルギー量の推定を行っている事例、水槽実験では光量以外の条件を揃えて光量と生育状況を観察した事例、また、光合成実験では補償光量が得られた。

アラメの分布下限水深における光量を推定した事例は、月平均の光量（エネルギー量（ $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{分}$ ））で示されていた。アマモの事例のように一定光量以上の照射時間で評価している文献は見当たらなかった。またこのような考え方がアマモ以外の種についても当てはまるかどうかの詳細は不明であるとされている（Hemminga and Duarte 2000）。

川崎ら（1991）は、場所によってはアラメの分布下限水深は単純に生育している水深に到達する光量だけで決定できず、カジメ等の他の種類との競合も考慮する必要性を示している。アラメの分布下限水深に他種が生育している場合は、アラメの分布下限水深が光量と他種との競合のどちらで決定されているか不明であるため、カジメ等の他種との競合による可能性が示されている文献は目標値設定には用いないこととした。

2) 文献別必要光量の読み取り

i) 現地調査によるアラメの必要光量

現地調査によって調べられた文献からは、アラメの生育に必要なと考えられる最低光量として、一つの文献から分布下限水深の月平均の光量（エネルギー量）が得られた（表 3.2.6）。

須藤（1992）からは、千葉県御宿町地先におけるアラメの分布下限水深及び全日射量の月平均値から水深ごと（5mごと）に水中光エネルギー（ $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{分}$ ）の月平均値、年間平均値が得られ、さらに瞬間値の平均光量として単位を「 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 」に換算している（ $1\text{cal}/\text{cm}^2/\text{分}=2.93\times 10^3\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ （ $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ））。本検討では、他の事例にあわせて $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で示された光量の月平均値を日照時間12時間と仮定して日積算光量に換算して整理した。調査で確認された分布下限水深約12mにおける光量（ $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）の年間平均値は、グラフから読み取ると $58.6\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$

（ $2.5\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ ：日照時間を12時間と仮定し、 $\times 12$ 時間 $\times 60$ 分 $\times 60$ 秒で算定）であった。ただし、確認されたアラメの藻体が大型であることから、調査では確認された水深12m以深で確認されなかったが、生育している可能性を示唆している。

以上から、現地調査から得られたアラメの生育に必要な最低光量は、日積算光量の年間平均で $2.5\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ が得られた。

表 3.2.6 アラメの生育に必要な光量の読み取り結果（現地調査）

NO.	場所	必要光量に関する調査方法、結果	アラメの生育に必要な光量 (日積算光量 (mol/m ² /d))	出典
①	千葉県御宿町	<p>●方法：アラメの分布水深を把握し、調査海域近くで観測した日射量から、アラメ分布水深の光エネルギーを推定。 分布調査：1983年11月 日射量観測：1979年1月～1985年8月</p> <p>●結果：アラメは、水深約12mまで確認。水深12mにおける年間平均光量を推定。 約 58.6 μmol/m²/s (2×10⁻²cal/m²/分) (グラフから読み取り) (文献値を元に、日照時間12時間と仮定すると日積算光量には2.5mol/m²/dとなる)</p>	2.5 mol/m ² /d (年間平均値)	須藤 (1992)

ii) 水槽実験によるアラメの必要光量

水槽実験から得られたアラメの生長に必要な最低光量の読み取り結果量を表 3.2.7 に整理した。アラメの生活史は、海中で肉眼視できる藻体は核相が複相の孢子体で、その孢子体の子嚢斑から放出された単相の遊走子は、岩等に付着して発芽し生長して配偶体となる（能登谷 2003）。アラメはこの様な生活史をもっており、配偶体、孢子体それぞれの成長段階で生育に必要な光量が得られた。

後藤、伊藤（1988）からは、水温 20℃、明暗 12 時間周期で配偶体（雌雄区別無し）、幼孢子体の生長が認められた最低光量が得られ、配偶体で 25 μmol/m²/s (1.1mol/m²/d：日積算光量=25×12 時間×60 分×60 秒で算定。以下同様)、孢子体では 50 μmol/m²/s (2.2 mol/m²/d) と得られた。幼孢子体については、25 μmol/m²/s (1.1 mol/m²/d) でも生長はほとんどみられないが 20 日間枯死しなかった。

川崎、山田（1991）からは、水温 20℃、明暗 12 時間周期で配偶体、幼孢子体の生長が認められた最低光量が得られ、雄性配偶体は 0.25 mol/m²/d、雌性配偶体は 0.35mol/m²/d、孢子体では 1.1 mol/m²/d であった。

両文献ともに配偶体及び孢子体の生育に必要な最低光量が得られたが、配偶体より孢子体の方が生育により多くの光量が必要であることが一致していた。生活史を通して生育が確保されるためには、生育段階でより強い光が必要な時期である孢子体の生長が認められた光量以上が必要であり、アラメの生育に必要な最低光量としては、孢子体の生育に必要な最低光量を用いることとする。

以上から、水槽実験によって把握されたアラメの生育に必要な最低光量は、日積算光量で 2.2 mol/m²/d (20℃) が得られた。

表 3.2.7 アラメの生育に必要な光量の読み取り結果（水槽実験）

NO.	場所	必要光量に関する調査方法、結果	アラメの生育に必要な光量 (日積算光量 (mol/m ² /d))	出典
②	神奈川県 小田和湾	<p>●方法： 陸上水槽において、光条件を変えてアラメの配偶体、幼孢子体を培養した。 光条件：0, 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1300 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) 水温：20±0.5℃、培養期間：20日間 明暗12時間周期</p> <p>●結果： ＜配偶体＞ 0、1300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ は全て枯死（8日間）。 25～200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ では90%以上生残（16日間）。 生長が認められた最低光量：25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (1.1mol/m²/d) 以上</p> <p>＜幼孢子体＞ 25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (1.1mol/m²/d) では葉面積はほとんど増加しないが、20日間枯死しなかった。 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (2.2mol/m²/d) 以上で光量に比例し面積が増加。 生長が認められた最低光量：50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上</p>	(配偶体) 1.1 mol/m ² /d (孢子体) 2.2 mol/m ² /d (いずれも20日間)	後藤、 伊藤 (1988)
③	神奈川県 秋谷地先	<p>●方法： 光条件を、0、2.5、6.3、13、16、25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で、配偶体、孢子体の葉面積の増加率を観察した。 水温：20℃、期間：30日間、明暗12時間周期</p> <p>●結果： ・生長が認められた下限光量 配偶体：雄性配偶体 0.26 mol/m²/d 雌性配偶体 0.35 mol/m²/d 孢子体：1.1 mol/m²/d 葉面積が1.2倍に増加</p>	(配偶体) 1.1 mol/m ² /d (孢子体) 2.2 mol/m ² /d (いずれも20日間)	川崎、 山田 (1991)

iii) 光合成実験によるアラメの必要光量

光合成実験は、プロダクトメーターを用いて光条件を変えて光合成及び呼吸速度を測定した文献が収集され、アラメの補償光量について整理した（表 3.2.8）。現地調査や水槽実験によって得られた値と比較するために、アマモの事例と同様に、単位を $\text{mol/m}^2/\text{d}$ に統一することとし、文献の読み取り結果には日補償積算光量として括弧内に併記した。

倉島ら（1996）からは、水温 20°C での孢子体、配偶体の補償光量が得られ、孢子体は $11.9 \mu \text{mol/m}^2/\text{s}$ （日補償積算光量（以下同じ）： $1.0 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ ）、配偶体は $3.4 \mu \text{mol/m}^2/\text{s}$ （ $0.3 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ ）が得られた。配偶体の方が補償光量は低かった。水温の増加とともに補償光量は高くなるが、温度別の補償光量を実際の生育域の水温（静岡県下田）と照らして、その水温に応じた日補償積算光量を整理している。それによると、水温は年間で概ね $15^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$ の範囲で変動しており、その水温の範囲では日補償積算光量は、約 $0.8 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ （水温 15°C ）～約 $1.6 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ （水温 25°C ）と見積もられている。

Maegawa et al. (1987)からは、幼孢子体の補償光量が得られ水温 20°C では約 $9 \mu \text{mol/m}^2/\text{s}$ （ $0.8 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ ）としている。

以上から、光合成実験ではアラメの補償光量が得られ、水温が高いほど補償光量は多く、得られたうちで最も水温が高い場合の日補償積算光量は、水温 25°C 時に約 $1.6 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ が得られた。

表 3.2.8 アラメの生育に必要な光量の読み取り結果（光合成実験）

NO.	必要光量に関する調査方法、結果	アラメの生育に必要な光量 (日積算光量 (mol/m ² /d))	出典
④	<p>●方法：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・光量と温度条件を変えて、プロダクトメーターを用いて、アラメの胞子体、配偶体の光合成、呼吸速度を測定。 <p><胞子体> 水温：5～29℃の7段階 光量：0～400 μmol/m²/s</p> <p><配偶体> 水温：5～27℃の6段階 光量：0～50 μmol/m²/s の4段階</p> <p><生長実験> 水温：5、15、25℃ 光量：10、50 μmol/m²/s 明暗周期：12/12 時間</p> <p>●結果：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・光補償点 (20℃) <p>配偶体：3.4 μmol/m²/s (日補償積算光量：0.3 mol/m²/d)</p> <p>胞子体：11.9 μmol/m²/s (日補償積算光量：1.0 mol/m²/d)</p> <p>ただし、25℃では 12.5 μmol/m²/s でもほとんど生長せず一部が枯死した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水温が高いほど補償光量は高くなるが、胞子体では光量が 25 μmol/m²/s (2.0mol/m²/d) 以上であれば、水温が 5～27℃の間で純光合成量は正の値であった。 ・日補償積算光量は、25℃では約 1.6mol/m²/d、15℃では約 0.8mol/m²/d となった。 	<p>(配偶体) 0.3 mol/m²/d (20℃) (胞子体) 1.0 mol/m²/d (20℃)</p> <p>(配偶体) 約 0.8～1.6 mol/m²/d (水温 15～25℃) (補償光量をもとに日補償積算光量を算定)</p>	倉島ら (1996)
⑤	<p>●方法：アラメの幼胞子体を用いてプロダクトメーターによって光合成速度を測定</p> <p>水温：20℃ 光量：0～20klux (0～370 μmol/m²/s)</p> <p>●結果：・幼胞子体の補償光量 約 9 μmol/m²/s</p>	(胞子体) 0.8 mol/m ² /d (20℃)	Maegawa et al. (1987)

iv) アラメの生育に必要な最低光量

各調査方法別に得られた光量の知見を表 3.2.9 に整理した。

アラメの生育に必要な最低光量について、実海域の分布下限水深における日積算光量、水槽実験によって得られた生長が認められた最低の日積算光量、光合成実験による補償光量から算定した日補償積算光量が得られた。このうち、アラメの生育に必要な光量の設定は、実海域の波浪、流況などの影響を受けながら長期間生育している光量であり、より現実的な値に近いと考えられ、3つの方法のうちで最も高い光量を示した分布下限水深における光量を用いることとした。

以上から、アラメの生育に必要な最低光量は、実海域の分布下限水深の日積算光量の年間平均である $2.5 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ を用いることとする。

表 3.2.9 アラメの生育に必要な光量（日積算光量）

調査方法	種別	光量
現地調査	アラメの分布下限水深の日積算光量の年間平均値	日積算光量の年間平均値： $2.5 \text{ mol/m}^2/\text{d}$
水槽実験	生長が認められた最低光量 (胞子体)	$2.2 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ で明らかに生長を確認 (20°C (30日間))
光合成実験	日補償積算光量 (胞子体)	約 $1.6 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ (25°C)
採用したアラメの生育に必要な最低光量 (日積算光量の年間平均値)		$2.5 \text{ mol/m}^2/\text{d}$

v) 季節別の生育に必要な光量について

アラメは多年生の海藻類であり、海域では常に藻体が確認され、通年成熟個体が確認されるとの報告がある（能登谷 2003）。寺脇ら（1991）によると、三浦半島荒崎では、12～2月に株密度が増加し、2～3月に生育密度がもっとも高くなり、4月以降減少するとされている。光合成実験からは水温の上昇によって生育に最低限必要となる補償光量が増加することがわかっており、季節ごとにアラメの生育に必要な光量は異なると考えられる。しかし、季節ごとにどの程度の光量が最低限必要であるかは、分布水深の水温にも左右されることから海域ごとに検討する必要がある。現時点では季節ごとにどの程度の光量が必要であるかは知見が十分でないため、アラメの生育に必要な光量は日積算光量の年間平均値で示すこととし、今後海域ごとの水温や透明度の季節変化についてデータを蓄積させ、時期別に必要光量を詳細に検討することは今後の課題とする。

(3) カジメ

1) 文献の内容の精査と整理

収集した文献の中から、カジメの生育に必要な最低光量に関する記載がある文献を抽出した。

カジメの生育に必要な最低光量は、現地調査ではアラメ分布水深の把握とその分布下限水深における水中エネルギー量の推定を行っている事例、水槽実験では光量以外の条件を揃えて光量と生育状況を観察した事例、また、光合成実験では補償光量が得られた。

カジメの分布下限水深における光量を推定した事例では、分布下限水深における日積算光量の月平均光量や年平均光量が得られ、アマモの事例のように、飽和光量以上の照射時間で評価している文献は見当たらなかった。

2) 文献別の必要光量の読み取り

i) 現地調査におけるカジメの必要光量

前川ら (1988) は、静岡県伊豆市鍋田湾において、カジメ群落が分布する水深帯の光量を観測し、分布水深帯の光量は海面の相対光量の 0.2~1.8% の範囲であり、生残のための下限光量は海面との相対光量 0.5~1.0% の間にあるとし、相対光量 1.0% は晴天時では $20 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ と同等か少し上回る値であるとしている。この $20 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ を分布下限水深での光量とみなすと、日積算光量に換算すると約 $0.9 \text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ となる。

寺脇ら (1991) は、三浦半島西部において、カジメ群落が分布する水深について深度別の到達光量を推定したものである。カジメの分布水深は 5~23m の範囲であり、到達光量を推定した水深のうち、分布水深の下限の 23m に最も近い水深 20m の到達光量の推定値は $1.4 \text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ とされている。

須藤 (1992) は、千葉県御宿町前面の沿岸域において、カジメの鉛直分布の実態を明らかにするとともに、調査海域での各水深に到達する光エネルギー量を推定している。カジメは水深 5~48m まで確認され、水深 20m 前後のところで最大茎長の個体が出現しており、カジメの生長が良好であった水深帯の光エネルギーは $8.79\sim 29.3 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ を中心とした、 $2.93\sim 87.9 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で、この範囲を外れると個体の大きさは急速に小型になったと述べられている。したがって、 $2.93 \mu \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ を分布下限水深における光量とみなし、この値を日積算光量に換算すると $0.13 \text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ である。

得られたカジメの分布下限水深においては、前川ら (1988) では晴天時の水中光量の観測結果であるため期間中はこの光量よりも下回ることもある。寺脇ら (1991) では分布下限水深が 23m であるが、光量は 20m での観測値であり、いずれの文献も分布下限光量よりも若干高い値になっている可能性がある。一方、須藤 (1992) は、実際の下限水深における光量が得られており、前述の 2 つの文献に比べやや低い値であ

る。

以上より、カジメの分布下限水深における日積算光量の年間平均値は、海域によって差がみられ、観測方法を踏まえると上限値はやや高めの値である可能性はあるが、最大で $1.4 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ （三浦半島西部）であった。

表 3.2.10 カジメの生育に必要な光量の読み取り結果（現地調査）

NO.	場所	必要光量に関する調査方法、結果	カジメの生育に必要な光量 (日積算光量 ($\text{mol/m}^2/\text{d}$))	出典
①	静岡県 伊豆市鍋田湾	<p>●方法： カジメ群落底部（水深5m）のカジメ幼体生育場における光量を観測</p> <p>●結果：・カジメの生える光量は、海面の光量の相対光量0.2-1.8%の範囲で、茎が10cm以下の個体は、光量0.5%以上の場所で生育しており、生残及び生育限界の光量は相対光量で0.5-1.0%の範囲。</p> <p>・海面の光量の相対光量1%は、4~7月の晴れた日の正午で $20 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$ ($0.86 \text{ mol/m}^2/\text{d}$) に相当。</p>	$0.86 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ (4~7月の期間平均)	Maegawa et al. (1988)
②	三浦半島西部	<p>●方法： 光量子計による鉛直観測を行い、日射量と平均減衰率から水深別の日積算光量を月別に算定 水深：5, 10, 15, 20m</p> <p>●結果：カジメの分布水深は5-23m ・分布下限水深に近い水深20mの日積算光量は年間平均で、$1.4 \text{ mol/m}^2/\text{d}$であった。</p>	$1.4 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ (年間平均値)	寺脇ら (1991)
③	千葉県夷隅郡御宿町	<p>●方法： ・現地でカジメの分布水深を把握し、調査海域近くで観測した日射量から、カジメの分布水深の光エネルギーを推定。 分布調査：1983年11月 日射量観測：1979年1月~1985年8月</p> <p>●結果：カジメは、水深5~48mまで確認された。 カジメの成長が良好であった水深帯の光エネルギーは $8.79 \sim 29.3 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$ ($0.38 \sim 1.27 \text{ mol/m}^2/\text{d}$) を中心とした、$2.93 \sim 87.9 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$ ($0.13 \sim 3.8 \text{ mol/m}^2/\text{d}$) で、この範囲を外れると個体の大きさは急速に小型になった。 (() は日照時間12時間と仮定した日積算光量の算定値。)</p>	$0.13 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ (年間平均値)	須藤 (1992)

ii) 水槽実験によるカジメの必要光量

後藤、伊藤（1988）は、カジメ幼胞子体について、 $0\sim 800\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の光量の範囲での生長量の違いを明らかにした。実験結果によると、幼胞子体は $25\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ では枯死等はないがほとんど生長がみられなかった。この $25\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ を日積算光量に換算すると $1.1\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ となる。また、生長がみられた最低光量区は $50\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で、これを日積算光量に換算すると $2.2\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ であった。

倉島ら（1996）は、カジメ胞子体について、光量 10 及び $50\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、温度 5 、 15 、 25°C での生長量の違いを明らかにした実験である。実験結果によると、 $10\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 及び $50\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ のいずれの条件下でも 15°C で最も生長していた。また、 25°C 、 $12.5\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の条件ではほとんど生長しなかった。

川崎ら（1991）は、カジメ胞子体について、 $0\sim 25\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の光量の範囲での生長量の違いを明らかにした実験である。実験結果によると、胞子体は $0.56\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ では生長がみられなかった。また、生長が認められた最低光量として $0.69\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ が得られた。

寺脇ら（1991）は、カジメ胞子体について、 $0.7\sim 850\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の光量の範囲での生長量の違いを明らかにした実験である。実験結果によると、藻体は $1\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ 以下ではほとんど生長がみられなかった。

また、川崎ら（1991）は、配偶体と胞子体について生長と光量の関係を実験しているが、アラメと同様に配偶体よりも胞子体のほうが生長に必要な光量が多いため、目標値設定にはより光量を必要とする胞子体の生育に必要な光量を用いることとした。

以上より、文献によって生長が認められた最低光量は設定された実験区による差がみられたが、その中で、川崎ら（1991）の実験は $0\sim 25\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の低光量範囲に詳細に実験区を設けて生育に必要な最低光量を求めている。実験期間も他の文献に比べて長期にわたっていることから信頼性は高いと考えられる。水槽実験から求められたカジメの生長が認められた光量として $0.69\ \text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ (20°C) が得られた。

表 3.2.11 カジメの生育に必要な光量の読み取り結果（水槽実験）

NO.	必要光量に関する調査方法、結果	カジメの生育に必要な光量 (日積算光量 (mol/m ² /d))	出典
②	<p>●方法：受精後 30 日の幼孢子体を用い、水温 20℃、光量 0, 25, 50, 100, 200, 400, 800 μmol/m²/s、明暗 12 時間周期で、20 日間室内培養し、4 日ごとに生残率と生長を測定。</p> <p>●結果：光量 0~25 μmol/m²/s (0~1.1mol/m²/d) 区では実験終了時の葉面積、湿重量は実験開始時とほぼ同じであった。</p> <p>・光量 50-800 μmol/m²/s (2.2~35 mol/m²/d) 区では、光量に比例して葉面積が増加する傾向が認められた。</p>	<p>ほとんど生長がみられなかった光量：1.1mol/m²/d</p> <p>明らかに生長が認められた最低光量：2.2mol/m²/d (いずれも孢子体)</p>	後藤、伊藤 (1988)
③	<p>●方法：葉状体を用いて光強度 10, 50 μmol/m²/s、温度 5, 15, 25℃、明暗 12 時間周期で培養。24 時間ごとに藻体の面積を測定。6 日間培養。</p> <p>●結果： ・10 μmol/m²/s (0.43mol/m²/d) でも葉面積は拡大した (15℃で最も生長)。</p>	生長が認められた最低光量：0.43mol/m ² /d (孢子体)	倉島ら (1996)
④	<p>●方法：孢子体を用いて、水温 20℃で、光量 0, 2.5, 6.3, 13, 16, 25 μmol/m²/s (L/D: 12 h r / 12 h r) の 6 段階で 30 日間培養。葉面積を測定。</p> <p>●結果： <孢子体> ・0.69mol/m²/d 以上で平均相対葉面積が増加。 ・(0.56mol/m²/d 区では相対葉面積は約 1.0 で生長がみられなかった。) ・孢子体の生長下限光量は 0.7mol/m²/d 付近と考えられる。 <配偶体> ・0.11mol/m²/d でほとんど生長しなかった ・0.27mol/m²/d では明らかに生長した。 ・配偶体の生育下限光量は 0.3mol/m²/d と推定</p>	生長が認められた最低光量：0.69mol/m ² /d 以上 (孢子体) 0.3mol/m ² /d 以上 (配偶体)	川崎ら (1991)
⑤	<p>●方法：孢子体を用い、20℃で、光量 0.7, 18, 35, 71, 210, 430, 850 μmol/m²/s の 8 段階で、日長を 6, 9, 12 時間の 3 段階で培養。14 日後、大きい方から 10 個体の葉面積増加率を求めた。</p> <p>●結果： ・日積算光量が 1mol/m²/d 以下になるとほとんど生長しない (配偶体は暗黒条件下でも 5 ヶ月間生存可能)</p>	1mol/m ² /d 以下ではほとんど生長がみられなかった	寺脇ら (1991)

iii) 光合成実験によるカジメの必要光量

倉島ら (1996) は、光合成実験で得られた補償光量から日補償積算光量を独自の式で推定しており (補償積算光量 = $0.0864 \times \text{補償光量} \times \alpha^{-1}$ ($\mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$)、 α は光合成-光曲線の低光量 ($0-25 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$) での初期勾配)、水温 $5\sim 27^\circ\text{C}$ の範囲での設定では、カジメの日補償積算光量は $0.3\sim 1.7 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ であり、実際にカジメが生育している静岡県鍋田湾の水温は年間で $13\sim 25^\circ\text{C}$ の範囲でその水温範囲のカジメの日補償積算光量は $0.6\sim 1.3 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ であった。

Maegawa et al. (1988) より、水温 20°C でのカジメの補償光量は $4.8 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$ であった。得られた光合成-光曲線と、生育場所の相対光強度からモデルを作成し、日補償積算光量を推定下結果、分布下限水深の光量は、海面に対する相対光強度で 0.6% であり、その光量は実験を行った 4 月から 7 月では $0.24 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ に相当するとされている。

倉島ら (1996) の日補償積算光量は、水温 27°C の高水温設定で $1.7 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ と得られたが、実際に生育している静岡県鍋田湾では年間を通して月平均の最高水温は 25°C 程度とされており、その水温での日補償積算光量は $1.3 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ である。したがって、実際の生育域での水温帯における最も光量が必要となる高水温時 (25°C) で、日補償積算光量は $1.3 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ 程度であると考えられる。

表 3.2.12 カジメの生育に必要な光量の読み取り結果 (光合成実験)

NO.	必要光量に関する調査方法、結果	カジメの生育に必要な光量 (日補償積算光量 ($\text{mol/m}^2/\text{d}$))	出典
④	<p>●方法：プロダクトメーターを用いて光合成速度を測定。水温 $5-27^\circ\text{C}$ の 6 段階、光強度 $0-50 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$ の範囲で 4 段階</p> <ul style="list-style-type: none"> ・光補償積算光量は、独自の式で算定。 補償積算光量 = $0.0864 \times \text{補償光量} \times \alpha^{-1}$ ($\mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$)、($\alpha$ は光合成-光曲線の低光量 ($0-25 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$) での初期勾配) <p>●結果：孢子体の日補償積算光量は季節や水温により異なり、夏に大となる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・光補償点は孢子体で $4.8 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$、配偶体で $1.3 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$ (20°C)。日補償積算光量は、孢子体での $0.3\sim 1.7 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ であった ($5\sim 27^\circ\text{C}$)。 ・実際に生育している静岡県鍋田湾の水温では、日補償積算光量は水温に左右され $0.6\sim 1.3 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ の範囲で変動する ($13\sim 25^\circ\text{C}$)。 	<p>日補償積算光量： $0.6\sim 1.3 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ (静岡県鍋田湾、水温 $13\sim 25^\circ\text{C}$)</p>	倉島ら (1996)
⑤	<p>●方法：1 歳未満の孢子体を用いて、光合成速度を測定。水温 20°C</p> <p>得られた光合成-光曲線と、生育場所の相対光強度からモデルを作成し、日補償積算光量を推定。</p> <p>●結果：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・光補償点は $4.8 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$ ・分布下限水深の光量は、海面に対する相対光強度で 0.6% ($0.24 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ に相当) と推定された 	<p>日補償積算光量 (モデル式による推定)： $0.24 \text{ mol/m}^2/\text{d}$</p>	Maegawa et al. (1988)

iv) カジメの生長、生残に必要な光量

各調査方法別に得られた光量の知見を表 3.2.13 に整理した。

カジメの生長、生残に必要な光量の知見を整理した結果、実海域の分布下限水深における光量は、 $1.4 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ が得られ、水槽実験から生長が認められた最低光量の $0.7 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ 、光合成実験及び現地の水温観測結果から導かれた日補償積算光量 $1.3 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ (25°C) を上回っていた。

したがって、カジメの生育に必要な最低光量は、実海域の分布下限水深の日積算光量の年間平均値である $1.4 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ を用いることとする。

表 3.2.13 カジメの生長、生残に必要な光量

調査方法	種別	光量
現地調査	カジメの分布下限水深の日積算光量の年間平均値	日積算光量の年間平均値： $1.4 \text{ mol/m}^2/\text{d}$
水槽実験	生長が認められた日積算光量の最低値 (孢子体)	わずかだが生長する光量： $0.7 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ (20°C)
光合成実験	日補償積算光量 (孢子体)	$1.3 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ (25°C) (静岡県鍋田湾のカジメ生育域の月平均の最高水温 25°C における日補償積算光量)
採用したカジメの生育に必要な最低光量 (日積算光量の年間平均値)		$1.4 \text{ mol/m}^2/\text{d}$

v) 季節別の生育に必要な光量について

カジメはアラメと同様に多年生の海藻類であり、海域では常に藻体が確認され、通年成熟個体が確認されるとの報告がある（能登谷 2003）。しかし、他の種と同様に、季節ごとにどの程度の光量が最低限必要であるかは知見が十分でない。したがって、現時点ではカジメの生育に必要な光量は日積算光量の年間平均値を用いることとし、今後海域ごとの水温や透明度の季節変化についてデータを蓄積させ、時期別に必要光量を詳細に検討することは今後の課題とする。

3) その他の検討対象種について

収集した文献の多くは、検討対象種の生育に最適な光量についての記載が多く、生育に必要な最低光量に関する文献は限られていた。

検討対象種について、生育に必要な最低光量が読み取れた文献数を表 3.2.14 に示した。現地調査によって実海域の分布下限水深における光量が得られた種は 5 種だけであったが、そのうちアカモク、ヤツマタモクは夏季の 2 日間のみを観測結果であったため、その値から目標値を設定することは困難であると考えられた。

また、実際の海域では海藻類は複数種が混生して藻場を形成している場合が多く（能登谷 2003）、三浦半島では水深 6~20m のカジメ群落内で実験的にカジメが刈り取られ、海底面に到達する光量が増大した結果、自然状態ではアラメよりも浅所に分布するホンダワラ類（ヨレモクモドキ）が水深 12m まで繁茂したと報告（寺脇 1991）や、カジメの生育場が台風後にテングサ群落に変わる等（岩橋 1979）、他種との競合によって分布が決まっている例も多い。したがって、光量によって分布下限水深が制限されている種は限られていると考えられ、分布下限水深における光量が把握できた種は少なかった。

一方で、水槽実験や光合成実験で得られる生長が認められた最低光量や補償光量は複数の種で知見が得られたが、実験期間が短いことや実験の目的が最適な光量を求める事例が多く、それらの知見のみでは、実際の検討対象種の生育に必要な最低光量を正確に把握するのは困難であると考えられた。

そのため、目標値設定に当たっては、実海域の分布下限水深における日積算光量の年間平均値が把握できたアマモ、アラメ、カジメの 3 種の生育に必要な光量から設定することとした。

表 3.2.14 検討対象種の生育に必要な光量に関する情報が読み取れた文献数

NO.	藻場の種類	種名	現地調査	水槽実験	光合成実験	
1	アマモ場	アマモ	5	1	4	
2		タチアマモ	0	0	0	
3		コアマモ	0	0	0	
4		エビアマモ	0	0	0	
5		ウミヒルモ	0	0	1	
6	ガラモ場	ジョロモク	0	0	0	
7		ヒトエモク	0	1	1	
8		ヒジキ	0	0	0	
9		マメタワラ	0	0	0	
10		ヤツマタモク	1 [※]	3	1	
11		アカモク	1 [※]	4	0	
12		シダモク	0	2	0	
13		ノコギリモク	0	1	0	
14		オオバノコギリモク	0	0	0	
15		ヨレモク	0	1	0	
16		ホンダワラ	0	0	0	
17		オオバモク	0	0	0	
18		ネジモク	0	0	0	
19		ハハキモク	0	0	0	
20		ウミトラノオ	0	0	0	
21		フシスジモク	0	1	0	
22		イソモク	0	0	0	
23		ナラサモ	0	0	0	
24		トゲモク	0	0	0	
25		エンドウモク	0	0	0	
26		ホソバモク	0	0	0	
27		コブクロモク	0	0	0	
28		フタエモク	0	0	0	
29		タマナシモク	0	0	0	
30		ヒラネジモク	0	0	0	
31		ヨレモクモドキ	0	0	0	
32		スナビキモク	0	0	0	
33		タマハハキモク	0	0	0	
34		アラメ場	カジメ	3	3	2
35			クロメ	0	3	0
36			アラメ	1	2	2
37			サガラメ	0	4	0
38		ワカメ場	ワカメ	0	1	0
39	ヒロメ		0	1	0	
40	アオワカメ		0	0	0	
41	テングサ場	マクサ	0	0	0	
42		ヒラクサ	0	0	0	
43		ヒメテングサ	0	0	0	
44		オバクサ	0	0	0	
45		オオブサ	0	0	0	
46		ユイキリ	0	0	0	
47	オゴノリ場	オゴノリ	0	1	0	

※■は目標透明度の設定に用いた種

※アカモク、ヤツマタモクは現地調査で分布下限水深の光量が得られたが、夏季の2日間のみの観測結果であり、目標設定には用いなかった。

(4) 検討対象種別の必要光量の検討結果

検討対象種別の必要光量を、得られた情報をまとめて表 3.2.15 に示す。

表 3.2.15 検討対象種別の必要光量の検討結果

種名	生育に必要な最低光量 (mol/m ² /d) (日積算光量の年間平均値)
アマモ	3.3
アラメ	2.5
カジメ	1.4

3.2.5 葉上浮泥による光の減衰

(1) 葉上浮泥の影響に関する文献の収集

海藻草類が生育する水深まで光が透過しても、葉の表面に浮泥等の堆積物や藻類等が付着していると海藻草類が受けられる光量は減衰する。そのため、浮泥等の堆積物を考慮して必要光量を設定することが可能か、葉上浮泥による光の減衰に関する文献を収集した。

1) 収集方法

文献の検索にあたっては、以下のキーワードを用いた。キーワードの組み合わせのは図 3.2.5 に示すとおりである。

検討対象種に関するキーワード：アマモ、*Zostera marina*、アラメ、
Eisenia bicyclis、カジメ、*Ecklonia cava*

葉上浮泥に関するキーワード：光、浮泥、葉上、堆積

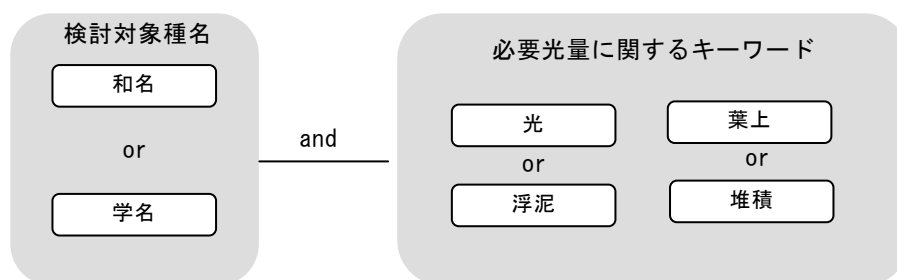


図 3.2.5 検索キーワードの組み合わせ

2) 葉上浮泥による光減衰に関する文献読み取り

文献の記載内容をエラー！参照元が見つかりません。に示した。アマモの葉上浮泥量と光の減衰について知見が得られた。

平岡ら（2005）では、広島湾西部の自然のアマモ場における光の減衰率は、葉上浮泥量が $0.13\sim 0.14\text{mg}/\text{cm}^2$ の場合、2%程度と推定された。葉上浮泥と光透過率の関係は以下のように示されるとされており、浮泥堆積量によっては光合成が阻害され枯死するとされている。

$$Y = 105.35e^{-0.4838S} \quad (Y = \text{光透過率}\%, S = \text{浮泥堆積量}\text{ mg}/\text{cm}^2)$$

この式に従うと、生育に必要な日積算光量の年間平均値が $3\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ とすると、葉上浮泥量が $0.7\text{mg}/\text{cm}^2$ 以上の場合アマモ直上での光量は $4\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ を必要とするとその影響を報告している。

玉置ら（1999）では、自然藻場内のアマモの葉上浮泥量と藻場外へ移植したアマモの葉上浮泥量を測定している。自然藻場内のアマモの葉上浮泥量は、 $0.41\text{mg}/\text{cm}^2$ で、移植アマモの葉上浮泥量は $2.27\text{ mg}/\text{cm}^2$ であり、自然藻場に比べ 13 倍多く、移植したアマモは移植後 2 ヶ月で枯死した。葉上浮泥量は $2.27\text{mg}/\text{cm}^2$ では葉面に到達する光量は 64%減衰

すると推定され、枯死した要因は浮泥堆積による光合成阻害と考えられた。

平岡ら（2001）では、台風襲来後に堆積した葉上浮泥は、著しい光量低下を生じさせ、アマモの生育や分布に影響を与えるとの知見が得られた。葉上浮泥は、台風前は 0.31 mg/cm^2 で浮泥による光の減衰率は 10% 以下に対し、襲来後は浮泥量が多いところで 1.51 mg/cm^2 で対応する光の減衰率は 70% であった。

ただし、広島湾以外の他海域の事例は見当たらず、3 つの文献から自然藻場内の浮泥堆積量は、 $0.13 \text{ mg/cm}^2 \sim 0.41 \text{ mg/cm}^2$ の範囲であり、光減衰率は 2%～16% になると推定された。

表 3.2.16 (1) 葉上浮泥による影響（アマモ）

場所	調査・実験方法	結果の概要	文献 No
広島湾岩国地先	<ul style="list-style-type: none"> ●葉上浮泥量 ・浮泥が堆積した葉をビニール袋で包み海水ごと採取し葉上浮泥量を測定 ・採取した葉の面積も測定 ●光量子計による測定 頻度：1～2 ヶ月ごとで、1 回の調査は 2～3 週間（10 分ごと） 期間：2000 年 12 月～2001 年 10 月 水深：分布下限水深での測定	<ul style="list-style-type: none"> ◆葉上浮泥量 ・ 0.14 mg/cm^2 (7 月)、0.13 mg/cm^2 (11 月) ◆葉上浮泥による光透過率の低下 ・本調査における浮泥量による光の低下は約 2% と見積もられた。 ◆葉上浮泥量と光透過率との関係を定式化 $y = 105.35 \exp(-0.4829S)$ y は光透過率(%), S は葉上浮泥量(mg/cm^2)	平岡ら (2005)
	<ul style="list-style-type: none"> ●浮泥量測定方法：アマモにナイロン袋をかぶせ、アマモを株ごと刈り取り、浮泥を回収、ろ過した。 ●光減衰観測海底面に設置したトラップに收容された浮泥を用いて、光量子計がセットされた装置に海水と共に入れ、沈殿させ光の減衰を測定。 地点：4 点	<ul style="list-style-type: none"> ◆自然藻場及び藻場外に移植したアマモの葉上浮泥量を測定 ・藻場外へ移植した海草は減少もしくは枯死し、枯死した地点の浮泥量：2.27 mg/cm^2 ・自然藻場内：0.41 mg/cm^2 光透過率は、それぞれ 36%、84% と推定。 カオリンと現地の調整浮泥を同量堆積させた結果、光の減衰量が異なり、葉上に堆積する成分によって光の減衰量も異なった。	玉置ら (1999)
	台風前後の浮泥堆積量を調査 <ul style="list-style-type: none"> ●葉上浮泥量の測定 <台風前>調査日：1999 年 8 月 6 日、9 日（地点：2 点） <台風後>調査日：2000 年 1 月 25～27 日（地点：7 点） <ul style="list-style-type: none"> ●アマモの残存状況の測定 内容：残存している地点の 1 m^2 あたりの株数、株の埋没状況を観察	<ul style="list-style-type: none"> ◆浮泥堆積量は、河口に近づくにつれて多く、アマモの株数は浮泥量の増加に伴い減少する傾向を示した。 台風前 St. 7： 0.31 mg/cm^2 、 台風後： 0.78 mg/cm^2 台風後 St. 19： 0.61 mg/cm^2 、 台風後： 1.51 mg/cm^2 台風後の光透過率は、それぞれ 50%、30% と算定。	平岡ら (2001)

3) 葉上浮泥による光減衰の影響

葉上浮泥の量とそれによる光の減衰率については、広島湾の事例では、2箇所の自然藻場の浮泥量が示されており、その量は $0.13 \sim 0.41 \text{ mg/cm}^2$ の範囲で、光量の減衰は、2%~16%程度と推定されている。

ただし、これらの事例は、外力が小さい静穏な海域におけるアマモ場減少要因を把握するために、極端に浮泥堆積量が多い場所で行われた事例も含まれている。そのため、一般的なアマモ場における浮泥量よりも多いと考えられ、この値を用いて全ての藻場に当てはめると浮泥の影響を過大評価してしまう可能性がある。

アメリカのチェサピーク湾における透明度基準の設定 (U. S. EPA 2003) の際にも、水生植物の葉上の付着藻類等による光減衰の考慮の必要性を示しているが、具体的な数値の設定が困難であり、最終的には目標設定に反映されていない。

海藻類では、配偶体などの生活史の初期段階では個体サイズが非常に小さいため、わずかに浮泥が堆積しただけでも、埋没してしまうと光を受けられずに枯死する可能性もある。

水中の透明度が増し、海底に到達する光量が増加しても、上記のように堆積した浮泥量によっては海藻草類が受けられる光量は大きく低下し生育に影響を及ぼす可能性がある。また、浮泥以外にも葉面に付着する着生植物によっても光は減衰する

(Moore and Wetzel 2000, Silberstein et al. 1986)。

しかし、浮泥や着生植物の量や質は、海域の潮流や波浪等様々な要因が複雑に関与していると考えられ、海域や時期によっては植物プランクトン由来の巨視的浮遊性大型粒子 (NUTA) の存在も指摘されていることから (三島 1990)、それらの海藻草類の生育に及ぼす影響を定量的に評価することは困難であると考えられ目標値に反映させないこととした。目標値を現場に適用する際には、葉上の浮泥や着生植物によって場合によっては海藻草類が受けられる光量が大きく低下する可能性があることを踏まえる必要がある。

3.2.6 海水面直下における光強度の設定

海面に入射する太陽光の量は、1日あたりの全天日射量から海面の反射、吸収によるエネルギーロスと全短波放射にしめる光合成有効放射（PAR）の割合を考慮して求めることができる（石川ら 1988、藤田ら 2006）。

海面の反射、吸収による光エネルギーのロスについては、石川ら（1988）の研究成果から、水面直下／水面上の光エネルギーの割合は 79%である。

全短波放射に占める PAR の割合は、古川ら（1979）の横須賀市荒崎における実測等より、42%と報告されている。水中光の波長は、水中の懸濁物の量や質、水深によって異なり（Jerlov 1976）、とくに水中に植物プランクトンが多い場合には、特定の波長帯を選択的に吸収することで水中の透過光の PAR が減少するとされているが（中田 2009）、水中透過光の PAR 割合の減衰の評価は知見が乏しいため考慮しないこととした。

したがって、光合成に有効な波長の光の水面直下における光強度 I_0 は、

$$I_0 = \text{全天日射量 (MJ/m}^2/\text{日)} \times 0.42 \times 0.79$$

となる。

なお、全天日射量の単位は $\text{MJ/m}^2/\text{d}$ であるため、 $1\text{MJ/m}^2/\text{d} = 1/0.22 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ であることから光量子量へ以下の単位換算を行った。

我が国の全天日射量のデータ（1974年～2000年）（図 3.2.6）をみると東京湾、伊勢湾、瀬戸内海周辺においては、ほとんどの領域において年間平均値で $12 \sim 14\text{MJ/m}^2/\text{d}$ の範囲に入っていた。そこで、代表値として各湾共通に平均値の $13\text{MJ/m}^2/\text{d}$ を用いて算定した結果、水面直下の日積算光量の年間平均値は $19.6 \text{ mol/m}^2/\text{d}$ であった。

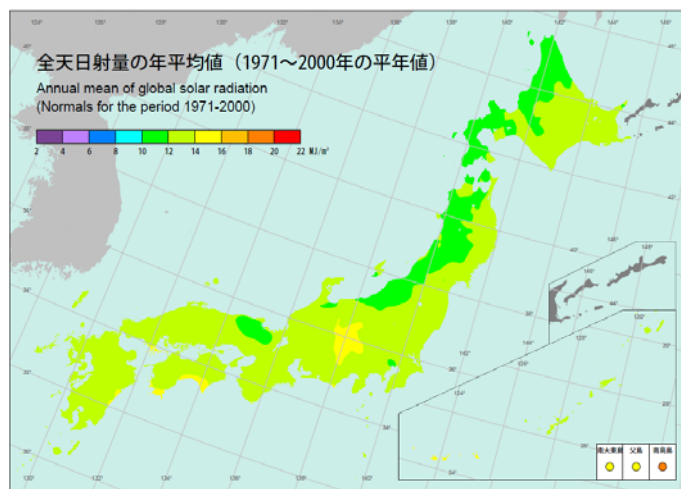


図 3.2.6 我が国の全天日射量年平均値の分布（1971年～2000年平均値）

3.2.7 維持すべき光の減衰係数の設定

海面直下の日積算光量に対して、検討対象種の検討対象種が生育できる光量を維持するための光の減衰係数（ k ）は、検討対象種の生育に必要な光量、分布下限水深、水面直下の光強度から、「3.2.1 検討対象種の必要光量からみた透明度の算出方法」に示した式2(以下に再掲)を用いて算出した。算出結果は、「3.2.9 必要光量からみた目標透明度の設定」に示した。

$$k = -\frac{1}{Z} \ln(A/B)$$

k : 維持すべき減衰係数

A : 生育に必要な最低光量（日積算光量の年間平均値）

アマモ (3.3 mol/m²/d)、アラメ (2.5 mol/m²/d)、カジメ (1.4 mol/m²/d)

B : 海面直下の光量 (19.6 mol/m²/d)（日積算光量の年間平均値）

●検討対象種の生育に必要な必要光量(A)

「3.2.4 各検討対象種の生育に必要な光量の設定」に示したように、各検討対象種の生育に必要な光量（日積算光量の年間平均値）として、アマモ 3.3 mol/m²/d、アラメ 2.5 mol/m²/d、カジメ 1.4 mol/m²/dを用いる。

●水面直下における光強度（B）

全天日車量の1971年～2000年の平均値から求めた水面直下の平均光強度の年平均値は19.6 mol/m²/dを用いる。

●今後確保すべき検討対象種の分布下限水深（Z）

生育に必要な最低光量が設定できたアマモ、アラメ及びカジメについて、今後確保すべき分布下限水深を、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海における現在及び過去の分布水深を参考に設定した。

東京湾において、アマモの生育水深は、漁業情報サービスセンター（2004）によると明治時代の記録では10m程度であった。アラメ及びカジメの生育水深は、神奈川県水産試験場（1995）によると、それぞれ5m及び10mであった。伊勢湾において、石原（1995）によると、藻場の構成種は明らかではないが、1955年には広大な面積で藻場が繁茂していた記録があり、生育水深は10m程度である。また、環境庁（1997）によると、アマモ及びアラメ並びにカジメの藻場が確認されているため、過去にもこれらの3種が水深10m程度まで生育していたと考えられる。瀬戸内海において、南西海区水産研究所（1979）によると、アマモ、アラメ及びカジメの生育水深はそれぞれ10m、20m、18mであった。今野（1985）によると、優占種の鉛直分布より、カジメの生育水深がアラメよりもやや深い結果となっている。以上のことから、カジメはアラメと同程度若しくはやや深い水深でも生育できることから、今後確保すべき分布下限水深として、アマモ10m、アラメ及びカジメは20mまで設定した。

3.2.8 水中光の減衰係数と透明度の関係

対象藻場において目標とする透明度を設定するためには、水中光の減衰係数 (k) と透明度の関係式が必要となる。関係式の定数は、表 3.2.17 に示すとおり海域によって異なる。

東京湾については、図 3.2.7 に示すとおり、2002 年から 2003 年の 1 年間の東京湾内の 22 地点における水質調査結果を元に算定した。透明度と減衰係数換算係数の分布は 1 未満から 3 以上までバラつきがあるが、1.4~1.6 が最も頻度が高かったことから、東京湾では、海藻草類の生育に対する安全側を取って 1.6 を用いることとした。

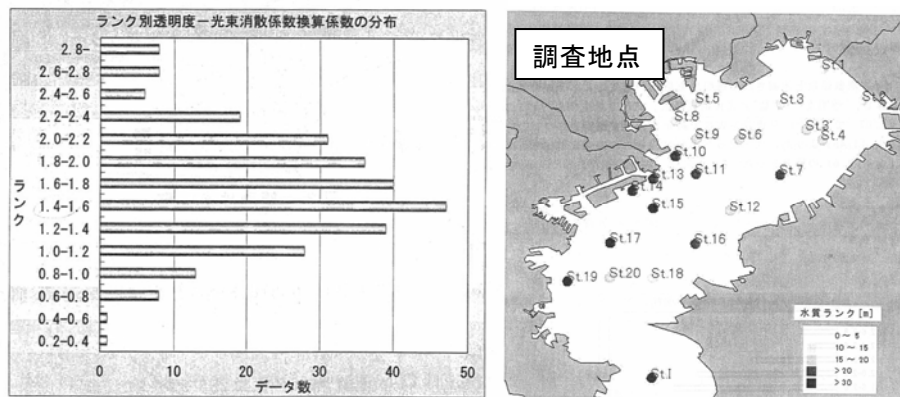
伊勢湾については、減衰係数に関する知見が得られなかった。

瀬戸内海については、広島湾の湾中央部、湾奥部の 19 地点において四季調査を実施している事例から定数 1.6 が得られた (図 3.2.8)。

したがって、減衰係数と透明度の関係を示す定数は、知見が得られなかった伊勢湾については東京湾、瀬戸内海と同じ 1.6 を用いることとし各湾共通で 1.6 とした。

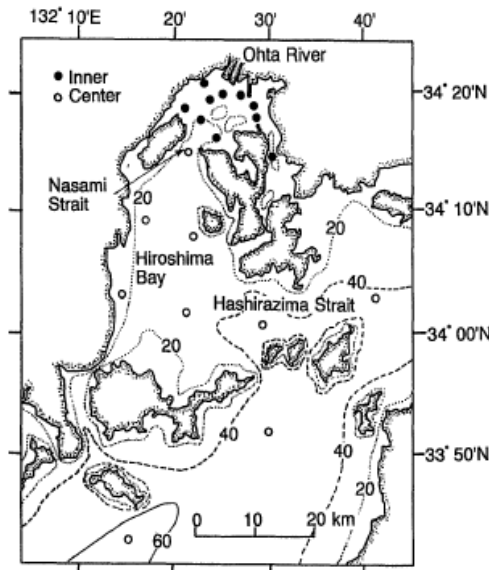
表 3.2.17 透明度と減衰係数との関係式

関係式	対象海域等	出典
透明度 = 1.6/k	東京湾	実測値
透明度 = 1.6/k	瀬戸内海 (広島湾)	橋本ら (1997)
透明度 = 1.45/k	チェサピーク湾	U. S. EPA (2003)
透明度 = 1.7/k	<ul style="list-style-type: none"> ・ Poole and Atkins(1929) の経験式で定数 1.7 が見積もられている。 ・ Idso and Gilbert(1974) によると、濁った海から澄んだ外洋水にわたる広範囲な透明度について、光学的な実測値と比較した結果、定数 1.7 を使って減衰係数をかなりの確に見積もることができるとしている。 	高橋ら (1996)



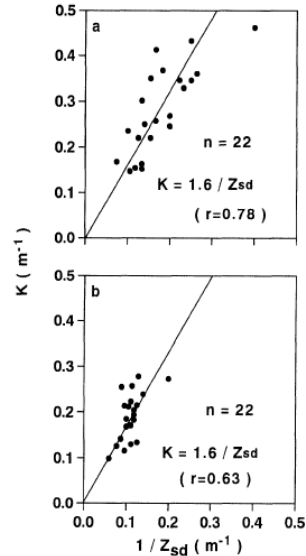
(2002 年から 2003 年の 1 年間の調査結果より)

図 3.2.7 東京湾における透明度-減衰係数換算係数の分布



<調査地点>

(出典) 橋本ら (1997)



Relationships between the reciprocal Secchi disk depth ($1/Z_{sd}$) and the attenuation coefficient in water column (K): (a) the inner area and (b) the center area. Solid lines and equations indicate the result of linear regression analysis.

<減衰係数と透明度の関係>
(a : 内湾部、 b : 外湾部)

図 3.2.8 広島湾における減衰係数と透明度の関係

3.2.9 必要光量からみた目標透明度の設定

生育に必要な最低光量が設定できたアマモ、アラメ及びカジメについて、これらの生育に必要な最低光量が確保するための目標透明度の算定結果を種別に表 3.2.18～表 3.2.20 に示した。

表 3.2.18 アマモの分布下限水深と目標とする透明度

アマモ分布の 下限水深 (Z)	維持すべき減 衰係数 ($k = -1/Z * \ln(A/B)$)	目標透明度 算定値 ($= 1.6/k$)	目標値 (切り上げ)
1m	1.78	0.9 m	1 m
2m	0.89	1.8 m	2 m
3m	0.59	2.7 m	3 m
4m	0.45	3.6 m	4 m
5m	0.36	4.5 m	5 m
6m	0.30	5.4 m	6 m
7m	0.25	6.3 m	7 m
8m	0.22	7.2 m	8 m
9m	0.20	8.1 m	9 m
10m	0.18	9.0 m	9 m

表 3.2.19 アラメの目標とする透明度の算定結果

アラメ分布の 下限水深(Z)	維持すべき 減衰係数 ($k=-1/Z*\ln(A/B)$)	目標透明度 算定値 ($=1.6/k$)	目標値 (切り上げ)
1m	2.06	0.8 m	1 m
2m	1.03	1.6 m	2 m
3m	0.69	2.3 m	3 m
4m	0.51	3.1 m	4 m
5m	0.41	3.9 m	4 m
6m	0.34	4.7 m	5 m
7m	0.29	5.4 m	6 m
8m	0.26	6.2 m	7 m
9m	0.23	7.0 m	7 m
10m	0.21	7.8 m	8 m
11m	0.19	8.5 m	9 m
12m	0.17	9.3 m	10 m
13m	0.16	10.1 m	11 m
14m	0.15	10.9 m	11 m
15m	0.14	11.7 m	12 m
20m	0.10	15.5 m	16 m

表 3.2.20 カジメの目標とする透明度の算定結果

カジメ分布の 下限水深(Z)	維持すべき 減衰係数 ($k=-1/Z*\ln(A/B)$)	目標透明度 算定値 ($=1.6/k$)	目標値 (切り上げ)
1m	2.64	0.6 m	1 m
2m	1.32	1.2 m	2 m
3m	0.88	1.8 m	2 m
4m	0.66	2.4 m	3 m
5m	0.53	3.0 m	3 m
6m	0.44	3.6 m	4 m
7m	0.38	4.2 m	5 m
8m	0.33	4.9 m	5 m
9m	0.29	5.5 m	6 m
10m	0.26	6.1 m	7 m
11m	0.24	6.7 m	7 m
12m	0.22	7.3 m	8 m
13m	0.20	7.9 m	8 m
14m	0.19	8.5 m	9 m
15m	0.18	9.1 m	10 m
20m	0.13	12.1 m	13 m

3.3 現場データによる検証

(1) 現場データによる目標透明度の検証

1) アマモ

実際のアマモの分布下限水深と透明度の関係について、得られたデータを整理しに示した。

玉置ら（2002）は、広島湾のアマモ場において分布下限水深を潜水調査し、その場で6～8月に実測した平均透明度が得られた。

石川ら（1988）からは、岡山県牛窓地先の周年濃密な群落を形成する藻場の分布下限水深とその近傍15地点で観測された1972年から1986年の年間平均透明度が得られた。

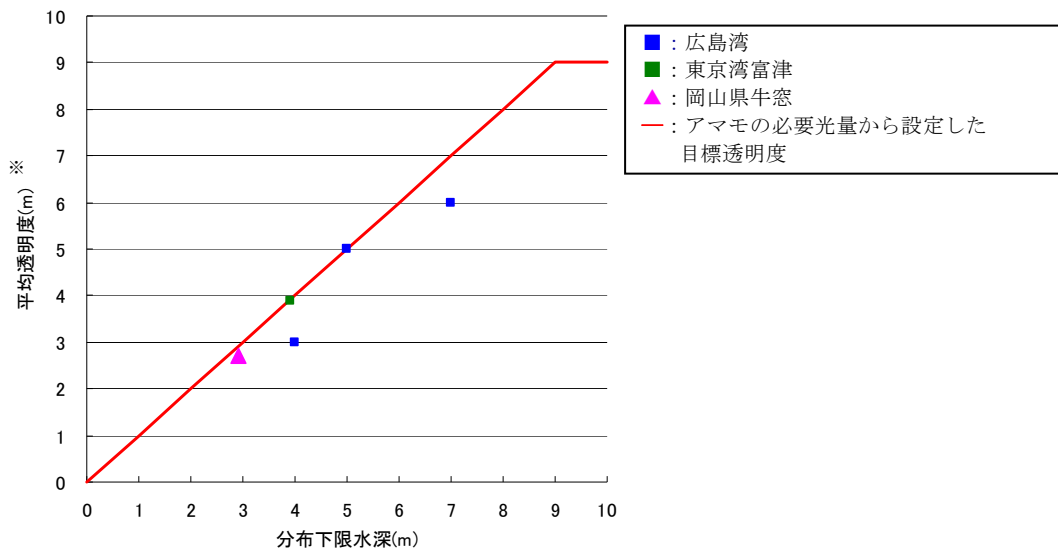
また、文献としては整理されていないが、輪島ら（2004）に東京湾富津のアマモ場の分布下限水深が示されており、この藻場の近傍で毎月調査されている公共用水域水質測定結果（千葉県実施、観測地点：「東京湾18」）の2003～2007年の年間平均透明度を整理した。これらの結果に必要な光量から設定した目標透明度（年間平均値）を重ねて示した（図3.3.1）。

その結果、必要光量から設定した透明度目標値は、広島湾、東京湾及び岡山県牛窓地先では、設定した目標値と実際の年平均透明度はほぼ一致していた。広島湾の透明度観測結果は、6～8月の3ヵ月間の平均値であることから、年間の平均透明度としてはやや異なる可能性はある。

海外の調査事例では、Backman（1905）によると、デンマークの海域及びアメリカ西海岸のカリフォルニアのラグーンにおける分布下限水深と減衰係数を整理し、アマモの分布下限水深は透明度深度の年間平均に相当すると記されている。本検討で設定した透明度目標値も、水深9mまでは平均透明度は分布下限水深と同程度必要であることとなり、概ね一致している。

以上より、アマモの生育に必要な最低光量から設定した透明度目標値は、実際の藻場で観測された分布下限水深と透明度の関係と比較しても概ね等しく、妥当な目標値であると考えられる。

なお、今後、透明度の目標値を用いて評価することとなるが、その評価値については、目標値導出方法を踏まえ、統計学的な検討が必要である。



※広島湾のデータについては、玉置ら（2002）から、分布下限水深を潜水観察し透明度を実測している地点を示した。また、葉上浮泥が多いとしている地点及び海底勾配が急な地点を除いた。
 ※広島県沿岸域の透明度は6～8月の平均透明度（1999年）。岡山県、東京湾の平均透明度は、年間平均透明度を示す（岡山県は1972～1986年、東京湾は2003年～2007年の藻場近傍の地点の年間平均値）。
 ※広島県沿岸域の分布下限水深は、D.L.基準を平均水面に換算（+2.0m）して示した。

図 3.3.1 現存アマモ場での分布下限水深と平均透明度の関係

2) アラメ、カジメ

アラメ、カジメについては、生育場の透明度観測データがほとんど得られなかったため、設定した透明度目標値の現場データによる検証は出来なかった。

3.4 海藻草類の生育に必要な透明度の目標値

海藻草類の生育に必要な透明度目標値を分布下限水深ごとに示すと以下のとおりである。

表 3.4.1 検討した海藻草類の生育を確保する透明度目標値

分布の 下限水深	アマモの生育を確保 する目標値(m)	アラメの生育を確保す る目標値(m)	カジメの生育を確保す る目標値(m)
1m	1	1	1
2m	2	2	2
3m	3	3	2
4m	4	4	3
5m	5	4	3
6m	6	5	4
7m	7	6	5
8m	8	7	5
9m	9	7	6
10m	9	8	7
11m	-	9	7
12m	-	10	8
13m	-	11	8
14m	-	11	9
15m	-	12	10
20m	-	16	13

4. 親水利用からみた透明度の目標値

4.1 対象とする親水利用行為の設定

親水利用からみた透明度の目標値を設定するために、対象とする親水利用行為について検討した。

本検討において、海域における親水利用行為は海洋性レクリエーションとして捉えることとした。海洋性レクリエーションは、畦柳(1997)によって、ダイビング、海水浴、釣り、潮干狩り、散策等があげられている。海洋性レクリエーションのうち、対象とする親水利用行為は、透明度と関係が深いと考えられる海中展望、ダイビング、海水浴、釣り、海岸や海浜公園等での散策や眺望とした。

なお、干潟等で行われているバードウォッチングや市民向けの水辺観察会や水生生物調査といった環境学習も親水利用行為である。このようなバードウォッチングや環境学習が行われる干潟等は、潮汐により水深が浅いことから、透明度の目標を設定する場としては適していない。そのため、バードウォッチングや環境学習は透明度を対象とする親水利用行為の対象外とした。潮干狩りについても同様な理由で対象外とした。

4.2 親水利用行為の透明度の目標値の設定

求められる透明度は、親水利用行為に応じて異なると考えられる。そこで、親水利用行為別に求められる透明度を検討した。

(1) 海中展望・ダイビング

海中展望・ダイビングは、海中を見るという行為であることから同一のものであると考えられる。

ここで、自然公園法(昭和32年6月法律第161号)で指定された海中公園地区は、すぐれた海中景観を保護するために指定された地区であり、海中景観を利用するための施設として、グラスボート、海中展望塔等の施設がある。この地区の利用は海中を見るという行為であることから、この地区の透明度は、海中展望やダイビングに対しての目標の目安になると考えられる。

環境庁(1993)によると、窒素・リンのI類型(自然環境保全)の基準は、望ましい自然環境や景観が保全されている海中公園地区の透明度(表4.2.1)から自然環境保全のための透明度の目安を10mとし、これに対応した基準値を設定している。

以上のことから、海中展望・ダイビングの透明度の目標値は、自然環境のための透明度の目安である10m以上とした。

表 4.2.1 海中公園地区の透明度（環境庁（1993））

水質項目	地点数	データ数*	平均	最小*	最大*	一定値**以上/以下のデータ数（割合）
透明度(m)	18	54	13	7	20	45 (83%)

注) 1. * 各測定点の各年度の平均値を 1 データとした場合のデータ数、最小、最大値である。
 2.** 透明度 10m 以上。

(2) 海水浴

海水浴の透明度の目安としては、環境省(1993)によると、表 4.2.2 に示すように水浴場の水質の判定基準がある。

この判定基準では、海底までまたは 1m 以上の透明度がある水浴場は「適」とされており、50cm 以上 1m 未満の透明度がある水浴場は「可」とされている。つまり、海水浴場の利用に支障がない透明度の目標値は 50cm 以上となる。

ただし、「1.3.3」(P.2) に示すように、透明度の目標値は目標のわかりやすさ、妥当性・再現性の検証や目標達成状況の評価等において扱いやすい数値が望ましいことから、小数点以下を切り上げて整数で設定する。

以上のことから、海水浴の透明度の目標値は 1m 以上とした。

表 4.2.2 水浴場の水質の判定基準（環境庁（1993））

ランク	透明度	COD(mg/L)	ふん便性大腸菌群数(個/mL)	油膜の有無
適	水質 AA 全透 (または 1m 以上)	2 以下	不検出 (検出限界: 2)	油膜が認められない
	水質 A 全透 (または 1m 以上)	2 以下	100 以下	油膜が認められない
可	水質 B 50cm 以上 1m 未満	5 以下	400 以下	常時は油膜が認められない
	水質 C 50cm 以上 1m 未満	8 以下	1000 以下	常時は油膜が認められない
不適	50cm 未満	>8	>1000	常時油膜が認められる

(3) 釣り・散策及び眺望

釣り、散策及び眺望は、海域を見るという行為であることから同一のものであると考えられる。これらの行為について、現状では透明度の目安となるような基準はない。これらの行為は、透明度の低下により、海域を見るという行為に支障をきたすことが想定される。

西條（1984）によると、内湾の透明度は河川等から流入する汚濁物質の影響を受ける。とくに豪雨による出水のあとなど著しい。また浅い水域では風の強いときに、海底から巻き上がる底泥のために濁ったりする。しかし一般的に透明度を支配しているもっとも主要な因子は植物プランクトンである。また、東京湾の内湾部

(富津－観音崎より内側) についてみると、夏季を中心に透明度が低下しており、東京都によると、東京都内湾では赤潮の年間発生日数が、ここ数年、夏季を中心に90日程度で推移している。このことから、内湾域では、植物プランクトンの大量繁殖により、透明度は低下すると考えられる。

東京湾に面する各都県では、赤潮判定の目安(表 4.2.3 参照)を設定しており、その判定項目として透明度がある。

以上のことから、釣り、散策及び眺望の透明度の目標値は、東京湾に面する各都県の赤潮判定の目安の中で赤潮と判定されない透明度である2m以上(神奈川県が目安を参考)とした。

表 4.2.3 東京湾における赤潮判定の目安(東京湾岸自治体環境保全会議(2008))

	千葉県	東京都	神奈川県
色	オリーブ色～茶色	赤褐色、黄褐色、緑褐色	茶褐色、黄褐色、緑褐色等通常と異なる色
透明度	1.5m以下	概ね1.5m以下	概ね2m以下
クロロフィル a	SCORR/UNESCO 法： 50 µg/L	吸光光度法及び LORENZEN 法に準ずる方法：50mg/m ³ 以上	蛍光法：50 µg/L 以上
溶存酸素飽和度	150%以上	—	—
pH	8.5 以上	—	—
赤潮プランクトン	—	顕微鏡で多量に存在していることが確認できる。	顕微鏡で多量に存在している。

4.3 親水利用からみた透明度の目標値

上記(1)～(3)の結果より、親水利用からみた各親水利用行為の透明度の目標値は表 4.3.1 のようになる。

表 4.3.1 親水利用からみた透明度の目標値

親水利用行為	目標値
海中展望・ダイビング	10m以上
海水浴場	1m以上
釣り・散策及び眺望	2m以上

5. 透明度の目標設定

「1. 海藻草類の生育に必要な透明度の目標値」及び「2. 親水利用からみた透明度の目標値」の検討結果より、東京湾の透明度の目標は表 4.3.1、表 4.3.2 に示すとおりである。

表 4.3.1 海藻草類生育に必要な透明度の目標

分布の 下限水深	アマモの生育を確保 する目標値(m)	アラメの生育を確保す る目標値(m)	カジメの生育を確保す る目標値(m)
1m	1	1	1
2m	2	2	2
3m	3	3	2
4m	4	4	3
5m	5	4	3
6m	6	5	4
7m	7	6	5
8m	8	7	5
9m	9	7	6
10m	9	8	7
11m	-	9	7
12m	-	10	8
13m	-	11	8
14m	-	11	9
15m	-	12	10
20m	-	16	13

表 4.3.2 親水利用からみた透明度の目標

対象海域	親水利用行為	目標値
東京湾	海中展望・ダイビング	10m以上
伊勢湾	海水浴場	1m以上
瀬戸内海	釣り・散策及び眺望	2m以上

参考・引用文献

- 1) 阿部真比古, 倉島彰, 前川行幸 (2007) アマモの光合成活性からみたアマモ場の保全と再生, 日本水環境学会シンポジウム講演集, 10th, pp. 6.
- 2) Abe, M., Hashimoto, N., Kurashima, A. and Maegawa, M. (2003) Estimation of light requirement for the growth of *Zostera marina* in central Japan., *Fisheries Science*, 69 (5), 890-895.
- 3) 有賀祐勝, 横浜康継 (1979) 藻類生理生態研究法, 環境要因の測定, 光, 藻類研究法 (西澤一俊, 千原光雄編), pp. 436-446. 共立出版社, 東京.
- 4) 畦柳昭雄 編 (1997) 海洋性レクリエーション施設-計画とデザイン, pp. 10-13, 技報堂出版.
- 5) Backman T. W. and D.C. Barilotti. (1976) Irradiance reduction, effects on standing crops of the eelgrass *Zostera marina* in a coastal lagoon, *Marine Biology*, 34, 33-40.
- 6) 千原光雄 (1990), 学研生物図鑑 特徴がすぐわかる 海藻, 292pp, 学習研究社, 東京
- 7) 千葉県 (2003) 千葉県植物誌.
- 8) 中国電力株式会社 (1985) 柳井発電所周辺藻場調査 (第四報) アマモ移植実験に関する調査報告書, pp. 35.
- 9) Dawson, E. Y. (1965) *Marine Botany, an Introduction*. 371pp.
- 10) Dennison W. C. (1987) Effects of light on seagrass photosynthesis, growth and depth distribution, *Aquatic Botany*, 27, 15-26.
- 21) Dennison W. C. and R. S. Alberte. (1986) Photoadaptation and growth of *Zostera marina* L. (eelgrass) Transplants along a depth gradient, *Journal Of Experimental Marine Biology and Ecology*, 98, pp. 265-282.
- 22) Dennison W. C. and R. S. Alberte. (1985) Pole of daily light period in the depth distribution of *Zostera marina* (eelgrass). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 25, 51-61.
- 23) 電力中央研究所 (1987) 藻場影響調査総合報告書 (昭和 57 年~61 年総合とりまとめ).
- 24) Duarte C. M. (1991) Seagrass depth limits. *aquatic botany*, 40, pp. 363-377.
- 25) 藤澤邦康, 小橋啓介, 林浩志 (2001) 水中光量の実測値と日射量による計算値の比較. 岡山水産試験場報告, (16), pp. 1-6.
- 26) 古川厚, 野上和彦, 久岡実, 小笠原義光, 岡本亮, 小林歌男 (1961) 海中懸濁物質並びに主としてその点から見た貝類養殖場の特性に関する研究, 内海区水産研究報告, 14, pp. 151.
- 27) 後藤弘, 伊藤康夫 (1988) 石炭灰利用人工藻礁の開発 -アラメ・カジメの配偶体および幼孢子体の成長に対する光量の影響-, 電力中央研究所報告 U88038, pp. 1-27.
- 28) 漁業情報サービスセンター (2004) 東京湾の漁業と資源 その今と昔, pp. 273
- 29) 橋本俊也, 多田邦尚 (1997) 広島湾における海水の光学的特性、海の研究, 6 (3), 151-155.
- 30) 林田文郎 (2000) 伊豆半島・岩地湾におけるアマモ群落の垂直分布と季節変動について, 日本水産学会誌, 66 (2), 212-220.
- 31) 平岡喜久典, 後藤義雄, 寺脇利信, 岡田光正 (2001) 自然的要因によるアマモ場の消滅—氾濫河川からの浮泥供給による消滅事例の解析—, 水環境学会誌, 24 (3), 153-159.
- 32) 平岡喜代典, 杉本憲司, 太田誠二, 寺脇利信, 岡田光正 (2005) 葉上浮泥による光量低下と砂面変動がアマモ場の分布に及ぼす影響—広島湾でのケーススタディー—, 水環境学会誌, 28 (4) 257-261.
- 33) 平岡喜代典, 高橋和徳, 中原敏雄, 寺脇利信, 岡田光正 (2000) 移植実験によるアマモの生育制限要因の検討, 環境科学会誌, 13 (3), 391-396.
- 34) 平岡喜代典, 杉本憲司, 太田誠二, 寺脇利信, 岡田光正 (2005) 葉上浮泥による光量低下と砂面変動がアマモ場の分布に及ぼす影響—広島湾でのケーススタディー—, 水環境学会誌, 28 (4), 257-261.

- 35) 平岡喜代典, 後藤義雄, 寺脇利信, 岡田光正 (2001) 自然的要因によるアマモ場の消失-氾濫河川からの浮泥供給による消滅事例の解析-, 水環境学会誌, 24 (3), pp.153-158.
- 36) 平岡喜代典, 杉本憲司, 玉置仁, 寺脇利信, 岡田光正 (2004) 葉上浮泥と葉上付着物によるアマモの分布下限深度への影響, 日本水環境学会年会講演集, pp. 38.
- 37) 井上祐雄 (1977) 備讃瀬戸中～東部海域における濁りとその構成, 文部省特定研究、瀬戸内海中部海域における魚礁悪化現象の解明, pp. 3-16, 香川大学農学部.
- 38) 伊勢湾研究会 編 (1995), 伊勢・三河湾 再生のシナリオ-海と人間の共生を求めて-, pp. 166, 八千代出版.
- 39) 石川雄介, 川崎保夫, 本多正樹, 丸山康樹, 五十嵐由雄 (1988) 電源立地点の藻場造成技術の開発 第9報 水中の光条件に基づくアマモ場造成限界深度の推定方法, 電力中央研究所研究報告 U880010, pp. 1-20.
- 40) 石川雄介, 川崎保夫, 本多正樹, 丸山康樹, 五十嵐由雄 (1988) 電源立地点の藻場造成技術の開発, 電力中央研究所我孫子研究所報告, pp. 1-20.
- 41) 石原義剛(1995) 第6章 漁業をどうよみがえらせるか?, 「伊勢・三河湾 再生シナリオ-海と人間の共生を求めて-」(伊勢湾研究会編), pp. 151-182, 八千代出版, 東京.
- 42) 岩田明久, 酒井敬一, 細谷誠一 (1997) 横浜市沿岸域における環境変化と魚類相, 公害資料 No. 82, 横浜市公害対策局.
- 43) 岩橋義人, 稲葉繁雄, 伏見浩, 佐々木正, 大須賀穂作 (1979) 静岡県水産試験場研究報告, 13, pp. 75-82.
- 44) 海洋生物環境研究所 (1991) 藻場の構造と機能に関する既往知見, pp. 95.
- 45) 環境省 (2004) 藻場の復元に関する配慮事項、平成16年3月, 100pp. .
- 46) 環境庁, 第4回自然環境保全基礎調査 (http://www.biodic.go.jp/kiso/34/34_higat.html).
- 47) 環境庁 (1993) 海域に係る窒素・りん等水質目標検討報告書, 官公庁公害専門資料, 28 (1), pp. 53-68.
- 48) 環境庁 (1997) 水浴場の水質の判定基準.
- 49) 環境省 (2008) 第7回自然環境保全基礎調査浅海域生態系調査(藻場調査)報告書, 428pp, 環境省自然環境局 生物多様性センター.
- 50) 環境庁, 第5回自然環境保全基礎調査 (http://www.biodic.go.jp/kiso/34/34_higat.html)
- 51) 環境庁編 (1997) 日本の干潟、藻場、サンゴ礁の現況, 第2巻 藻場, pp. z400
- 52) 神奈川県環境農政部水産課, 神奈川県水産技術センター, 水産庁 (2006) かながわのアマモ場再生ガイドブック.
- 53) 神奈川県水産試験場 (1995) 沿岸植生調査報告書, 神奈川県水産試験場資料 (406), 88pp.
- 54) 川崎保夫, 山田貞夫 (1991) 海中砂漠緑化技術の開発 第5報アラメ、カジメ、クロメの配偶体および幼胞子体に対する成長限界光量と浮泥堆積量, 電力中央研究所研究報告 U91034, pp. 1-22.
- 55) 川崎保夫 (1988) 藻場造成の現状と課題②アマモ場, 水産の研究, 7 (6), 44-48.
- 56) 川崎保夫, 飯塚貞二, 後藤弘, 寺脇利信, 渡辺康憲, 菊池弘太郎 (1988) アマモ場造成に関する研究, 電力中央研究所我孫子研究所報告 U14, pp. 77-83.
- 57) 川崎保夫, 石川雄介, 丸山康樹 (1990) アマモ場造成の適地選定法, 沿岸海洋研究ノート, 27 (2), 136-145.
- 58) 川崎保夫, 山田貞夫, 寺脇利信 (1991) 海中砂漠緑化技術の開発 第5報 アラメ, カジメ, クロメの配偶体および幼胞子体に対する成長限界光量と浮泥堆積量, 電力中央研究所我孫子研究所報告 U91034, pp. 1-21.
- 59) 菊池弘太郎, 寺脇利信, 佐藤秋生 (1986) 電源立地の藻場造成技術の開発 第5報小田和湾におけるアマモ炭水化物量の季節変化, 電力中央研究所研究報告 486003, pp. 1-12.
- 60) 今野敏徳(1985) ガラモ場・カジメ場の植生構造, 海洋科学, 17(1), 57-65.
- 61) 国土交通省港湾局 (2007) 「順応的管理による海辺の自然再生」, 294pp. .
- 62) 国土交通省 中部地方整備局 名古屋港湾空港技術調査事務所 (2003) 平成14年度 名古屋技調報告「伊勢湾内藻場・貧酸素水塊調査(藻場編)」.

- 63) 倉島彰, 横浜康継, 有賀祐勝 (1996) 褐藻アラメ・カジメの生理特性, 藻類, 44 (2), 87-94.
- 64) Maegawa, M., Kida, W., Yokohama, Y. and Aruga, Y. (1988) Comparative studies on critical light conditions for young *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia cava*, Jpn, J Phycol, 36, 166-174.
- 65) Maegawa, M., Yokohama, Y. and Aruga, Y. (1987) Critical light conditions for young *Ecklonia cava* and *Eisenia bicyclis* with reference to photosynthesis, Hydrologia, (151/152), 447-455.
- 66) 三重県科学技術振興センター, 三重大学, 京都大学, 東海大学 (2001) 「三重県科学技術振興センター共同研究事業 伊勢湾の生態系の回復に関する研究」 (平成12年度).
- 67) 三重県科学技術振興センター, 三重大学, 京都大学, 東海大学 (2002) 「三重県科学技術振興センター共同研究事業 伊勢湾の生態系の回復に関する研究」 (平成13年度).
- 68) 三重県科学技術振興センター, 三重大学, 京都大学, 東海大学 (2003) 「三重県科学技術振興センター共同研究事業 伊勢湾の生態系の回復に関する研究」 (平成14年度).
- 69) 三島康史, 門谷 茂, 岡市友利 (1990) 巨視的浮遊性大型粒子 (NUTA): 採取装置の開発と懸濁粒子・沈降粒子との関係, La mar, 28, 123-130.
- 70) Moore, K. A. and Wetzel, R. L. (2000) Seasonal variation in eelgrass (*Zostera marina* L.) response to nutrient enrichment and reduced light availability in experimental ecosystem, J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 244, 1-28.
- 71) Moore K. A., R. L. Wetzel. and R. J. Orth. (1997) Seasonal pulses of turbidity and their relations to eelgrass (*Zostera marina* L.) survival in an estuary, Journal Of Experimental Marine Biology and Ecology, 215, pp. 115-134.
- 72) Moore K. A., H. A. Neckles. and R. J. Orth. (1996) *Zostera marina* (eelgrass) growth and survival along a gradient of nutrients and turbidity in the lower Chesapeake Bay, MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES, 142, 247-259.
- 73) 森田健二, 竹下彰 (2003) アマモ場分布限界水深の予測評価手法, 土木学会論文集, 741, VII-28, pp. 39-48.
- 74) Mukai, H., Aioi, K., Yoshida, Y. (1980) Distribution and biomass of eelgrass (*Zostera marina* L.) and other seagrass in odawa bay central Japan, Aquatic Botan, 8, 337-342.
- 75) 中田喜三郎 (2009) 光と海洋の一次生産, pp. 9, 株式会社生物研究者, 東京.
- 76) 南西海区水産研究所 (1979) 「沿岸海域藻場調査 瀬戸内海関係海域藻場分布調査報告ー藻場の分布ー」.
- 77) 日本水産資源保護協会 (1992) アマモ類、環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための判断基準と事例, pp. 38-47.
- 78) 二村和視, 岡本一利, 高瀬進 (2007) 駿河湾深層水・光量および水温がサガラメ *Eisenia arborea* 幼体の生長に及ぼす影響, 日本水産増殖学会, 55 (2), 199-204.
- 79) 二村和視, 花井孝之, 岡本一利, 高瀬進, 窪田久, 大河内敏雄 (2005) I 深層水利用技術の確立 1 サガラメ・カジメ種苗培養研究, 静岡県水産試験場事業報告, pp. 106-108.
- 80) 能登谷正浩 (2003) 藻場の海藻と造成技術, p. 101-103, 築地書館, 東京.
- 81) 沼田真 (1997) 東京湾の生物誌, pp. 156-184.
- 82) Ochieng C. A., F. T. Short. and D. I. Walker. (2009) Photosynthetic and morphological response of seagrass (*Zostera marina* L.) to a gradient of light conditions, Article in press.
- 83) 尾田正 (2006) プロダクトメーターによって測定したアマモの光合成量の季節的变化, 岡山県水産試験場報告, 21, pp. 11-15.
- 84) 大野正夫 (1996) 「21世紀の海藻資源 -生態機構と利用の可能性-」.
- 85) Poole, H. H. and W. R. G. Atkins. (1929) Photo-electric measurements of submarine illumination throughout the year. Jour. Mar. Biol. Assoc. U. K. 16, 297-324.

- 86) Ronald M. T., S. L. Southard., A. B. Borde. and P. Stoltz. (2008) Light Requirements for Growth and Survival of Eelgrass (*Zostera marina* L.) in Pacific Northwest (USA) Estuaries. *Estuaries and Coasts*, 31, 969-980.
- 87) Ronald M. Thom. and Susan L. Southard. (2008) Light Requirements for Growth and Survival of Eelgrass (*Zostera marina* L.) in Pacific Northwest (USA) Estuaries, *Estuaries and Coasts*, 31 (5), 969-980.
- 88) 西條八束 (1984) 内湾の環境科学-三河湾・伊勢湾の研究を中心として-(上), pp.12-29, 倍風館.
- 89) Silbestein, K., Chiffings, A. W. and McComb, A. J. (1986) The loss of seagrass in Cockburn Sound, Western Australia. III. The effect of epiphytes on productivity of *Posidonia australis* Hook. F., *Aquatic Botany.*, 24, 355-371.
- 90) 須藤静夫, 古川厚 (1992) 沿岸浅海域における海中懸濁物質と溶存有機物の光学的特性, 海生研報告 (92301), pp. 1-29.
- 91) 須藤静夫 (1992) 千葉県御宿町前面の沿岸域におけるアラメ・カジメの鉛直分布と光エネルギー (海洋生物環境研究所 S), 海洋生物環境研究所研究報告 92101, pp. 1-22.
- 92) 水産庁 (2007) アマモ類の自然再生ガイドライン.
- 93) 社団法人 日本水産資源保護協会 (1996) 「中部新国際空港の漁業に関する調査報告書 平成7年度調査報告 (4か年とりまとめ)」.
- 94) 高橋正征, 古谷研, 石丸隆 (1996) 生物海洋学 2 粒状物質の一次生成, pp.19, 東海大学出版会, 東京.
- 95) 玉置仁, 西島渉, 新井章吾, 寺脇利信, 岡田光正 (1999) アマモ生育に及ぼす葉上堆積浮泥の影響, 水環境学会誌, 22, 663-667.
- 96) 玉置仁, 西島渉, 富永春江, 寺脇利信, 岩瀬晃盛, 岡田光正 (2002) 海水の透明度変化がアマモ場面積の消長に及ぼす影響-広島県沿岸域におけるケーススタディー-, 水環境学会誌, 25 (3), 151-156.
- 97) 玉置仁, 西島渉, 新井章吾, 寺脇利信, 岡田正光 (1999) アマモの生育に及ぼす葉上堆積浮泥の影響, 水環境学会誌, 22 (8), 663-667.
- 98) 田中法生 (2007) 東京湾のアマモの消滅と再生事業, 相模湾動物誌, 国立科学博物館編, pp. 115.
- 99) 寺脇利信, 飯塚貞二 (1986) 電源立地点の藻場造成技術の開発 第3報 移植用アマモの生育に及ぼす培養土、植え付け株数及び光透過率の影響, 電力中央研究所報告 485030.
- 100) 寺脇利信 (1991) 電力中央研究所研究報告 U91024, pp. 1-31.
- 101) 寺脇利信, 川崎保夫, 本多正樹 (1991) 海中林造成技術の実証 第2報 三浦半島西部でのアラメおよびカジメの生態と生育特性, 電力中央研究所我孫子研究所報告 U91022, pp. 65.
- 102) Thimijan R. W., Heins R. D. (1983) Photometric, Radiometric, and Quantum Light Unit of Measure: A Review of Procedures for Interconversion. *HORTSCIENCE*, 18(6), 818-822.
- 103) 徳田廣, 川嶋昭二, 大野正夫, 小河久朗編集 (1991) 「海藻の生態と藻礁」, pp. z197, 緑書房, 東京.
- 104) 東京都, 東京都内湾 赤潮発生状況, Web による公開データ, <http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/kansi/mizu/akasio/akasio.htm>
- 105) 東京湾岸自治体環境保全会議 (2008) 東京湾水質調査報告書 (平成19年度), pp. 40-44.
- 106) U. S. EPA (2003) Ambient Water Quality Criteria for Dissolved Oxygen, Water Clarity and Chlorophyll *a* for the Chesapeake Bay and Its Tidal Tributaries, 81-99.
- 107) 輪島毅, 福島朋彦, 有松健, 伊東永徳, 豊原哲彦, 吉澤忍 (2004) 東京湾藻場分布調査-盤洲干潟・富津干潟-, 日本海洋生物研究所 年報 2003, pp. 7-20.
- 108) 山田常雄他 編 (1983) 生物学辞典第三版, 1404pp..
- 109) Yamaguchi, H., Montani, S., Tsutsumi, H., Hamada, K., Ueda, N. and Tadae, K. (2007) Dynamics of microphytobenthic biomass in a coastal area of western Seto Inland Sea, Japan, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 75(4). 423-432.

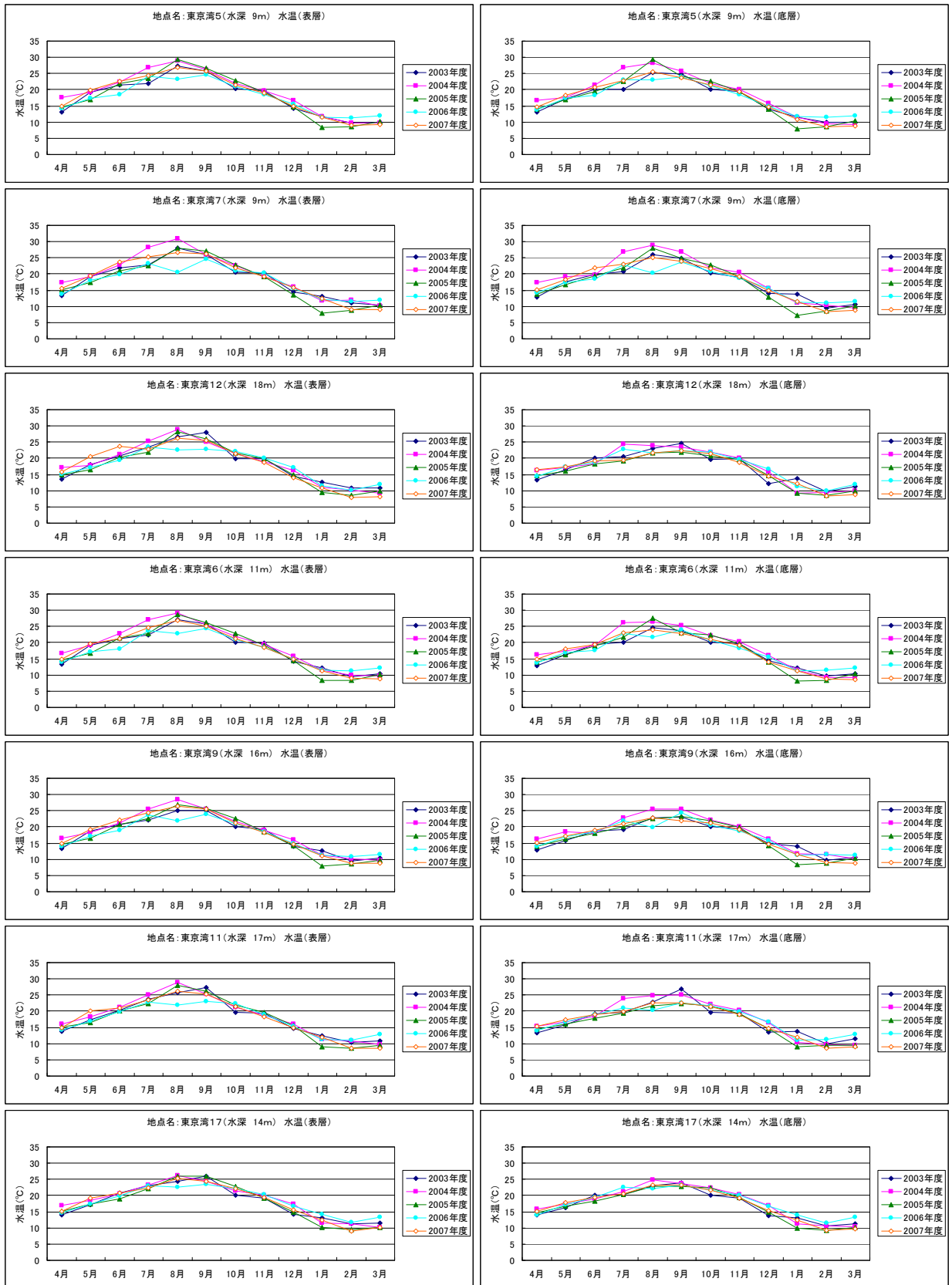
- 110) 横浜康継 (2008) 海藻という植物 (8) 海藻の水平・垂直分布と温度・光条件, 海洋と生物, 30 (6), 797-807.
- 111) 横浜康継, 前川行幸 (1988) プロダクトメーター (差働検容計) による大型資料の光合成および呼吸測定, 藻類, 36, 29-36.
- 112) 吉田忠夫 (1988) 新日本海藻誌 日本産海藻総覧 内田老鶴圃, pp. 1222.
- 113) 吉田司, 芝修一, 小山善明, 新井義昭, 鈴木輝明 (2004) アマモ場造成に必要な生育環境条件に関する研究 三河湾三谷町地先における事例, 水産工学, 40 (3), 205-210.
- 114) 全国漁場環境保全対策協議会 (1997) アマモ場の再生に関する事例調査報告書, pp. 89.
- 115) Zimmerman R. C., J. L. Reguzzoni. and R. S. Alberte. (1995) Eelgrass (*Zostera marina* L.) transplants in San Francisco Bay, Role of light availability on metabolism, growth and survivals, Aquatic Botany, 51, 67-86.

別添資料

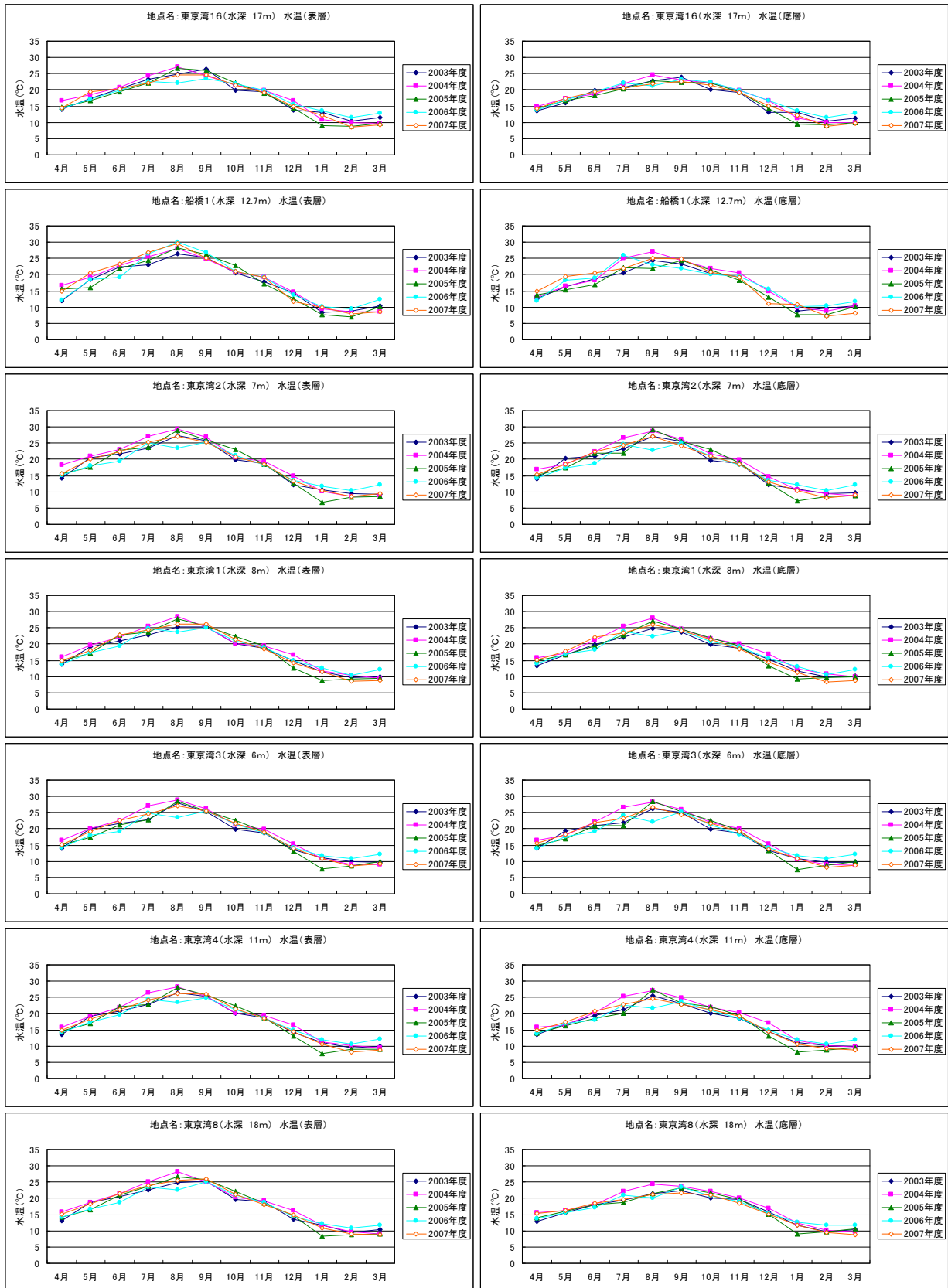
[透明度目標値の設定に係る資料]

目 次

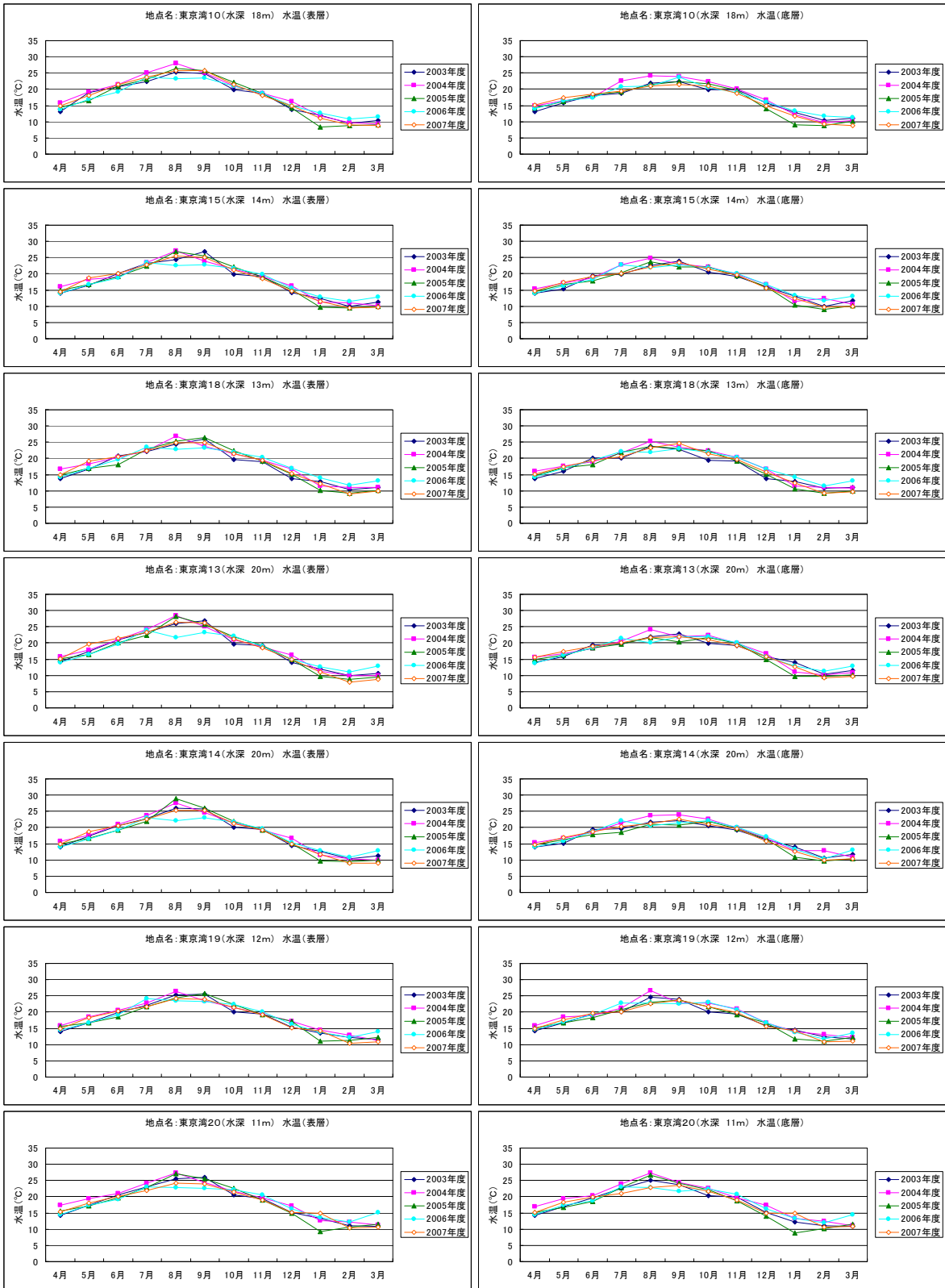
1. 水温と透明度の季節変化：公共用水域水質測定結果..... 別- 1
2. 海洋性レクリエーション活動について..... 別-14
3. 東京湾における親水利用の場の周辺海域における透明度の把握..... 別-14



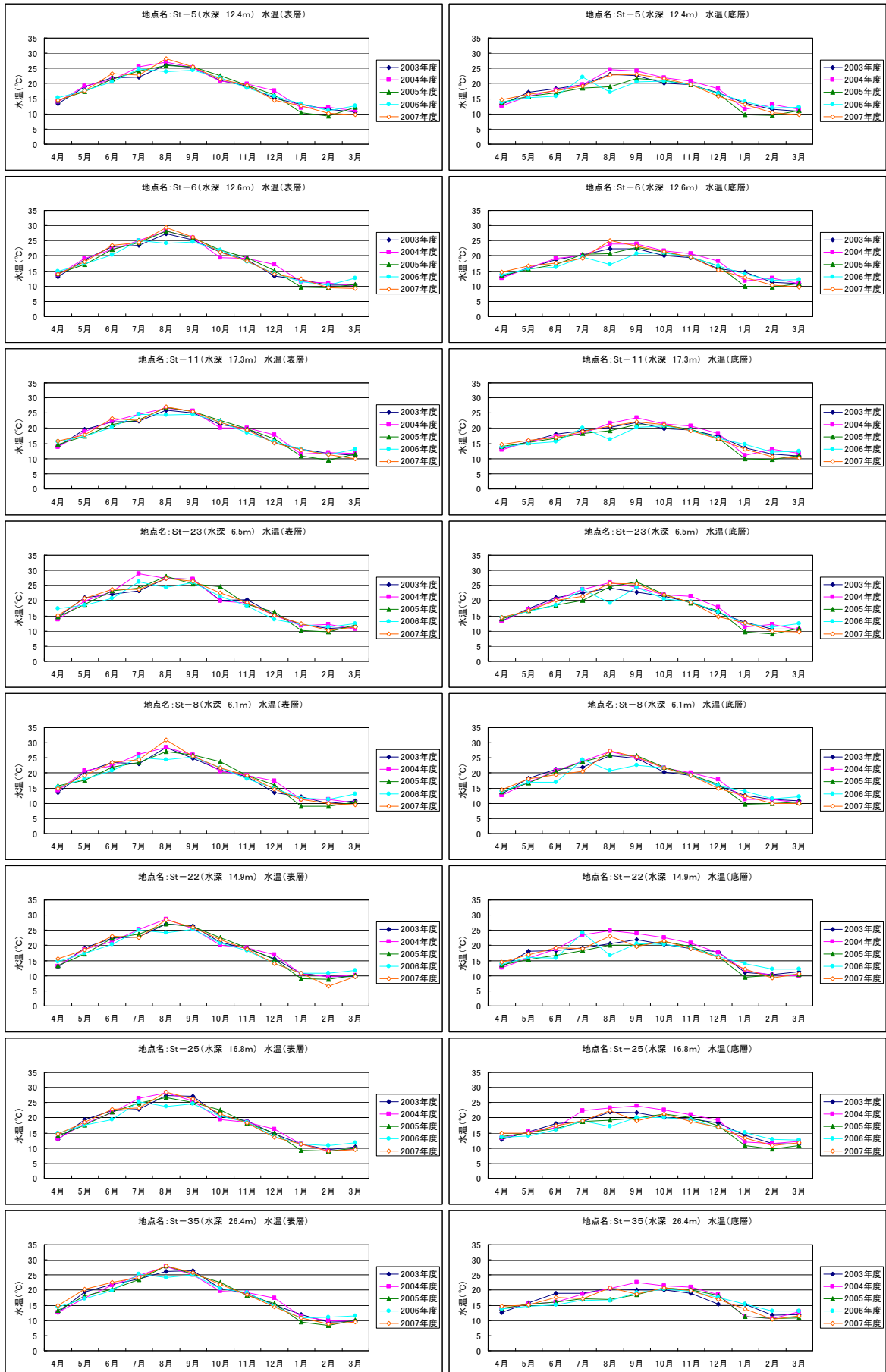
付図 1.2(1) 水温の季節変化：公共用水域水質水質測定結果（千葉県）



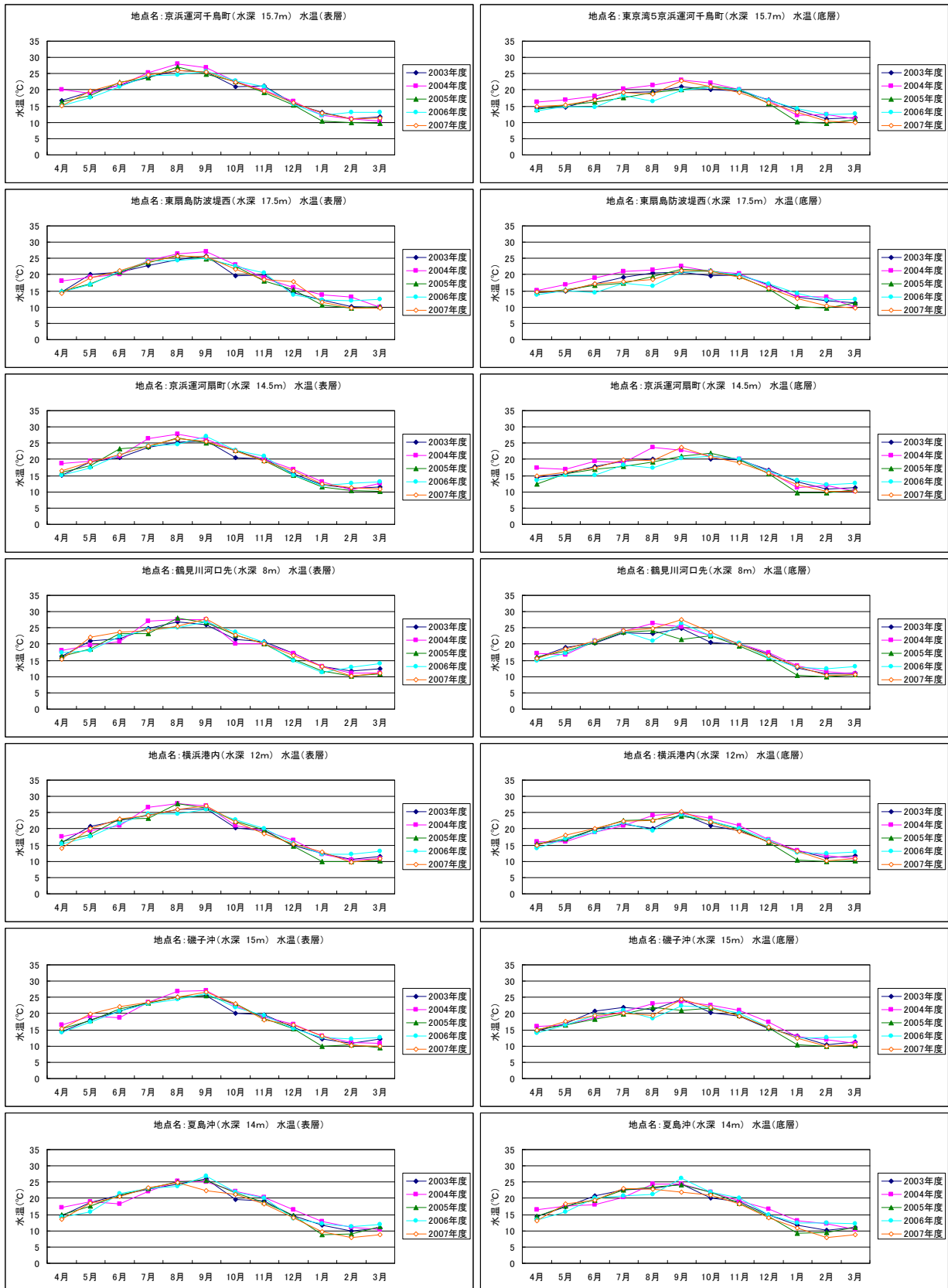
付図 1.2(2) 水温の季節変化：公共用水域水質水質測定結果（千葉県）



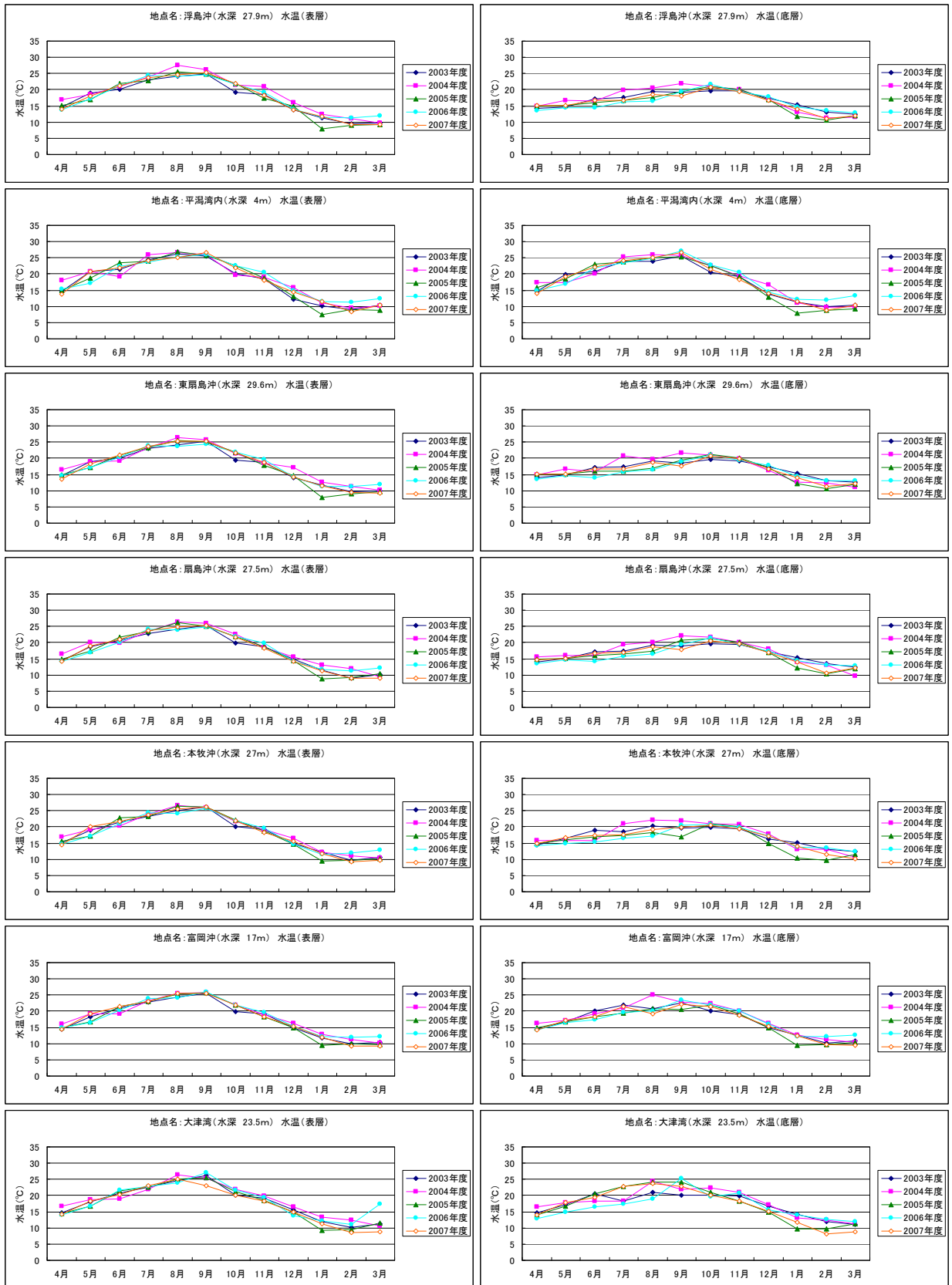
付図 1.2(3) 水温の季節変化：公共用水域水質水質測定結果（千葉県）



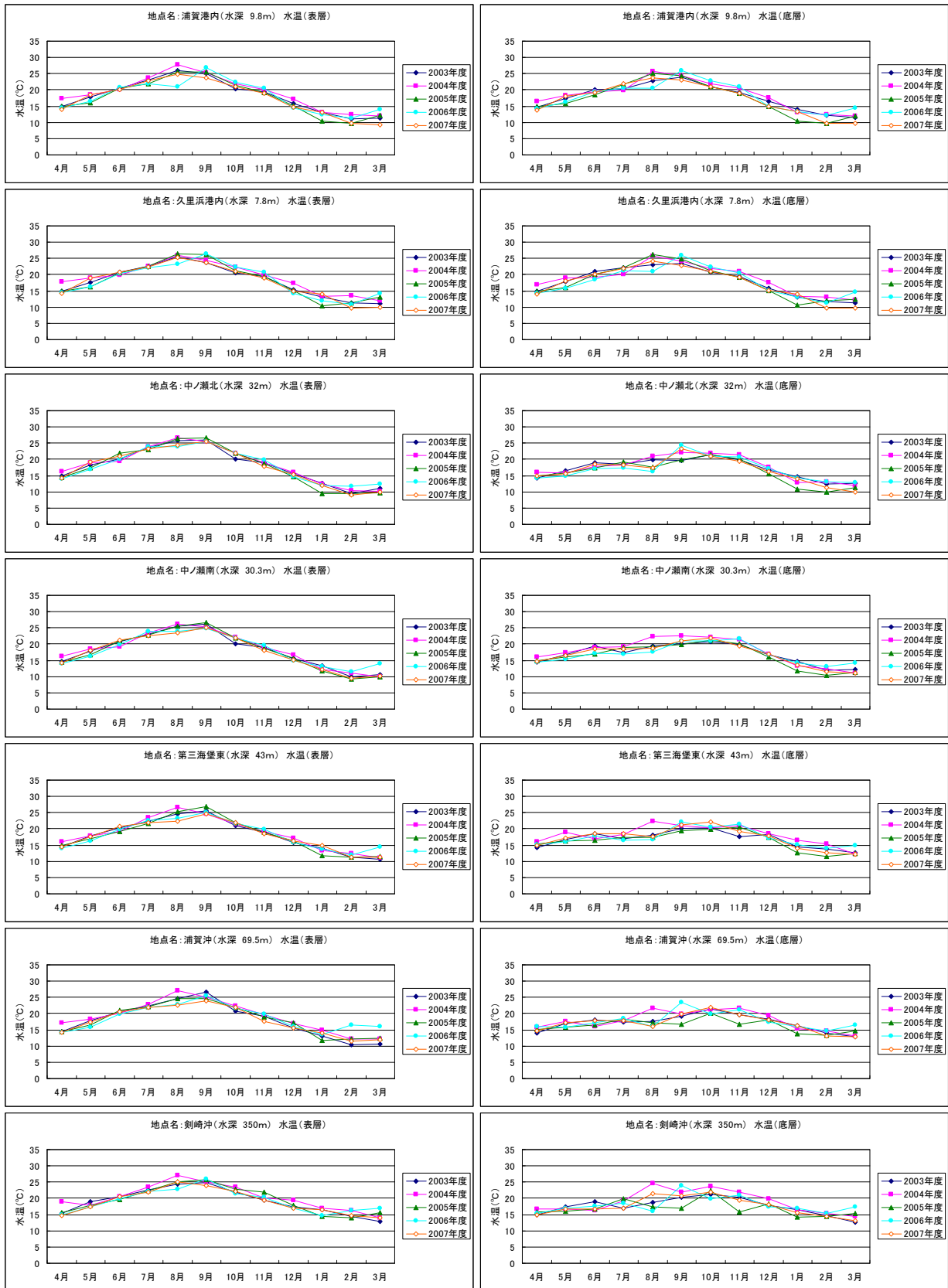
付図 1.3 水温の季節変化：公共用水域水質水質測定結果（東京都）



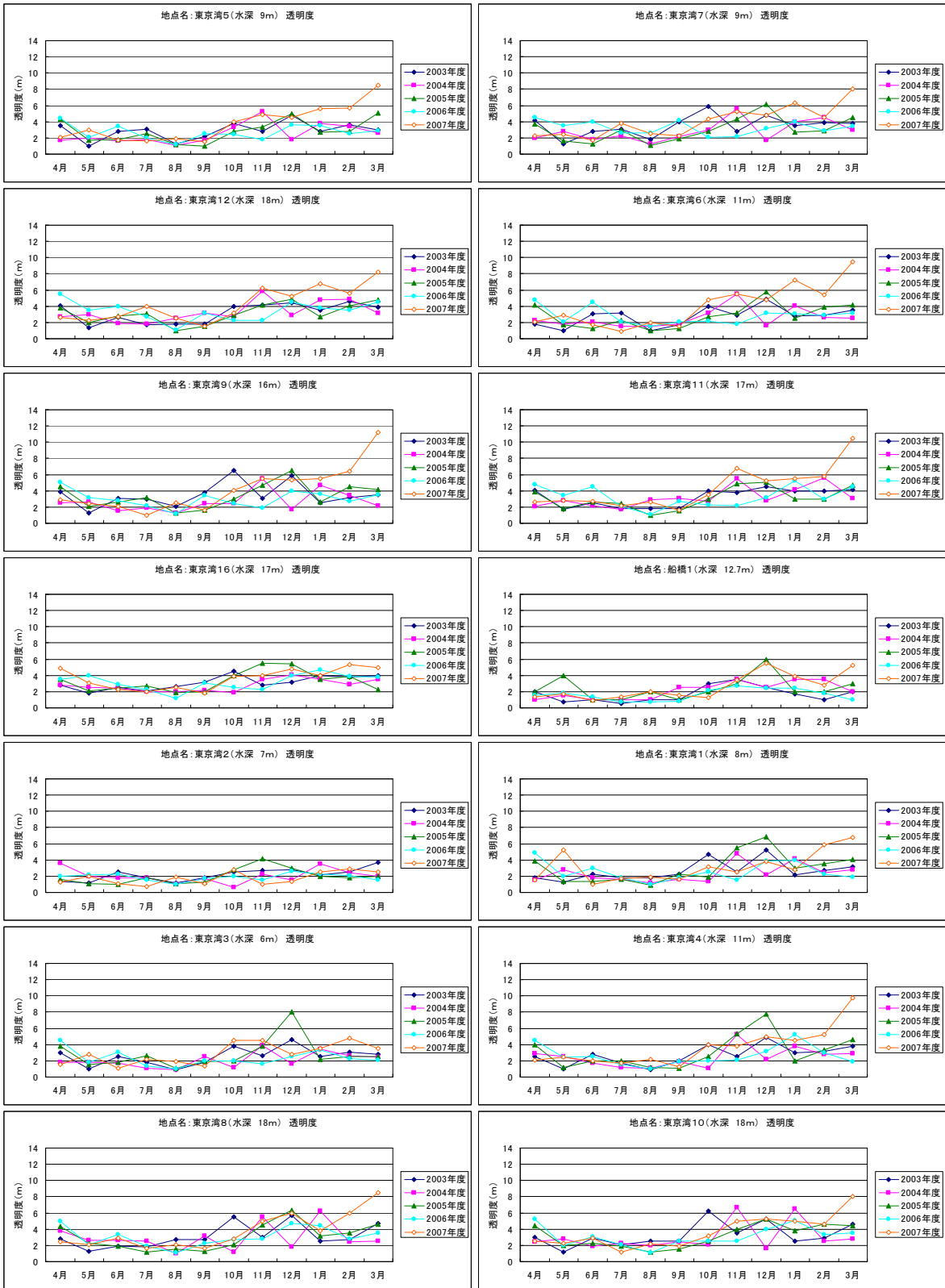
付図 1.4(1) 水温の季節変化：公共用水域水質水質測定結果（神奈川県）



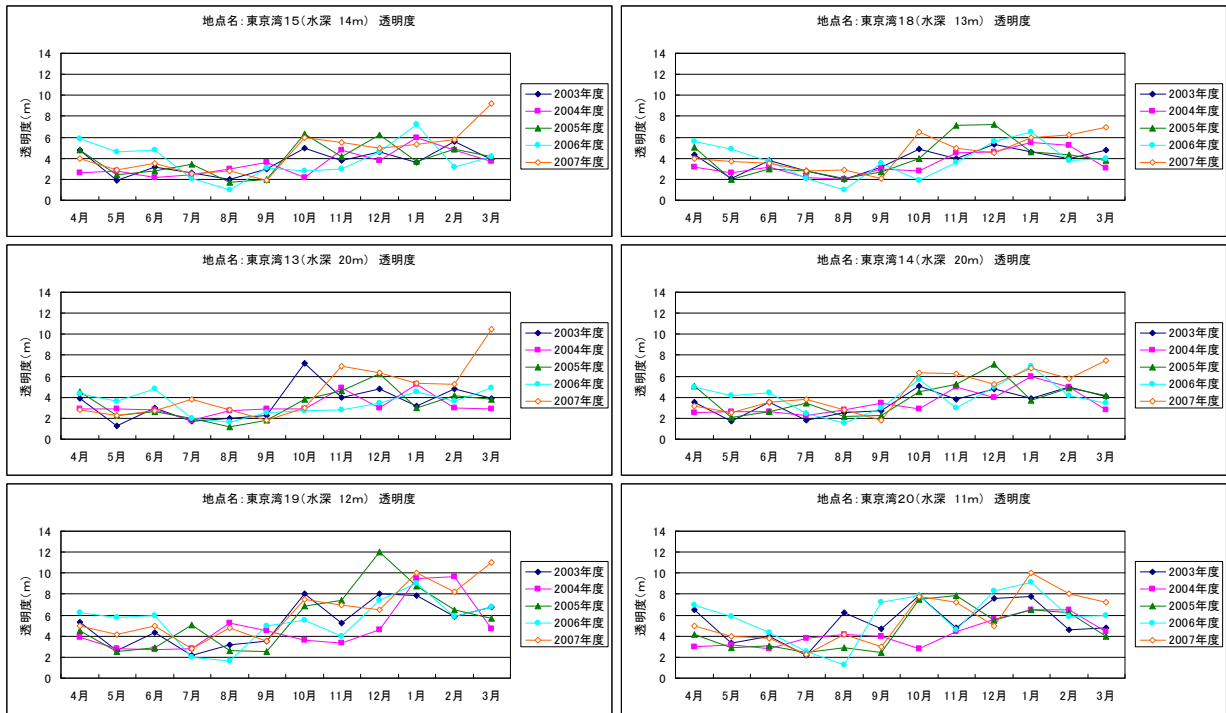
付図 1.4(2) 水温の季節変化：公共用水域水質水質測定結果（神奈川県）



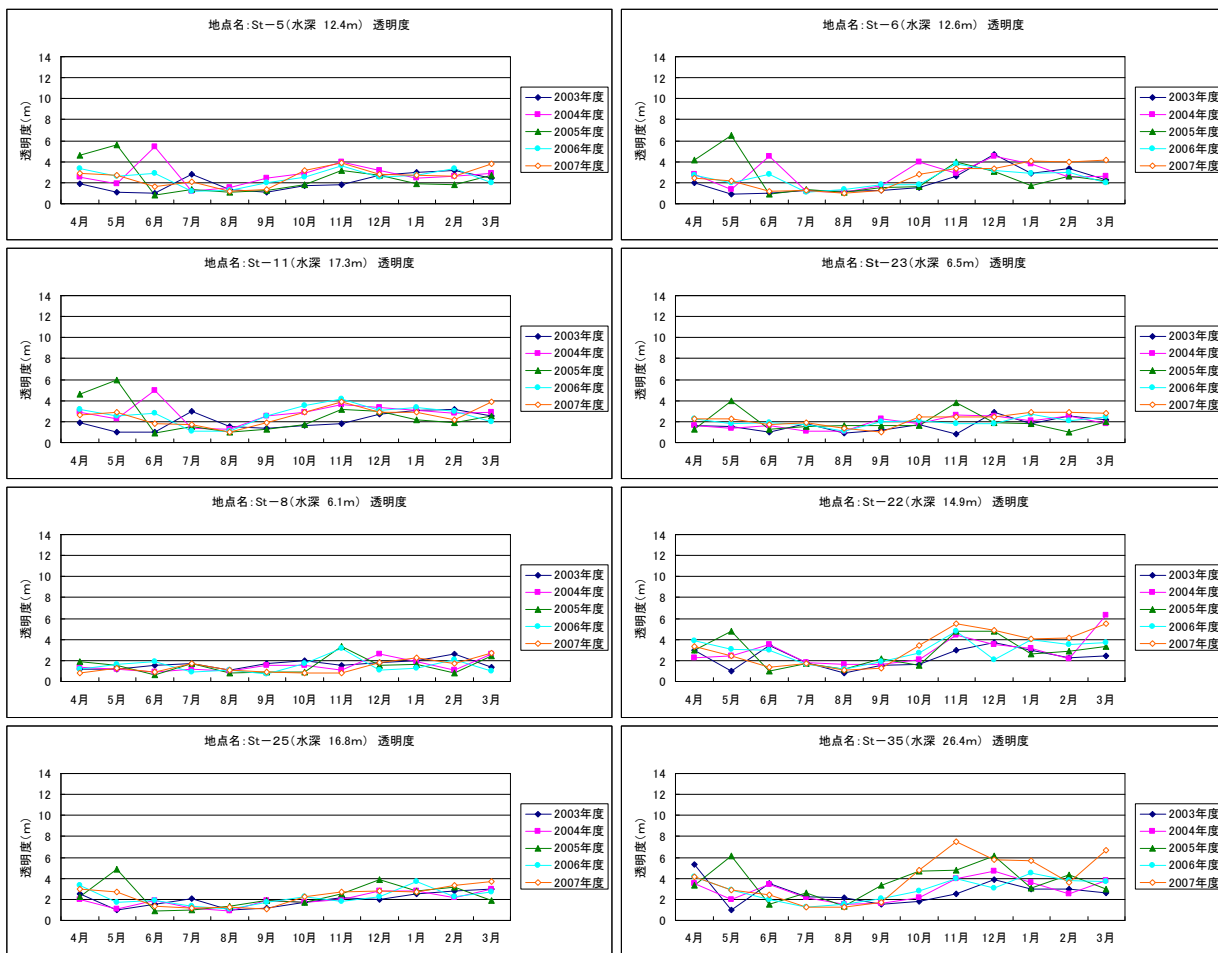
付図 1.4(3) 水温の季節変化：公共用水域水質水質測定結果（神奈川県）



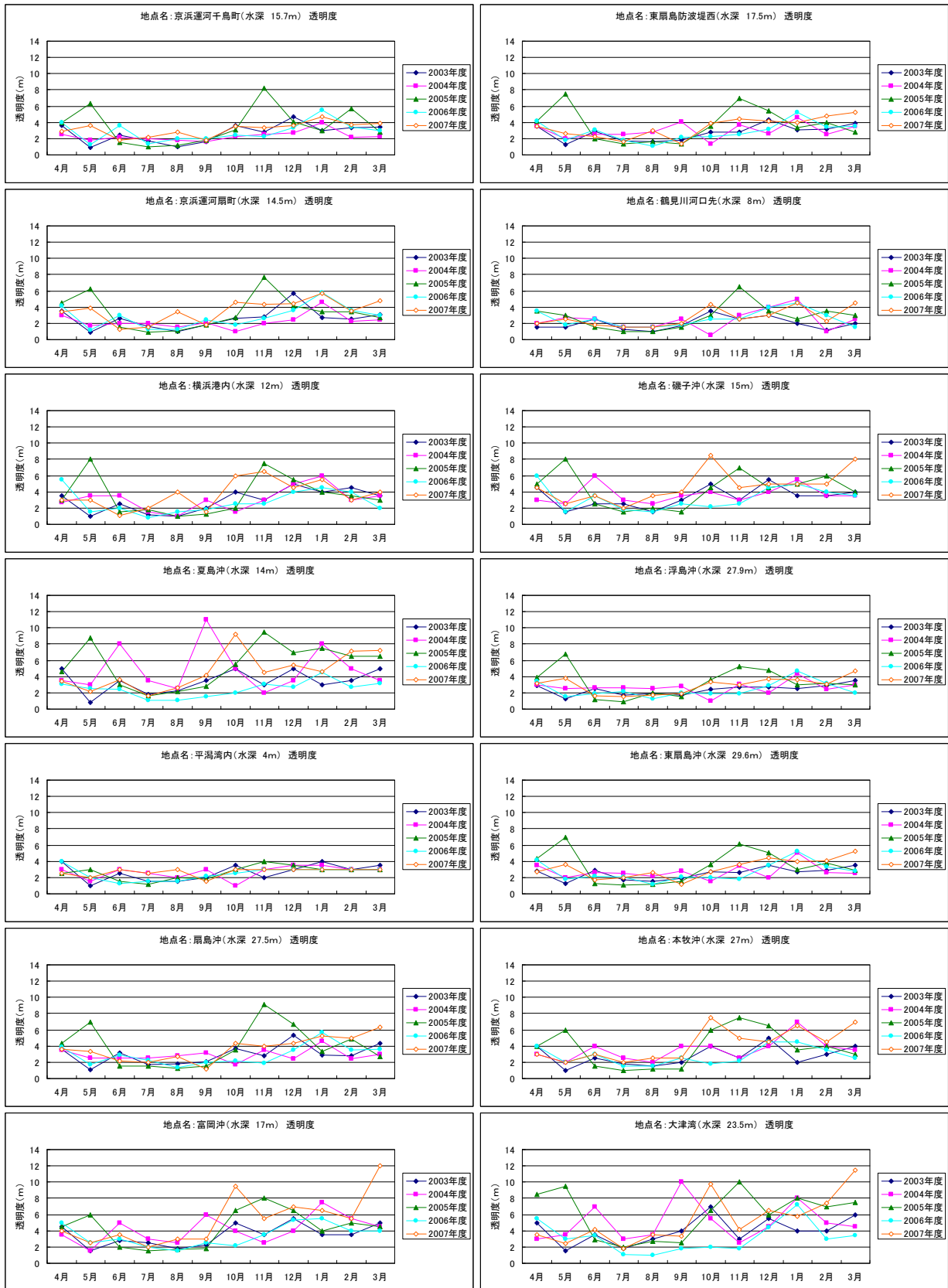
付図 1.5(1) 透明度の季節変化：公共用水域水質水質測定結果（千葉県）



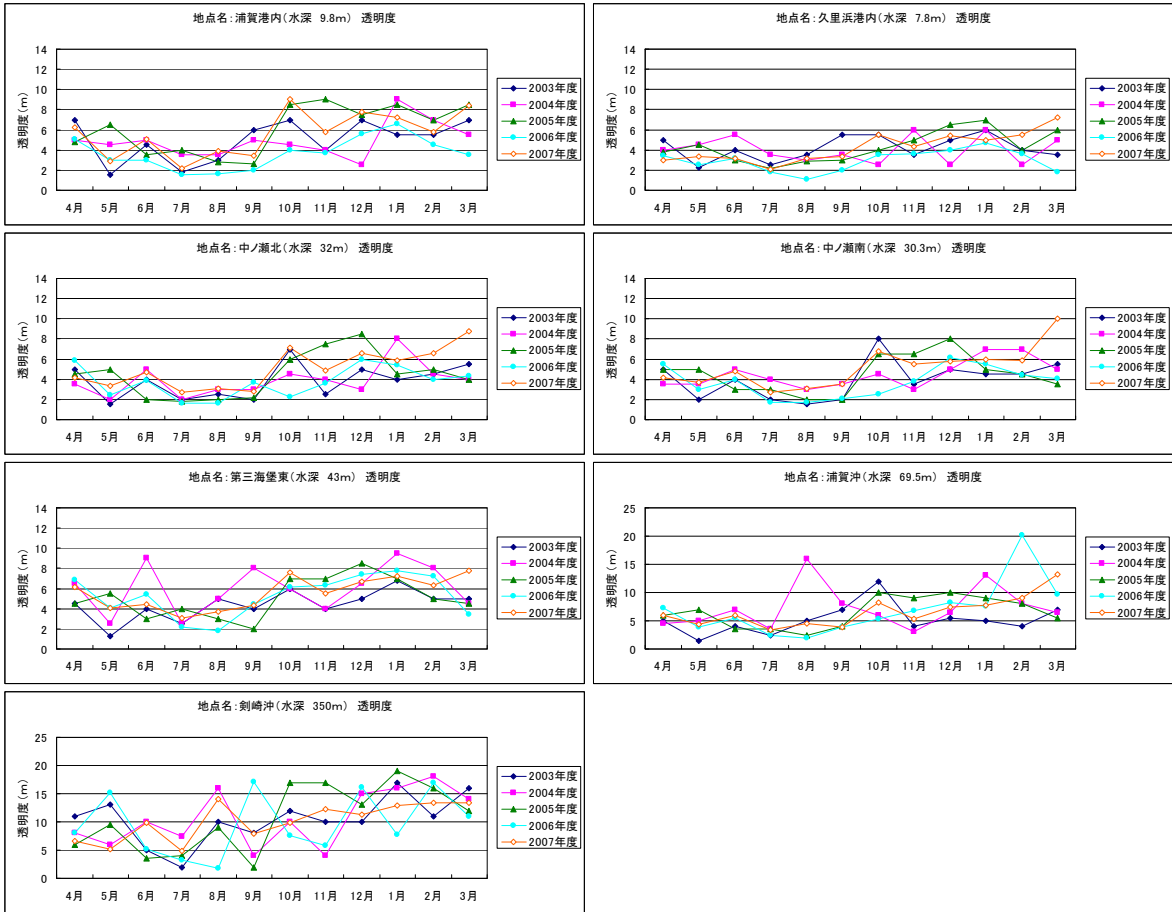
付図 1.5(2) 透明度の季節変化：公共用水域水質水質測定結果（千葉県）



付図 1.6 透明度の季節変化：公共用水域水質水質測定結果（東京都）



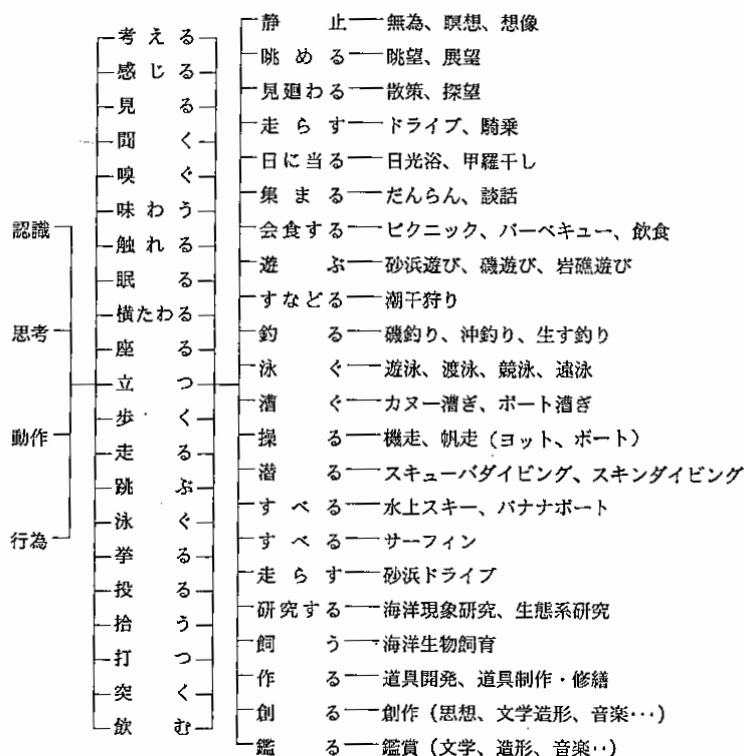
付図 1.7(1) 透明度の季節変化：公共用水域水質水質測定結果（神奈川県）



付図 1.7(2) 透明度の季節変化：公共用水域水質水質測定結果（神奈川県）

2. 海洋性レクリエーション活動について

海を利用した活動は、対象とする海の特性やその活動形態によって様々なものがあり、広範囲で多岐にわたっている。ここで海洋性レクリエーションについて、人間の基本的動作・行為とその結びつきを整理したものを付図 2.1 に示すとおりである。

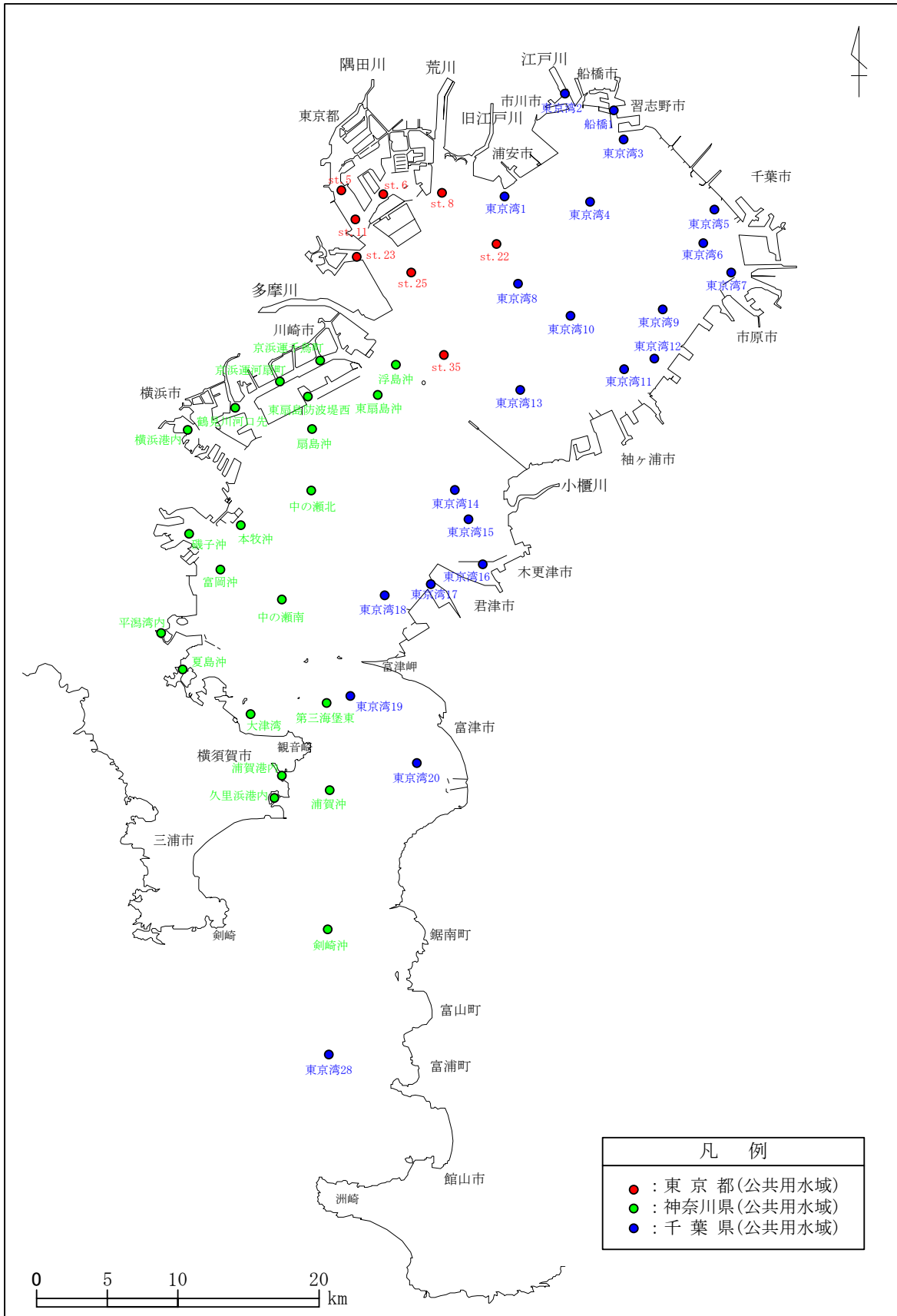


付図 2.1 人間の基本動作・行為と海洋性レクリエーション活動

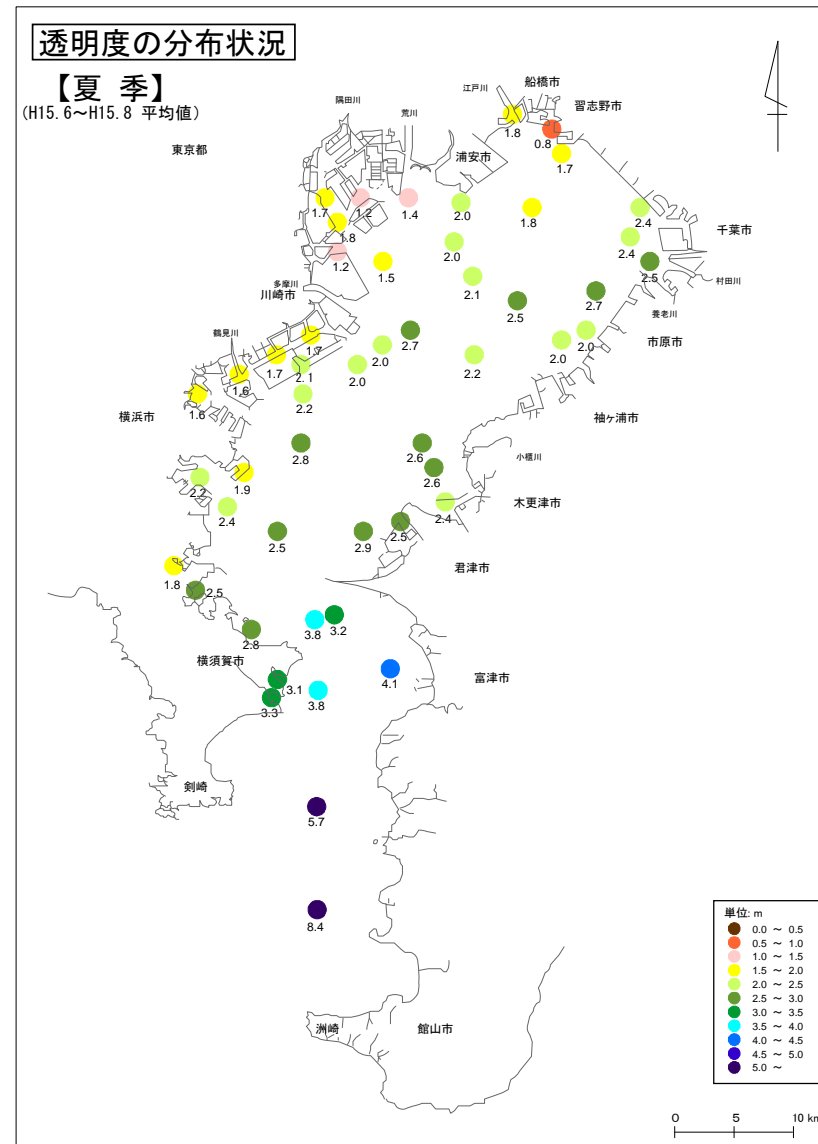
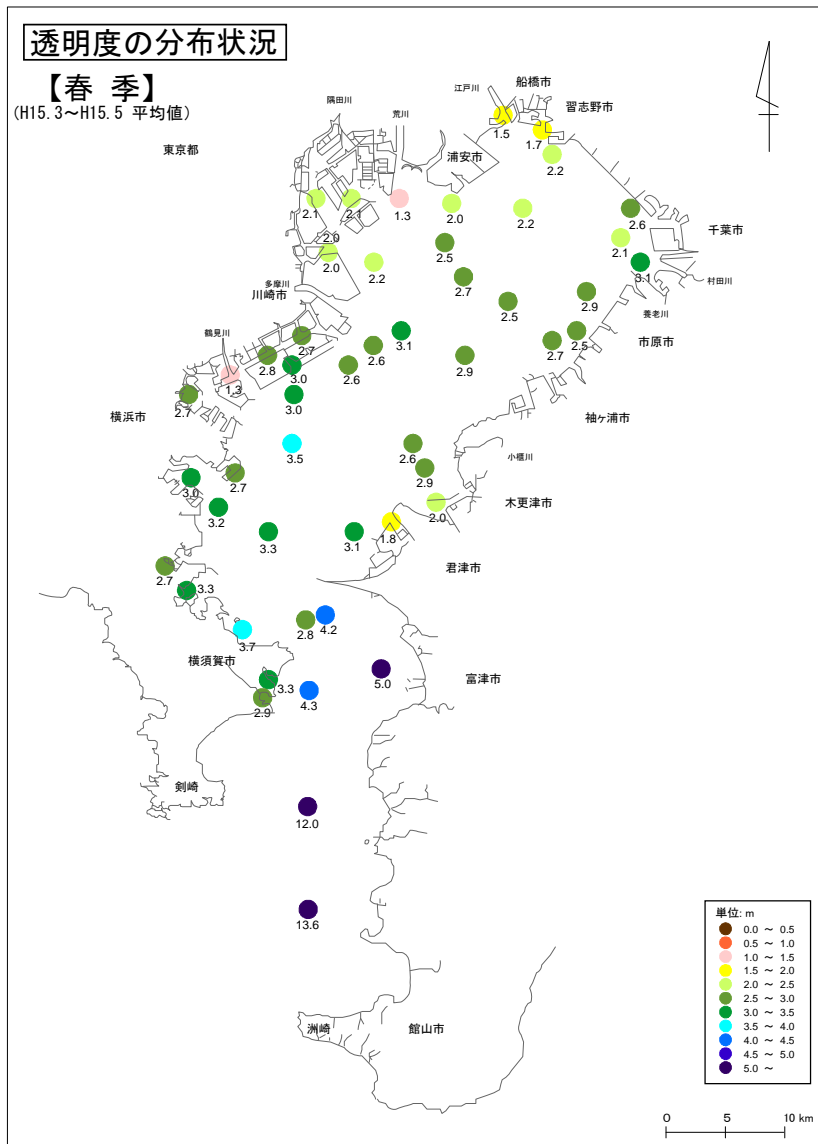
3. 東京湾における親水利用の場の周辺海域における透明度の把握

親水利用の場の周辺海域の透明度について、各都県の最近3カ年（平成15～17年度）の公共用水域及び地下水の水質測定結果を用いて整理した結果は付図3.2～付図3.4、付表3.1～付表3.3に示すとおりである（公共用水域及び地下水の水質測定調査地点：付図3.1参照）。なお、海水浴場の利用期間が限定的な場があることから、透明度は四季別に整理を行った。

平成17年季節別の透明度の水平分布に示すように、夏季を中心に富津～観音崎（図中の点線）を境に、湾口部は湾奥部と比較して透明度は高いことが伺える。これは、平成15年度、16年度も同様な結果である。

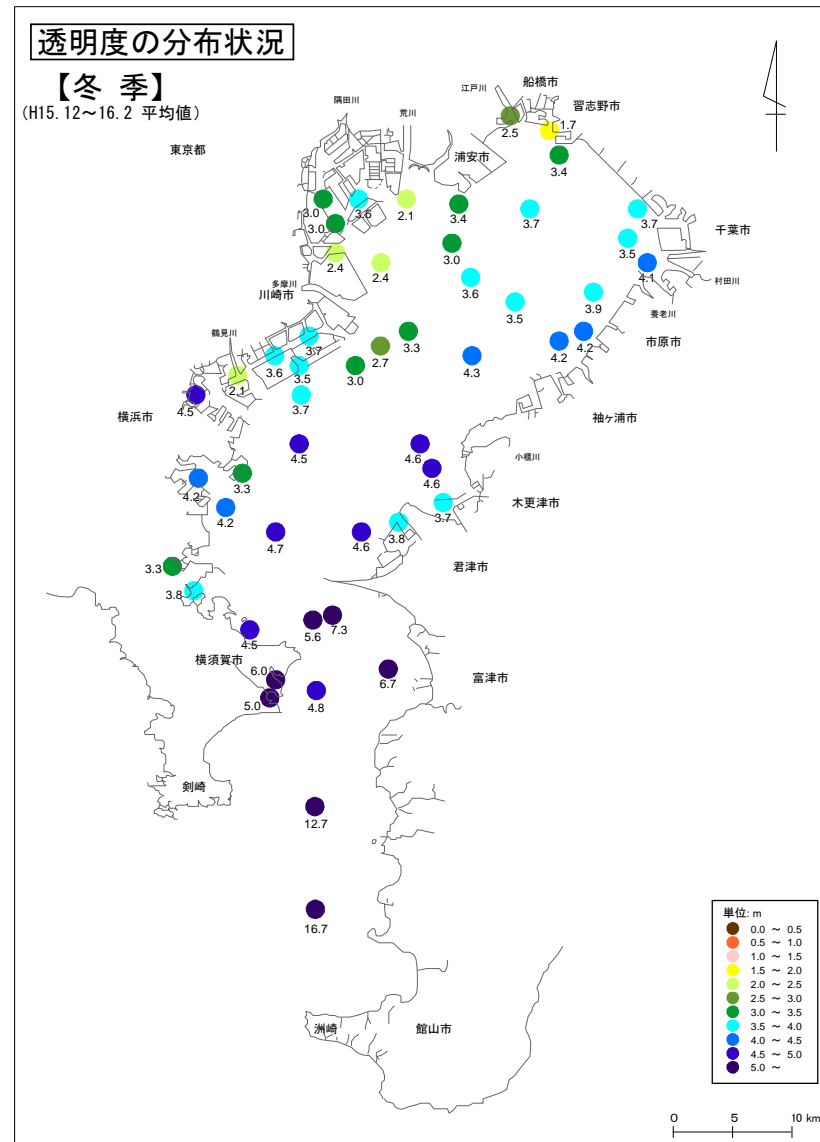
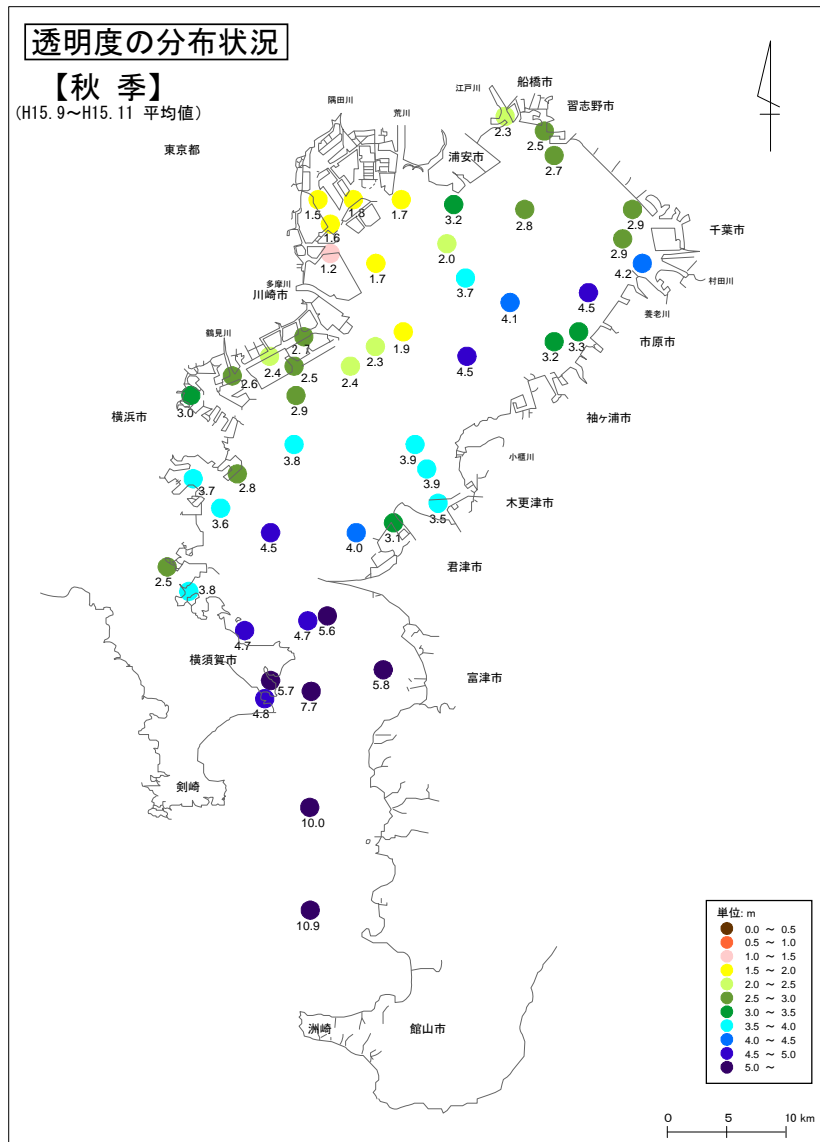


付図 3.1 公共用水域水質調査地点



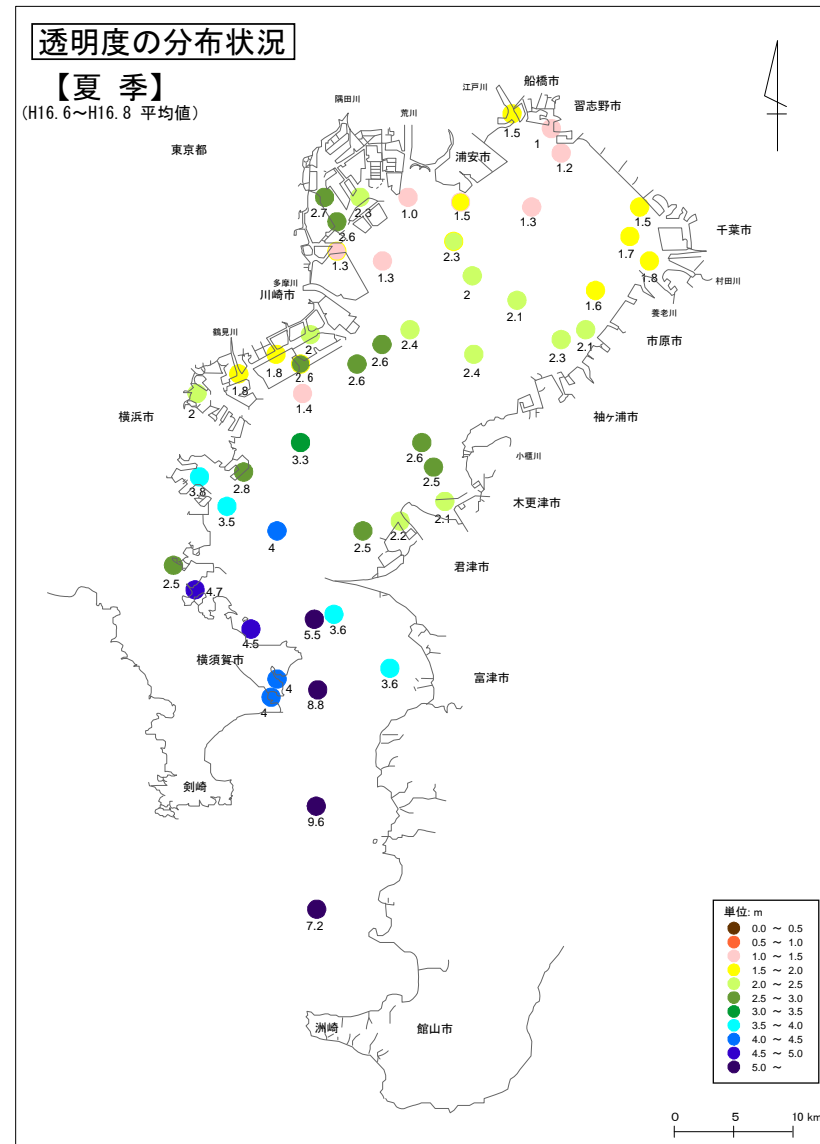
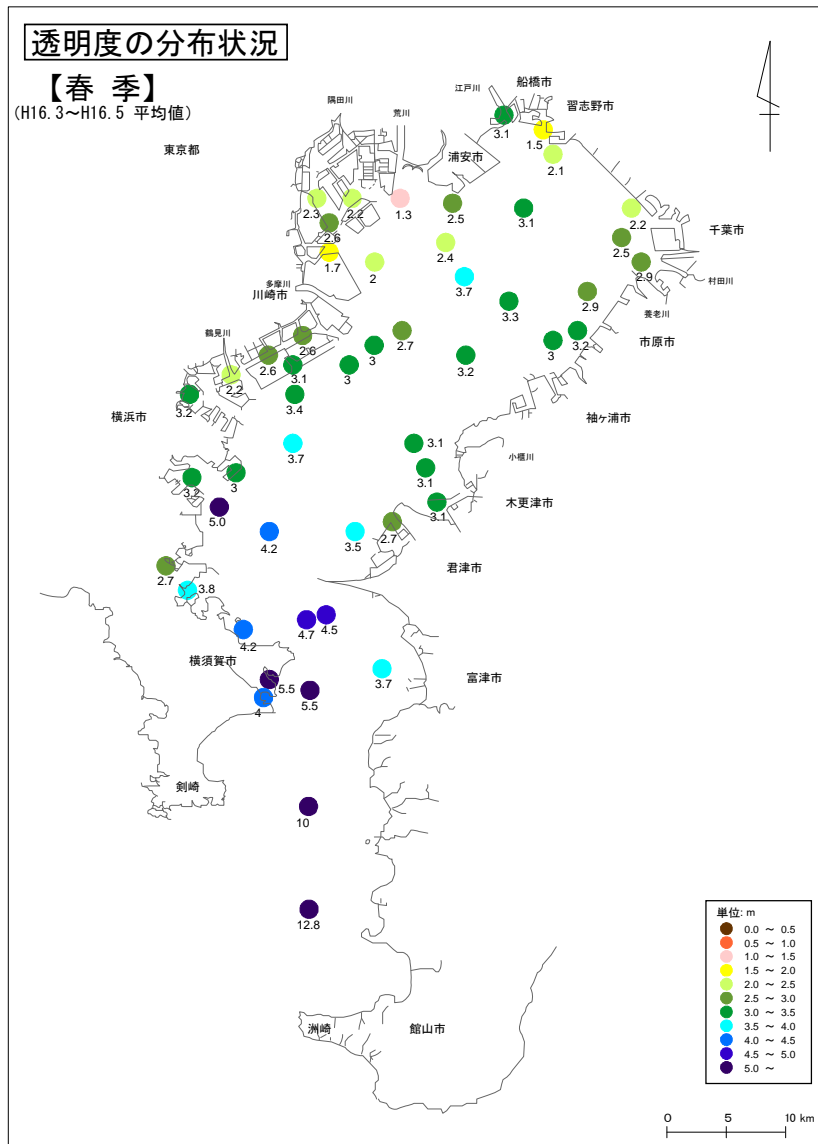
出典：国立環境研究所「環境数値データベース」検体値データファイル

付図 3.2(1) 透明度の水平分布（春季：平成15年3月～5月、夏季：平成15年6月～8月）



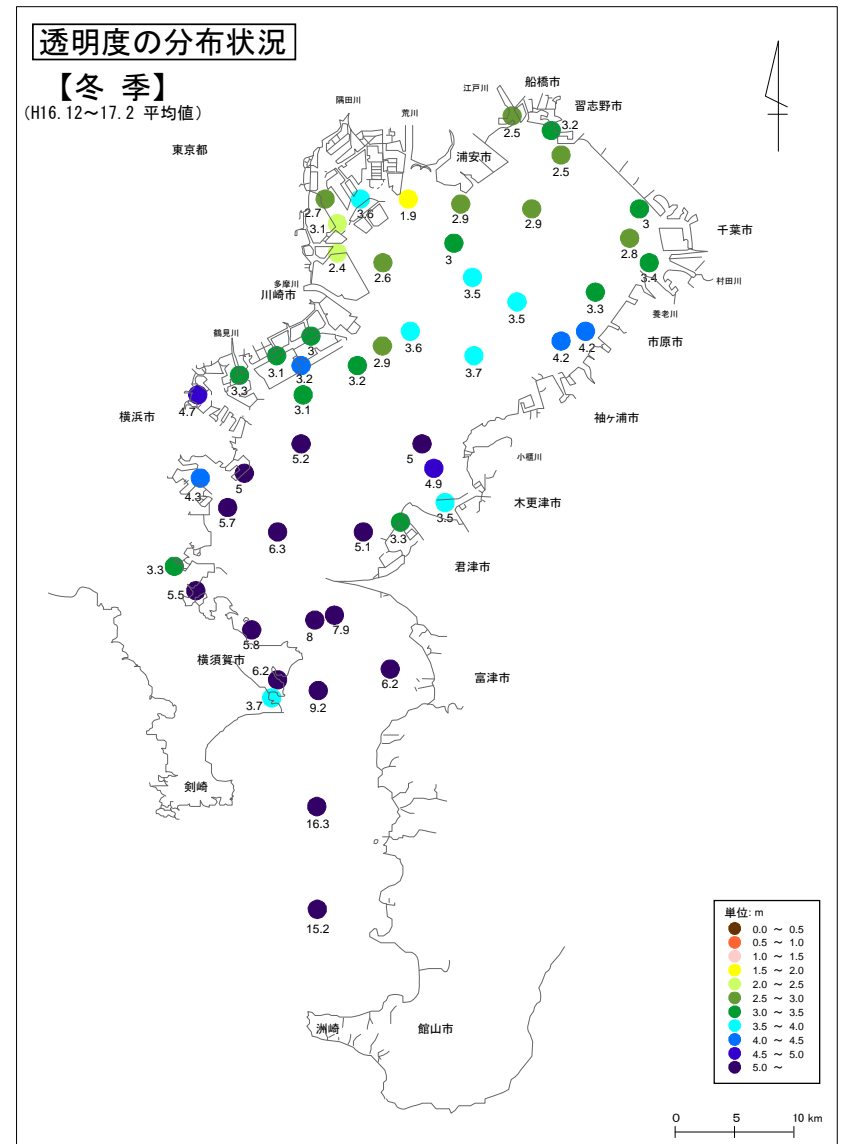
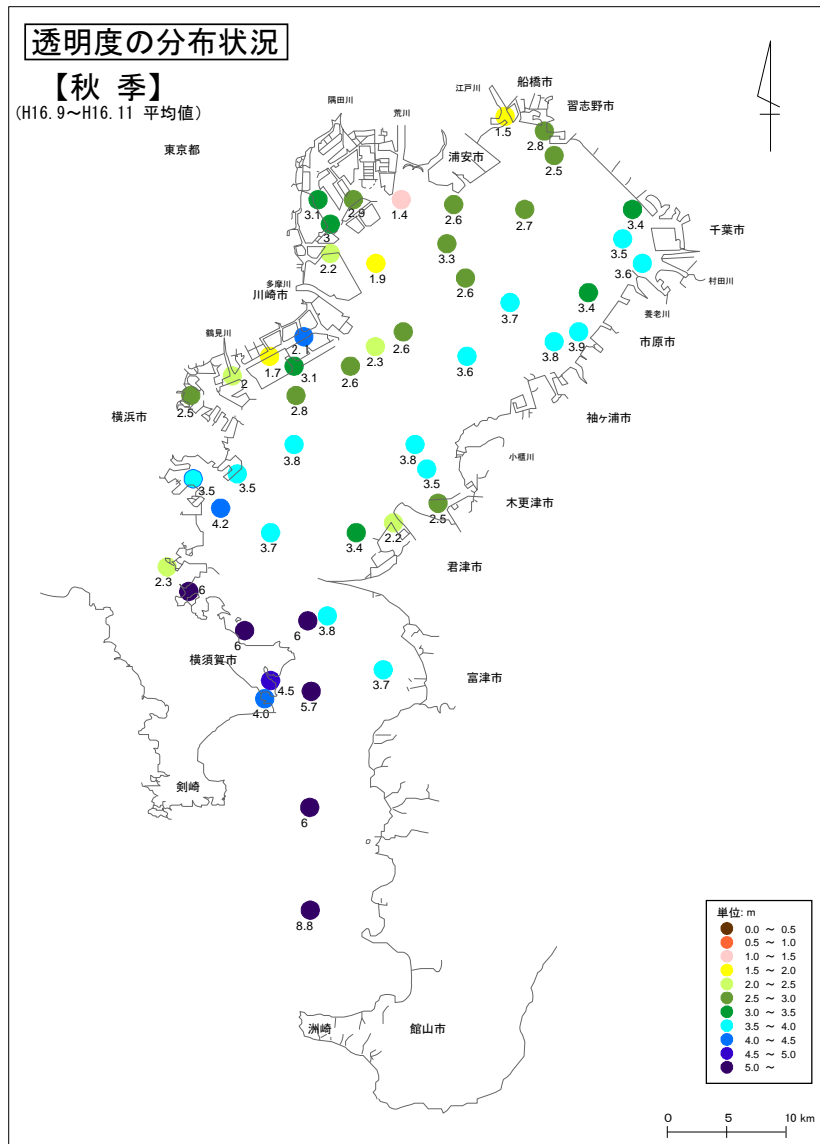
出典：国立環境研究所「環境数値データベース」検体値データファイル

付図 3.2(2) 透明度の水平分布（秋季：平成15年9月~11月、冬季：平成15年12月~平成16年2月）



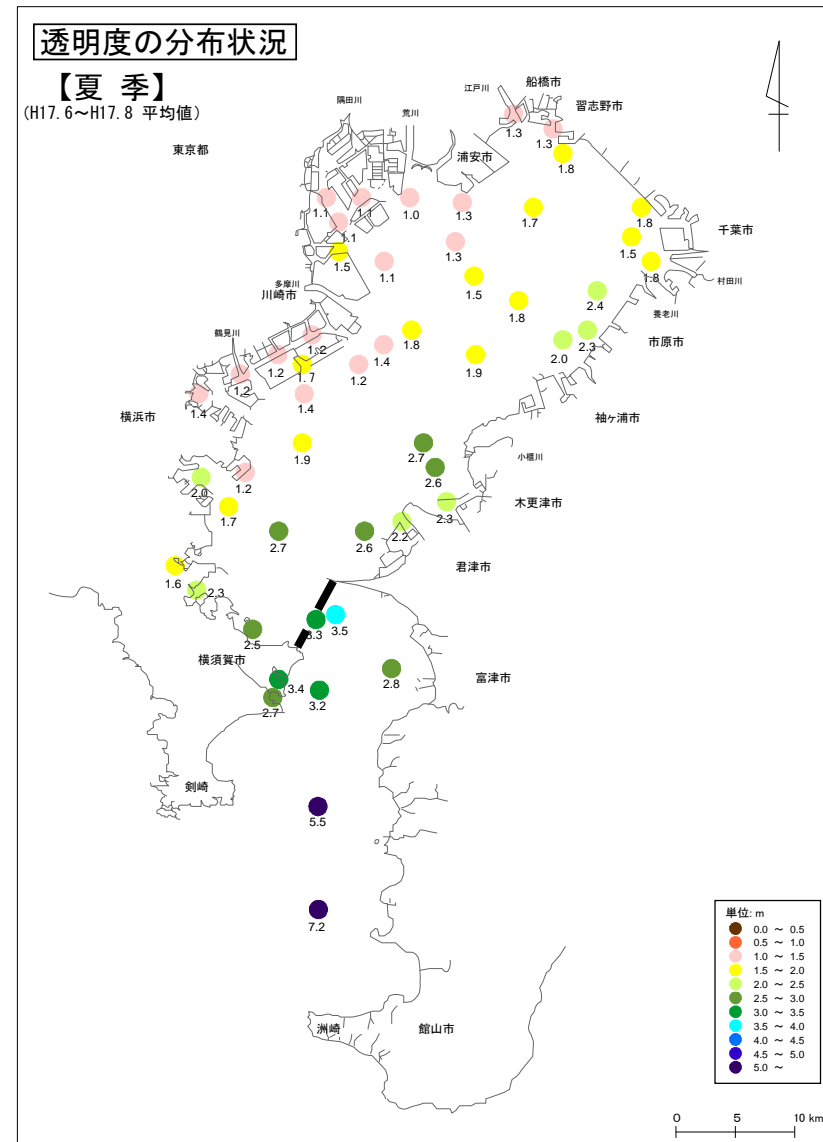
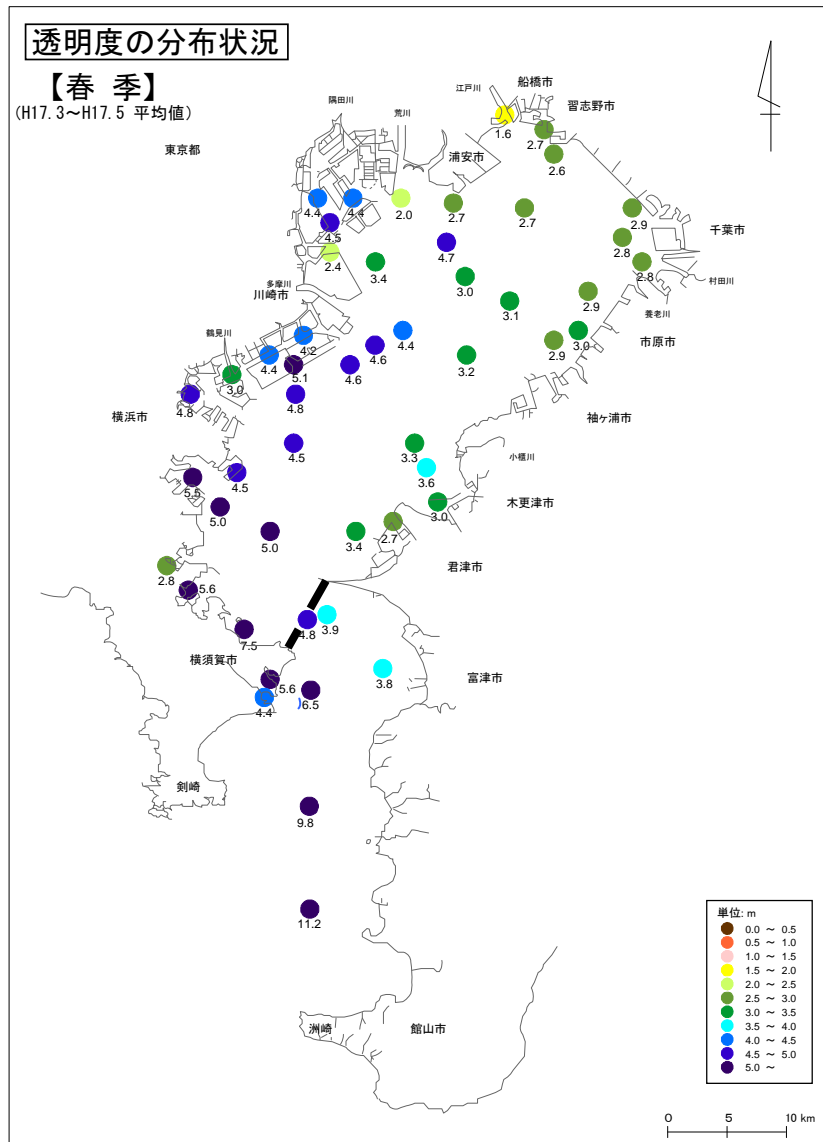
出典：国立環境研究所「環境数値データベース」検体値データファイル

付図 3.3(1) 透明度の水平分布（春季：平成16年3月～5月、夏季：平成16年6月～8月）



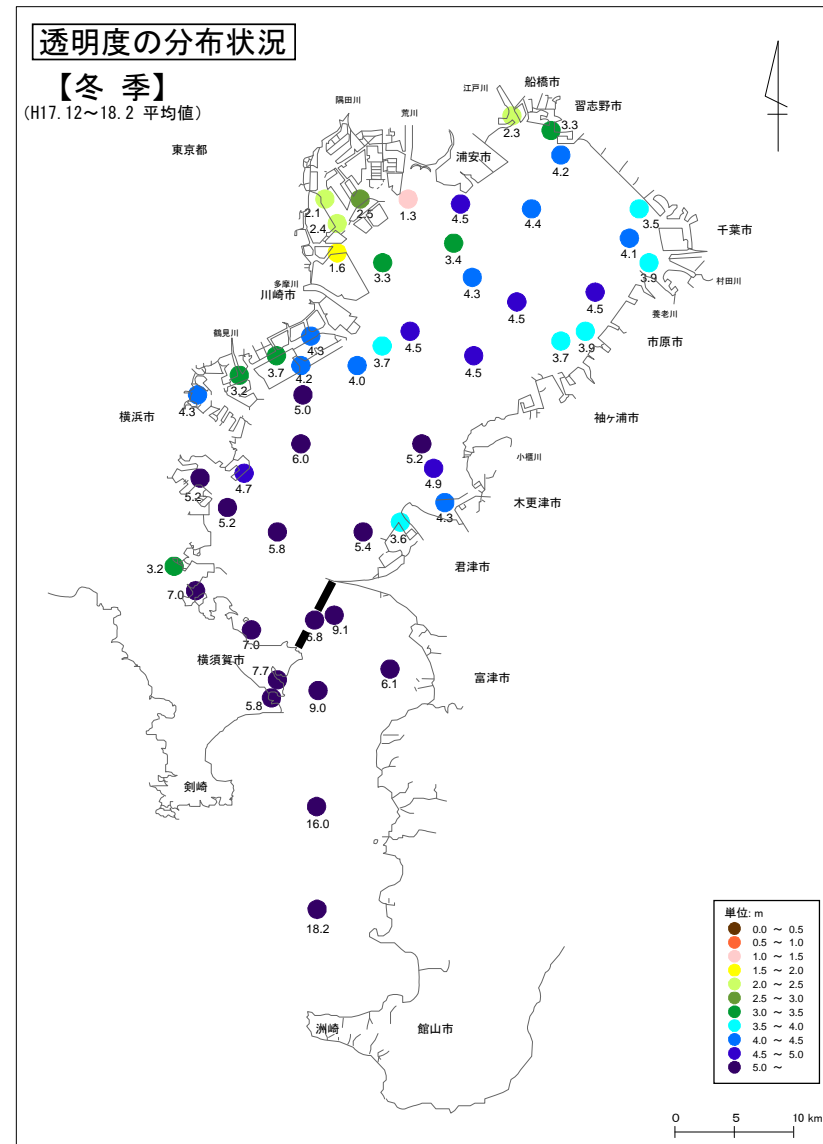
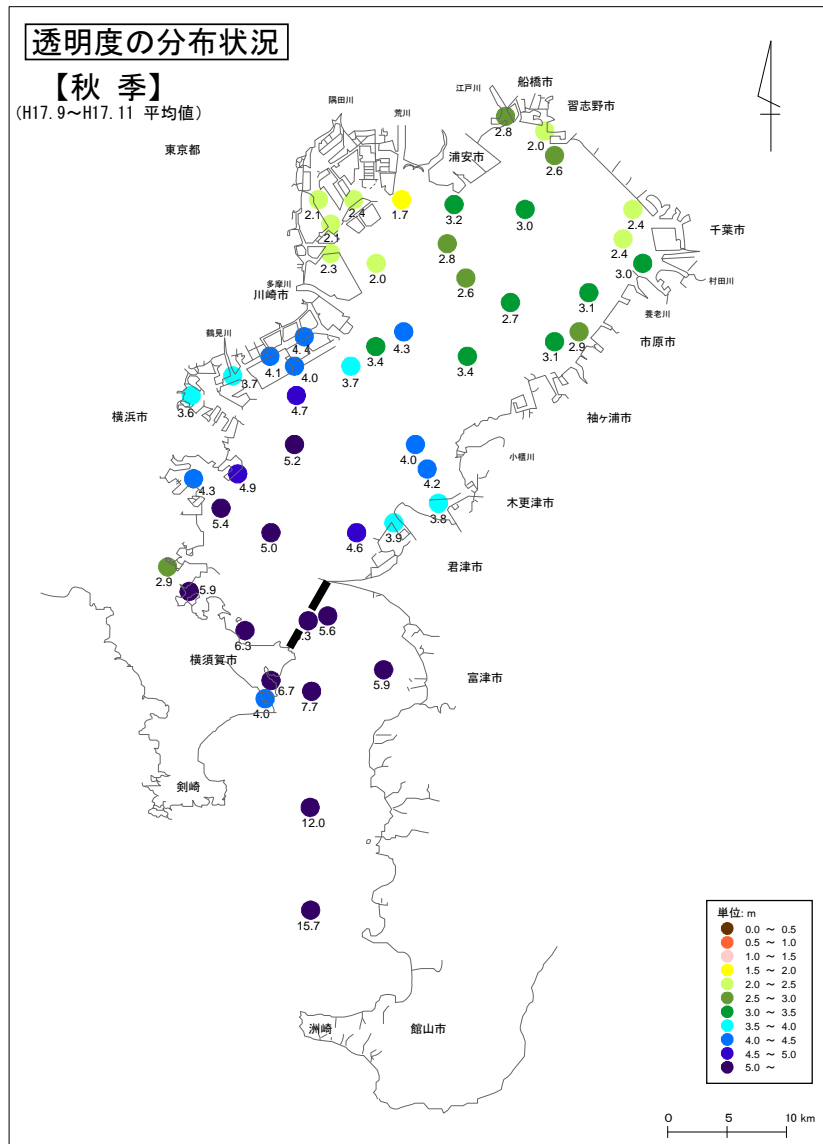
出典：国立環境研究所「環境数値データベース」検体値データファイル

付図 3.3(2) 透明度の水平分布 (秋季：平成16年9月~11月、冬季：平成16年12月~平成17年2月)



出典：国立環境研究所「環境数値データベース」検体値データファイル

付図 3.4(1) 透明度の水平分布（春季：平成17年3月～5月、夏季：平成17年6月～8月）



出典：国立環境研究所「環境数値データベース」検体値データファイル

付図 3.4(2) 透明度の水平分布（秋季：平成17年9月～11月、冬季：平成17年12月～平成18年2月）

付表 3.1(1) 透明度測定結果 (平成 15 年 3 月～平成 16 年 2 月 : 千葉県)

都道府県 コード	水域 コード	地点 コード	水域名称	地点名称	区分	春季:H15.2~H15.5			夏季:H15.6~H15.8			秋季:H15.9~H15.11			冬季:H15.12~H16.2		
						最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
12	601	1	千葉港(甲)	東京湾 5	全水深	7	7	7	7	8	7.3	7	7	7	7	8	7.3
					透明度	1	3.5	2.6	1.3	3.1	2.4	2.2	3.8	2.9	2.8	4.8	3.7
12	601	2	千葉港(甲)	東京湾 7	全水深	8	9	8.7	9	10	9.3	8	9	8.3	9	9	9
					透明度	1.3	4.2	3.1	1.8	2.8	2.5	2.8	5.9	4.2	3.5	4.8	4.1
12	601	3	千葉港(甲)	東京湾 12	全水深	17	17	17	16	18	17	17	17	17	17	18	17.7
					透明度	1.4	4.1	2.5	1.7	2.6	2	1.8	4.2	3.3	3.5	4.6	4.2
12	602	1	千葉港(乙)	東京湾 6	全水深	10	10	10	9	10	9.7	9	10	9.7	10	11	10.7
					透明度	1	3.5	2.1	1	3.2	2.4	1.7	4	2.9	2.8	4.9	3.5
12	602	2	千葉港(乙)	東京湾 9	全水深	15	15	15	15	15	15	14	15	14.7	15	16	15.3
					透明度	1.3	3.9	2.9	2.1	3.1	2.7	3.1	6.5	4.5	2.5	5.9	3.9
12	602	3	千葉港(乙)	東京湾 11	全水深	16	17	16.7	16	16	16	17	16.7	16	17	16.3	
					透明度	1.7	4.1	2.7	1.8	2.5	2	1.8	4	3.2	4	4.5	4.2
12	603	1	東京湾(1)	東京湾 17	全水深	12	14	13.3	13	14	13.3	12	14	13.3	12	15	13.3
					透明度	1.7	1.9	1.8	1.8	3	2.5	1.5	4.2	3.1	3.2	4.2	3.8
12	604	1	東京湾(2)	東京湾 16	全水深	14	15	14.3	14	14	14	14	14	14	14	15	14.7
					透明度	1.3	2.8	2	2.1	2.6	2.4	2.8	4.5	3.5	3.2	4	3.7
12	605	1	東京湾(3)	船橋 1	全水深	10	11	10.6	9.5	11	10.5	10	11	10.5	10.5	11	10.8
					透明度	0.7	2.5	1.7	0.5	1	0.8	1	3.5	2.5	1	2.5	1.7
12	606	1	東京湾(4)	東京湾 2	全水深	4	6	5.3	4	6	4.7	4	6	5.3	7	7	
					透明度	1.2	1.8	1.5	1.2	2.5	1.8	1.8	2.7	2.3	2.2	2.8	2.5
12	607	1	東京湾(9)	東京湾 1	全水深	7	8	7.3	7	8	7.3	7	8	7.3	7	8	
					透明度	1.3	2.8	2	1.8	2.3	2	2.3	4.7	3.2	2.2	5.2	3.4
12	607	2	東京湾(9)	東京湾 3	全水深	5	5	5	5	6	5.3	5	6	5.3	5	6	
					透明度	1	3	2.2	0.9	2.5	1.7	1.8	3.8	2.7	2.5	4.6	3.4
12	608	1	東京湾(11)	東京湾 4	全水深	10	11	10.3	10	11	10.7	10	11	10.3	10	11	
					透明度	1	3.1	2.2	0.9	2.8	1.8	2	4	2.8	3	4.9	3.7
12	608	2	東京湾(11)	東京湾 8	全水深	17	18	17.3	17	17	17	17	17	17	17	18	
					透明度	1.3	4.1	2.7	1.8	2.7	2.1	2.7	5.5	3.7	2.5	5.7	3.6
12	609	1	東京湾(12)	東京湾 10	全水深	18	20	19	18	20	19	19	19	19	20		
					透明度	1.2	3.4	2.5	2.1	2.9	2.5	2.5	6.2	4.1	2.5	5.2	3.5
12	609	2	東京湾(12)	東京湾 15	全水深	13	13	13	12	14	13	13	14	13.3	13	14	
					透明度	1.9	4.8	2.9	2	3.2	2.6	3	5	3.9	3.6	5.6	4.6
12	609	3	東京湾(12)	東京湾 18	全水深	14	14	14	14	15	14.3	13	15	14	14	14	
					透明度	2.1	4.3	3.1	2	3.8	2.9	3.2	4.9	4	4	5.3	4.6
12	610	1	東京湾(16)	東京湾 13	全水深	20	20	20	19	21	20	20	21	20.3	20	21	
					透明度	1.3	3.9	2.9	1.7	3	2.2	2.3	7.2	4.5	3.2	4.8	4.3
12	610	2	東京湾(16)	東京湾 14	全水深	18	19	18.7	18	19	18.7	19	19	19	20		
					透明度	1.7	3.5	2.6	1.8	3.5	2.6	2.7	5.1	3.9	3.9	5	4.6
12	611	1	東京湾(17)	東京湾 19	全水深	9	10	9.7	8	10	9	9	10	9.3	10	10	
					透明度	2.6	5.3	4.2	2.2	4.3	3.2	3.5	8	5.6	5.9	8	7.3
12	611	2	東京湾(17)	東京湾 20	全水深	9	10	9.3	9	10	9.3	9	10	9.3	10	10	
					透明度	3.3	6.5	5	2.2	6.2	4.1	4.7	7.9	5.8	4.6	7.8	6.7
12	611	58	東京湾(17)	東京湾 28	全水深	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500		
					透明度	10.8	18.5	13.6	6.8	10	8.4	10	12.5	10.9	14.8	20	16.7

付表 3.1(2) 透明度測定結果 (平成 15 年 3 月～平成 16 年 2 月 : 東京都)

都道府県 コード	水域 コード	地点 コード	水域名称	地点名称	区分	春季:H15.3~H15.5			夏季:H15.6~H15.8			秋季:H15.9~H15.11			冬季:H15.12~H16.2		
						最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
13	601	1	東京湾(5)	St-5	全水深	10.8	11.5	11.2	10.8	11.5	11.1	11	16.1	12.9	10.7	16.8	12.8
					透明度	1.1	3.3	2.1	1	2.8	1.7	1.1	1.8	1.5	2.7	3.2	3
13	601	2	東京湾(5)	St-6	全水深	11.5	12.3	11.9	11.8	12.3	12.1	11.6	12.5	12	11.6	12.4	12
					透明度	0.9	3.4	2.1	1	1.3	1.2	1.3	2.6	1.8	2.9	4.7	3.6
13	601	3	東京湾(5)	St-11	全水深	15.8	16.8	16.4	16.4	16.6	16.5	15.7	16.6	16.1	16.6	16.8	16.7
					透明度	1	3	2	1	3	1.8	1.4	1.8	1.6	2.7	3.2	3
13	601	4	東京湾(5)	St-23	全水深	6	6	6	6.3	6.5	6.4	5.9	6.7	6.3	5.9	6.2	6
					透明度	1.5	3	2	0.9	1.8	1.2	0.8	1.7	1.2	1.8	2.9	2.4
13	602	1	東京湾(9)	St-8	全水深	5.2	6	5.7	5.8	6.1	6	5.6	6.4	6	5.4	6	
					透明度	1.2	1.5	1.3	1.1	1.7	1.4	1.5	2	1.7	1.8	2.6	2.1
13	603	1	東京湾(11)	St-22	全水深	12.9	14.5	13.9	13.9	14.4	14.2	13.7	14.5	14.2	14.6	14.7	14.6
					透明度	1	3.5	2.5	0.8	3.4	2	1.5	3	2	2.3	3.7	3
13	603	2	東京湾(11)	St-25	全水深	15	16.8	15.8	16.2	16.7	16.5	16.4	16.5	16.4	15.7	16.6	16.2
					透明度	1	3	2.2	1	2.1	1.5	1.2	2.2	1.7	2	2.8	2.4
13	604	1	東京湾(12)	St-35	全水深	24.5	26.2	25.4	25.5	26	25.7	25.4	25.8	25.6	24.3	26.7	25.7
					透明度	1	5.3	3.1	2.2	3.5	2.7	1.5	2.5	1.9	3	3.9	3.3

付表 3.1(3) 透明度測定結果（平成 15 年 3 月～平成 16 年 2 月：神奈川県）

都道府県 コード	水域 コード	地点 コード	水域名称	地点名称	区分	春季:H15.3~H15.5			夏季:H15.6~H15.8			秋季:H15.9~H15.11			冬季:H15.12~H16.2		
						最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
14	601	1	東京湾(6)	京浜運河千鳥町	全水深	14.4	15.2	14.8	14.5	15.7	14.9	14.3	16	15.1	15.3	15.9	15.7
						透明度	0.9	3.6	2.7	1	2.4	1.7	1.6	3.6	2.7	3	4.7
14	601	2	東京湾(6)	東扇島防波堤西	全水深	13.6	18.1	16.5	16.7	17.7	17.2	16.8	18.3	17.6	17.1	17.9	17.5
						透明度	1.3	4.3	3	1.6	2.9	2.1	1.8	2.8	2.5	3.1	4.3
14	601	3	東京湾(6)	京浜運河扇町	全水深	13.2	13.6	13.4	13	13.9	13.3	13.7	15	14.4	13.9	14	13.9
						透明度	0.9	3.9	2.8	1	2.6	1.7	1.8	2.8	2.4	2.5	5.7
14	601	4	東京湾(6)	鶴見川河口先	全水深	7	8	7.3	6	8	7	7	8	7.3	6.2	8	7.1
						透明度	1	1.5	1.3	1	2.5	1.6	1.7	3.5	2.6	1.2	3
14	601	5	東京湾(6)	横浜港内	全水深	11	11	11	10.5	11	10.8	11	11	11	11	11.5	11.2
						透明度	1	3.5	2.7	1	2.5	1.6	2	4	3	4	5
14	602	1	東京湾(7)	磯子沖	全水深	14	15	14.7	15	15	15	14	15	14.7	15	15	15
						透明度	1.5	4.5	3	1.5	2.5	2.2	3	5	3.7	3.5	5.5
14	603	1	東京湾(8)	夏島沖	全水深	15	15	15	13.5	14	13.8	14	15	14.7	14.5	16	15.2
						透明度	0.8	5	3.3	1.8	3.5	2.5	3	5	3.8	3	5
14	604	1	東京湾(9)	浮島沖	全水深	25.7	26.4	26	25.3	26	25.7	25.8	26.3	26.1	25.7	26.5	26.1
						透明度	1.3	3.6	2.6	1.7	2.5	2	1.7	2.7	2.3	2.5	2.9
14	605	1	東京湾(10)	平潟湾内	全水深	3	4	3.3	3	4	3.3	3	4	3.5	3	4	3.3
						透明度	1	4	2.7	1.5	2.5	1.8	2	3.5	2.5	3	4
14	606	1	東京湾(12)	東扇島沖	全水深	28.9	29	29	28.6	29.5	29.1	28.8	29.9	29.4	29.1	29.8	29.5
						透明度	1.3	3.6	2.6	1.5	2.9	2	1.9	2.7	2.4	2.7	3.5
14	606	2	東京湾(12)	扇島沖	全水深	26.6	27	26.9	27.2	27.7	27.5	26.7	27.7	27.3	27.5	28	27.7
						透明度	1.1	4.3	3	1.7	3.2	2.2	2.1	3.7	2.9	2.8	5.3
14	606	3	東京湾(12)	本牧沖	全水深	27	27	27	27	27	27	27	28	27.3	27	28	27.3
						透明度	1	4	2.7	1.5	2.5	1.9	2	4	2.8	2	5
14	606	4	東京湾(12)	富岡沖	全水深	14	18	15.7	15	16	15.3	15	15	15	15	15	15
						透明度	1.5	4.5	3.2	1.8	2.8	2.4	2.3	5	3.6	3.5	5.5
14	607	1	東京湾(13)	大津湾	全水深	29	32	30.3	30	31	30.7	31	31	31	31	31	31
						透明度	1.5	5	3.7	1.8	3.5	2.8	3	7	4.7	4	5.5
14	608	1	東京湾(14)	浦賀港内	全水深	10	10	10	9.5	9.7	9.6	9	10	9.5	10	10.5	10.3
						透明度	1.5	7	3.3	1.8	4.5	3.1	4	7	5.7	5.5	7
14	609	1	東京湾(15)	久里浜港内	全水深	8.5	9	8.8	8	8.5	8.3	8	9	8.5	8.5	9	8.7
						透明度	1.5	5	2.9	2.5	4	3.3	3.5	5.5	4.8	4	6
14	610	1	東京湾(16)	中の瀬北	全水深	31	33	31.7	31	31	31	31	32	31.3	31	32	31.3
						透明度	1.5	5	3.5	2	4	2.8	2	7	3.8	4	5
14	610	2	東京湾(16)	中の瀬南	全水深	30	31	30.3	31	32	31.3	31	31	31	30	31	30.3
						透明度	2	5	3.3	1.5	4	2.5	2	8	4.5	4.5	5
14	611	1	東京湾(17)	第三海堡東	全水深	45	45	45	44	44	44	45	45	45	45	45	45
						透明度	1.3	4.5	2.8	2.5	5	3.8	4	6	4.7	5	6.8
14	611	2	東京湾(17)	浦賀沖	全水深	74	74	74	74	74	74	74	75	74	74	75	74.7
						透明度	1.5	6.5	4.3	2.5	5	3.8	4	12	7.7	4	5.5
14	611	51	東京湾(17)	剱崎沖	全水深	320	340	330	320	330	323.3	320	340	330	325	330	326.7
						透明度	11	13	12	2	10	5.7	8	12	10	10	17

付表 3.2(1) 透明度測定結果 (平成 16 年 3 月～平成 17 年 2 月 : 千葉県)

都道府県 コード	水域 コード	地点 コード	水域名称	地点名称	区分	春季:H16.3~H16.5			夏季:H16.6~H16.8			秋季:H16.9~H16.11			冬季:H16.12~H17.2		
						最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
12	601	1	千葉港(甲)	東京湾 5	全水深	7	8	7.7	6	7	6.7	7	8	7.3	8	8	8
					透明度	1.7	3	2.2	1.1	1.8	1.5	1.7	5.2	3.4	1.8	3.8	3
12	601	2	千葉港(甲)	東京湾 7	全水深	9	10	9.7	9	9	9	8	8	9	10	9.3	
					透明度	2	3.8	2.9	1.3	2.3	1.8	2.2	5.6	3.6	1.7	4.5	3.4
12	601	3	千葉港(甲)	東京湾 12	全水深	17	18	17.3	17	18	17.3	16	17	16.7	18	18	18
					透明度	2.7	3.9	3.2	1.8	2.5	2.1	2.7	5.9	3.9	2.9	4.9	4.2
12	602	1	千葉港(乙)	東京湾 6	全水深	9	11	10.3	9	10	9.3	9	10	9.3	10	11	10.7
					透明度	1.8	3.5	2.5	1.5	2.1	1.7	1.8	5.5	3.5	1.6	4.1	2.8
12	602	2	千葉港(乙)	東京湾 9	全水深	15	16	15.3	15	16	15.3	14	15	14.3	15	16	15.7
					透明度	2.5	3.5	2.9	1.3	1.9	1.6	2.4	5.5	3.4	1.7	4.7	3.3
12	602	3	千葉港(乙)	東京湾 11	全水深	17	17	17	15	17	15.7	16	16	16	17	16.7	
					透明度	2.1	4.2	3	1.7	2.9	2.3	2.7	5.5	3.8	2.8	5.6	4.2
12	603	1	東京湾(1)	東京湾 17	全水深	13	14	13.3	13	14	13.7	13	13	13	14	15	14.7
					透明度	1.9	3.8	2.7	2.1	2.3	2.2	0.8	3.4	2.2	3.1	3.4	3.3
12	604	1	東京湾(2)	東京湾 16	全水深	14	15	14.3	14	14	14	14	14	14	15	15	15
					透明度	2.5	4	3.1	2	2.4	2.1	1.9	3.5	2.5	2.9	4.1	3.5
12	605	1	東京湾(3)	船橋 1	全水深	10	12	11	10.5	11	10.7	10.5	11	10.8	10.5	11	10.7
					透明度	1	2	1.5	1	1	1	2.5	3.5	2.8	2.5	3.5	3.2
12	606	1	東京湾(4)	東京湾 2	全水深	5	7	6	6	7	6.3	5	6	5.7	7	7	
					透明度	2	3.7	3.1	1	1.8	1.5	0.6	2.3	1.5	1.5	3.5	2.5
12	607	1	東京湾(9)	東京湾 1	全水深	7	8	7.3	7	8	7.3	7	9	7.7	8	9	8.3
					透明度	1.5	3.2	2.5	1.2	1.8	1.5	1.4	4.8	2.6	2.2	4.2	2.9
12	607	2	東京湾(9)	東京湾 3	全水深	5	6	5.7	5	6	5.3	5	6	5.3	6	6	
					透明度	1.8	2.8	2.1	0.9	1.7	1.2	1.2	3.9	2.5	1.6	3.4	2.5
12	608	1	東京湾(11)	東京湾 4	全水深	10	11	10.7	10	11	10.3	10	11	10.3	11	12	11.3
					透明度	2.5	3.8	3.1	1.1	1.7	1.3	1.1	5.2	2.7	2.2	3.8	2.9
12	608	2	東京湾(11)	東京湾 8	全水深	16	18	17	17	18	17.3	17	17	17	18	18	
					透明度	2.6	4.7	3.7	1	2.6	2	1.2	5.5	3.3	1.8	6.2	3.5
12	609	1	東京湾(12)	東京湾 10	全水深	19	20	19.7	18	19	18.3	17	18	17.3	19	19	
					透明度	2.4	4.6	3.3	1.9	2.3	2.1	2.1	6.7	3.7	1.6	6.5	3.5
12	609	2	東京湾(12)	東京湾 15	全水深	12	14	13.3	12	14	13	12	13	12.7	14	14	
					透明度	2.6	3.9	3.1	2.2	3	2.5	2.2	4.8	3.5	3.8	6	4.9
12	609	3	東京湾(12)	東京湾 18	全水深	14	14	14	12	14	13	10	14	12.3	13	14	13.3
					透明度	2.6	4.8	3.5	2	3.2	2.5	2.8	4.5	3.4	4.6	5.5	5.1
12	610	1	東京湾(16)	東京湾 13	全水深	20	21	20.7	19	21	19.7	19	20	19.7	20	21	20.7
					透明度	2.9	3.9	3.2	1.8	2.8	2.4	2.9	4.9	3.6	3	5.2	3.7
12	610	2	東京湾(16)	東京湾 14	全水深	19	20	19.7	19	20	19.3	20	20	20	20	21	20.7
					透明度	2.5	4.1	3.1	2.3	2.8	2.6	2.9	5	3.8	4	6	5
12	611	1	東京湾(17)	東京湾 19	全水深	9	12	10.3	10	10	10	10	11	10.3	10	11	10.7
					透明度	2.8	6.8	4.5	2.7	5.2	3.6	3.3	4.5	3.8	4.6	9.7	7.9
12	611	2	東京湾(17)	東京湾 20	全水深	9	10	9.7	10	10	10	10	10	10	11	10.7	
					透明度	3	4.8	3.7	2.8	4.2	3.6	2.8	4.4	3.7	5.6	6.5	6.2
12	611	58	東京湾(17)	東京湾 28	全水深	500	500	500	500	500	500	233	500	411	500	500	500
					透明度	7.8	20	12.8	6.2	11.5	9.6	5.5	12	8.8	10.5	19.5	15.2

付表 3.2(2) 透明度測定結果 (平成 16 年 3 月～平成 17 年 2 月 : 東京都)

都道府県 コード	水域 コード	地点 コード	水域名称	地点名称	区分	春季:H16.3~H16.5			夏季:H16.6~H16.8			秋季:H16.9~H16.11			冬季:H16.12~H17.2		
						最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
13	601	1	東京湾(5)	St-5	全水深	16	16.7	16.3	11	15.4	12.6	11.1	15.8	12.7	16.8	17.4	17.1
					透明度	1.9	2.5	2.3	1.2	5.4	2.7	2.4	4	3.1	2.4	3.2	2.7
13	601	2	東京湾(5)	St-6	全水深	11.2	12.3	11.8	10.8	11.2	10.9	11.4	12	11.8	12	12.4	12.2
					透明度	1.4	2.8	2.2	1.1	4.5	2.3	1.7	4	2.9	2.5	4.5	3.6
13	601	3	東京湾(5)	St-11	全水深	15.6	16.5	16	15.1	15.8	15.5	16	16.2	16.1	16.6	16.9	16.8
					透明度	2.3	2.9	2.6	1.3	5	2.6	2.5	3.6	3	2.8	3.3	3.1
13	601	4	東京湾(5)	St-23	全水深	5.6	6.6	6	5.1	5.6	5.4	5.8	6.7	6.2	6.3	6.8	6.6
					透明度	1.4	2.2	1.7	1.1	1.6	1.3	1.8	2.6	2.2	2.1	2.5	2.4
13	602	1	東京湾(9)	St-8	全水深	5.1	5.9	5.4	4.8	5.6	5.1	5.7	6.4	6.1	5.8	6.1	6
					透明度	1.2	1.4	1.3	0.9	1.2	1	1.1	1.5	1.4	1.1	2.6	1.9
13	603	1	東京湾(11)	St-22	全水深	13.7	14.2	13.9	13	14.2	13.4	14.1	14.6	14.3	14.3	14.3	14.3
					透明度	2.3	2.4	2.4	1.6	3.5	2.3	1.6	4.4	2.7	2.2	3.5	3
13	603	2	東京湾(11)	St-25	全水深	15.6	16.4	15.9	14.9	15.6	15.2	16	16.6	16.4	16.4	17	16.6
					透明度	1.1	3	2	0.9	1.9	1.3	1.7	2	1.9	2.2	2.8	2.6
13	604	1	東京湾(12)	St-35	全水深	24.8	25.2	25	24.2	24.5	24.3	25.3	25.8	25.5	25.6	26.2	25.8
					透明度	2	3.5	2.7	1.5	3.4	2.4	1.6	4	2.6	2.5	4.7	3.6

付表 3.2(3) 透明度測定結果（平成 16 年 3 月～平成 17 年 2 月：神奈川県）

都道府県 コード	水域 コード	地点 コード	水域名称	地点名称	区分	春季:H16.3~H16.5			夏季:H16.6~H16.8			秋季:H16.9~H16.11			冬季:H16.12~H17.2		
						最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
14	601	1	東京湾(6)	京浜運河千鳥町	全水深	13	15.2	13.9	13.5	13.6	13.5	13.5	14.5	14	14	14.6	14.4
						透明度	1.8	3.4	2.6	1.8	2.2	2	1.6	2.5	2.1	2.2	4
14	601	2	東京湾(6)	東扇島防波堤西	全水深	17.5	20	19	18	19	18.5	18	20	19	19.1	20	19.5
						透明度	2	3.9	3.1	2.5	2.8	2.6	1.4	4.1	3.1	2.5	4.6
14	601	3	東京湾(6)	京浜運河扇町	全水深	13.5	14.1	13.9	13	15	14	13.5	14.5	14	14	15	14.4
						透明度	1.7	3.1	2.6	1.5	2	1.8	1	2.1	1.7	2.3	4.6
14	601	4	東京湾(6)	鶴見川河口先	全水深	7	8	7.3	6	7	6.7	7	8	7.5	6	8	7.3
						透明度	2	2.7	2.2	1.5	2.5	1.8	0.5	3	2	1	5
14	601	5	東京湾(6)	横浜港内	全水深	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	11.7
						透明度	2.7	3.5	3.2	1	3.5	2	1.5	3	2.5	3	6
14	602	1	東京湾(7)	磯子沖	全水深	15	15	15	15	15	15	14	15	14.7	14	15	14.7
						透明度	2.5	4	3.2	2.5	6	3.8	3	4	3.5	3.5	5.5
14	603	1	東京湾(8)	夏島沖	全水深	15	15	15	14	15	14.7	15	16	15.3	15	16	15.3
						透明度	3	5	3.8	2.5	8	4.7	2	11	6	3.5	8
14	604	1	東京湾(9)	浮島沖	全水深	23.5	26.2	24.7	24	25	24.4	25	26	25.5	24.9	25.6	25.2
						透明度	2.5	3.5	3	2.5	2.6	2.6	1	3.1	2.3	2	4.3
14	605	1	東京湾(10)	平潟湾内	全水深	3	4	3.5	3	3	3	3	4	3.3	3	3.5	3.3
						透明度	1.5	3.5	2.7	2	3	2.5	1	3	2.3	3	3.5
14	606	1	東京湾(12)	東扇島沖	全水深	27	29.3	27.8	27.3	28	27.6	28	29	28.5	27.5	28	27.8
						透明度	2	3.5	3	2.2	2.6	2.4	1.5	3.4	2.6	2	5.1
14	606	2	東京湾(12)	扇島沖	全水深	25.5	27.2	26.4	25.5	27	26.5	24	27.5	26	24.2	26.8	25.2
						透明度	2.5	4.3	3.4	2.5	2.8	2.6	1.7	3.5	2.8	2.4	4.6
14	606	3	東京湾(12)	本牧沖	全水深	27	28	27.7	26	27	26.7	27	28	27.3	27	28	27.7
						透明度	2	4	3	2	4	2.8	2.5	4	3.5	4	7
14	606	4	東京湾(12)	富岡沖	全水深	15	15	15	15	17	15.7	15	15	15	15	16	15.7
						透明度	1.5	5	3.3	2.5	5	3.5	2.5	6	4.2	4	7.5
14	607	1	東京湾(13)	大津湾	全水深	30	31	30.7	30	30	30	29	30	29.7	29	31	30.3
						透明度	3	6	4.2	3	7	4.5	2.5	10	6	4.5	8
14	608	1	東京湾(14)	浦賀港内	全水深	9	10	9.7	9	10	9.3	9	10	9.7	8	10	9
						透明度	4.5	7	5.5	3.5	5	4	4	5	4.5	2.5	9
14	609	1	東京湾(15)	久里浜港内	全水深	8.5	9	8.7	8	9	8.7	8	10	9	9	10	9.5
						透明度	3.5	4.5	4	3	5.5	4	2.5	6	4	2.5	6
14	610	1	東京湾(16)	中の瀬北	全水深	32	32	32	31	31	31	31	31	31	30	32	31
						透明度	2	5.5	3.7	2	5	3.3	3	4.5	3.8	3	8
14	610	2	東京湾(16)	中の瀬南	全水深	31	34	32.3	30	32	31	30	32	31	30	32	31
						透明度	3.5	5.5	4.2	3	5	4	3	4.5	3.7	5	7
14	611	1	東京湾(17)	第三海堡東	全水深	44	45	44.3	40	44	42.7	41	45	43.3	38	45	40.7
						透明度	2.5	6.5	4.7	2.5	9	5.5	4	8	6	6.5	9.5
14	611	2	東京湾(17)	浦賀沖	全水深	74	75	74.3	74	76	74.7	73	75	74	65	75	71.3
						透明度	4.5	7	5.5	3.5	16	8.8	3	8	5.7	6.5	13
14	611	51	東京湾(17)	劔崎沖	全水深	325	325	325	320	326	322	320	330	323.3	340	370	356.7
						透明度	6	16	10	7.5	16	11.2	4	10	6	15	18

付表 3.3(1) 透明度測定結果（平成 17 年 3 月～平成 18 年 2 月：千葉県）

都道府県 コード	水域 コード	地点 コード	水域名称	地点名称	区分	春季:H17.3～H17.5			夏季:H17.6～H17.8			秋季:H17.9～H17.11			冬季:H17.12～H18.2		
						最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
12	601	1	千葉港(甲)	東京湾 5	全水深	7	8	7.3	6	7	6.7	8	9	8.3	8	9	8.7
					透明度	1.7	4.3	2.9	1.2	2.5	1.8	1	3.3	2.4	2.7	5	3.5
12	601	2	千葉港(甲)	東京湾 7	全水深	9	10	9.3	8	9	8.3	8	10	9	9	9	9
					透明度	1.6	3.7	2.8	1.1	3	1.8	1.9	4.3	3	2.7	6.1	3.9
12	601	3	千葉港(甲)	東京湾 12	全水深	17	18	17.7	17	17	17	17	18	17.7	17	18	17.7
					透明度	2	3.8	3	1	3.1	2.3	1.5	4.2	2.9	2.7	4.9	3.9
12	602	1	千葉港(乙)	東京湾 6	全水深	10	10	10	9	10	9.3	10	11	10.3	10	11	10.7
					透明度	1.7	4.2	2.8	1	2.3	1.5	1.3	3.2	2.4	2.5	5.8	4.1
12	602	2	千葉港(乙)	東京湾 9	全水深	15	16	15.3	14	15	14.3	14	16	15	15	16	15.7
					透明度	2.1	4.5	2.9	1.3	3.2	2.4	1.6	4.7	3.1	2.6	6.5	4.5
12	602	3	千葉港(乙)	東京湾 11	全水深	17	17	17	15	16	15.3	16	17	16.3	16	16	16
					透明度	1.8	3.9	2.9	1	2.6	2	1.5	4.9	3.1	3	5.1	3.7
12	603	1	東京湾(1)	東京湾 17	全水深	12	14	13.3	12	13	12.7	13	14	13.7	13	14	13.7
					透明度	1.6	3.8	2.7	1.5	2.8	2.2	2.3	5.2	3.9	2.2	5.5	3.6
12	604	1	東京湾(2)	東京湾 16	全水深	13	15	14	13	14	13.3	14	15	14.7	14	15	14.3
					透明度	2.1	3.5	3	1.9	2.7	2.3	2	5.5	3.8	3.5	5.4	4.3
12	605	1	東京湾(3)	船橋 1	全水深	9	10.5	9.8	10	11	10.5	10	11	10.3	10.5	11	10.8
					透明度	2	4	2.7	1	2	1.3	1	3	2	2	6	3.3
12	606	1	東京湾(4)	東京湾 2	全水深	6	6	6	5	5	5	5	6	5.3	6	7	6.3
					透明度	1.1	2	1.6	1	1.8	1.3	1.3	4.2	2.8	1.8	3	2.3
12	607	1	東京湾(9)	東京湾 1	全水深	7	8	7.7	6	7	6.3	7	8	7.3	7	8	7.7
					透明度	1.4	3.9	2.7	0.9	1.6	1.3	1.9	5.5	3.2	3	6.9	4.5
12	607	2	東京湾(9)	東京湾 3	全水深	5	6	5.7	5	5	5	5	6	5.3	5	6	5.7
					透明度	1.5	3.8	2.6	1.1	2.6	1.8	1.9	3.8	2.6	2.2	8	4.2
12	608	1	東京湾(11)	東京湾 4	全水深	10	11	10.7	10	10	10	10	10	11	10.7	11	11
					透明度	1.2	4	2.7	1.2	2	1.7	1.1	5.3	3	2	7.8	4.4
12	608	2	東京湾(11)	東京湾 8	全水深	17	18	17.7	16	17	16.7	17	18	17.3	18	18	18
					透明度	2.3	4.3	3	1.2	1.9	1.5	1.3	4.5	2.6	3.2	6.3	4.3
12	609	1	東京湾(12)	東京湾 10	全水深	18	19	18.3	17	18	17.3	17	18	17.7	18	19	18.3
					透明度	2	4.4	3.1	1.2	2.3	1.8	1.5	4	2.7	3.8	5.2	4.5
12	609	2	東京湾(12)	東京湾 15	全水深	13	14	13.7	12	13	12.7	13	14	13.3	13	14	13.7
					透明度	2.4	4.8	3.6	1.7	3.4	2.6	2	6.3	4.2	3.7	6.2	4.9
12	609	3	東京湾(12)	東京湾 18	全水深	10	12	11	9	12	10.3	10	14	12.3	11	13	11.7
					透明度	2	5.1	3.4	2.1	3	2.6	2.7	7.1	4.6	4.3	7.2	5.4
12	610	1	東京湾(16)	東京湾 13	全水深	20	21	20.3	19	19	19	20	20	20	20	20	20
					透明度	2.3	4.5	3.2	1.2	2.6	1.9	1.8	4.6	3.4	3	6.2	4.5
12	610	2	東京湾(16)	東京湾 14	全水深	20	20	20	19	20	19.3	20	20	20	20	21	20.3
					透明度	2.1	5.1	3.3	2.2	3.4	2.7	2.3	5.2	4	3.7	7.1	5.2
12	611	1	東京湾(17)	東京湾 19	全水深	10	10	10	9	10	9.3	10	10	10	10	11	10.7
					透明度	2.5	4.7	3.9	2.6	5.1	3.5	2.5	7.4	5.6	6.5	12	9.1
12	611	2	東京湾(17)	東京湾 20	全水深	10	10	10	9	9	9	9	10	9.7	10	10	
					透明度	2.9	4.4	3.8	2.4	3.1	2.8	2.4	7.9	5.9	5.5	6.5	6.1
12	611	58	東京湾(17)	東京湾 28	全水深	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
					透明度	6.3	14	11.2	4.2	11.5	7.2	15	16	15.7	16	20	18.2

付表 3.3(2) 透明度測定結果（平成 17 年 3 月～平成 18 年 2 月：東京都）

都道府県 コード	水域 コード	地点 コード	水域名称	地点名称	区分	春季:H17.3～H17.5			夏季:H17.6～H17.8			秋季:H17.9～H17.11			冬季:H17.12～H18.2		
						最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
13	601	1	東京湾(5)	St-5	全水深	10.7	16.7	13.2	11	12	11.7	11.2	12.3	11.7	11.8	12.6	12.2
					透明度	2.9	5.6	4.4	0.8	1.4	1.1	1.3	3.2	2.1	1.8	2.7	2.1
13	601	2	東京湾(5)	St-6	全水深	10.6	12.1	11.4	10.8	11.3	11.1	11.1	12.4	11.6	11.2	12.1	11.7
					透明度	2.6	6.5	4.4	0.9	1.4	1.1	1.5	4	2.4	1.7	3.1	2.5
13	601	3	東京湾(5)	St-11	全水深	15.9	16.3	16.1	15.8	16	15.9	15.8	17.1	16.4	16.1	16.9	16.6
					透明度	2.9	6	4.5	0.9	1.5	1.1	1.3	3.2	2.1	1.9	3	2.4
13	601	4	東京湾(5)	St-23	全水深	5.8	6.4	6.1	5.2	5.8	5.5	5.2	6.4	5.7	6.2	6.9	6.5
					透明度	1.3	4	2.4	1.3	1.6	1.5	1.6	3.8	2.3	1	1.9	1.6
13	602	1	東京湾(9)	St-8	全水深	4.8	5.7	5.2	4.6	5.7	5.1	5.3	6.1	5.6	5.4	6.2	5.8
					透明度	1.5	2.6	2	0.6	1.7	1	0.9	3.3	1.7	0.8	1.6	1.3
13	603	1	東京湾(11)	St-22	全水深	13.4	14.1	13.7	13.3	14.5	13.8	13.2	14.2	13.6	13.1	14.6	14
					透明度	3	6.3	4.7	1	1.7	1.3	1.5	4.8	2.8	2.6	4.8	3.4
13	603	2	東京湾(11)	St-25	全水深	15.3	16.4	15.9	15	15.3	15.1	15.1	16.3	15.5	16.1	16.1	16.1
					透明度	2.3	4.9	3.4	0.9	1.4	1.1	1.7	2.5	2	2.8	3.9	3.3
13	604	1	東京湾(12)	St-35	全水深	24.4	25.8	25	24.2	24.9	24.5	24.2	25.7	24.8	25.4	25.8	25.5
					透明度	3.3	6.1	4.4	1.4	2.6	1.8	3.3	4.8	4.3	3.1	6.1	4.5

付表 3.3(3) 透明度測定結果 (平成 17 年 3 月～平成 18 年 2 月 : 神奈川県)

都道府県 コード	水域 コード	地点 コード	水域名称	地点名称	区分	春季:H17.3~H17.5			夏季:H17.6~H17.8			秋季:H17.9~H17.11			冬季:H17.12~H18.2			
						最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	
14	601	1	東京湾(6)	京浜運河千鳥町	区分	全水深	13	14.7	14	14.4	14.6	14.5	14.9	15.7	15.4	15.2	16.1	15.6
						透明度	2.3	6.3	4.2	1	1.5	1.2	1.8	8.2	4.4	3	5.7	4.3
14	601	2	東京湾(6)	東扇島防波堤西	区分	全水深	17.2	19.5	18.2	16.2	17.5	16.8	17.1	17.5	17.3	16.6	17.8	17.2
						透明度	3.5	7.5	5.1	1.4	2	1.7	1.4	7	4	3.3	5.4	4.2
14	601	3	東京湾(6)	京浜運河扇町	区分	全水深	12.9	14.5	13.7	13.4	13.8	13.6	13.9	14.7	14.2	14.1	14.6	14.3
						透明度	2.4	6.2	4.4	0.9	1.5	1.2	1.8	7.7	4.1	3.4	4.2	3.7
14	601	4	東京湾(6)	鶴見川河口先	区分	全水深	7	7	7	6	8	7	6	7	6.7	7	8	7.3
						透明度	2.5	3.5	3	1	1.5	1.2	1.5	6.5	3.7	2.5	3.5	3.2
14	601	5	東京湾(6)	横浜港内	区分	全水深	11	11	11	11	12	11.3	11	11	11	11	12	11.7
						透明度	3	8	4.8	1	1.8	1.4	1.3	7.5	3.6	3.5	5.5	4.3
14	602	1	東京湾(7)	磯子沖	区分	全水深	15	16	15.3	12	15	13.7	15	15	15	15	16	15.3
						透明度	3.5	8	5.5	1.5	2.5	2	1.5	7	4.3	4.5	6	5.2
14	603	1	東京湾(8)	夏島沖	区分	全水深	11	15	13.4	8.5	13	11.2	8	12	10.3	11	12	11.3
						透明度	3.5	8.8	5.6	1.6	3	2.3	2.8	9.5	5.9	6.5	7.5	7
14	604	1	東京湾(9)	浮島沖	区分	全水深	24.5	25.9	25.3	25.2	26	25.5	26	26.5	26.2	26	26.5	26.2
						透明度	3	6.8	4.6	0.9	2	1.4	1.5	5.2	3.4	3	4.8	3.7
14	605	1	東京湾(10)	平潟湾内	区分	全水深	3	3.5	3.2	2	3	2.6	3	4	3.3	3	4	3.3
						透明度	2.5	3	2.8	1.2	2	1.6	1.8	4	2.9	3	3.5	3.2
14	606	1	東京湾(12)	東扇島沖	区分	全水深	27	29	28.3	28.3	29.1	28.7	29.2	29.7	29.5	29.4	30.3	29.8
						透明度	2.5	7	4.6	1.1	1.3	1.2	1.5	6.1	3.7	3	5.1	4
14	606	2	東京湾(12)	扇島沖	区分	全水深	26.4	27.5	26.8	26.5	27.1	26.7	26.9	27.5	27.2	27.1	28	27.6
						透明度	3	7	4.8	1.3	1.5	1.4	1.5	9.1	4.7	3.3	6.7	5
14	606	3	東京湾(12)	本牧沖	区分	全水深	27	28	27.3	27	28	27.3	26	27	26.7	27	27	27
						透明度	3.5	6	4.5	1	1.5	1.2	1.2	7.5	4.9	3.5	6.5	4.7
14	606	4	東京湾(12)	富岡沖	区分	全水深	15	15	15	14	15	14.7	15	17	15.7	15	16	15.3
						透明度	4.5	6	5	1.5	2	1.7	1.8	8	5.4	4	6.5	5.2
14	607	1	東京湾(13)	大津湾	区分	全水深	23	30	26.9	15	20	17.3	18	20	18.7	7	16	11
						透明度	4.5	9.5	7.5	2	2.9	2.5	2.5	10	6.3	6	8	7
14	608	1	東京湾(14)	浦賀港内	区分	全水深	9	10.4	9.5	9	9.3	9.1	9.5	10	9.8	9	10	9.7
						透明度	4.8	6.5	5.6	2.8	4	3.4	2.6	9	6.7	7	8.5	7.7
14	609	1	東京湾(15)	久里浜港内	区分	全水深	8	9	8.6	4.5	6.5	5.5	5	7.5	6.7	7	8	7.7
						透明度	3.8	5	4.4	2.2	3	2.7	3	5	4	4	7	5.8
14	610	1	東京湾(16)	中の瀬北	区分	全水深	31	32	31.7	30	31	30.7	31	32	31.7	30	32	31.3
						透明度	4	5	4.5	1.8	2	1.9	2.2	7.5	5.2	4.5	8.5	6
14	610	2	東京湾(16)	中の瀬南	区分	全水深	30	32	30.7	30	31	30.7	30	32	31	31	32	31.3
						透明度	5	5	5	2	3	2.7	2	6.5	5	4.5	8	5.8
14	611	1	東京湾(17)	第三海堡東	区分	全水深	40	45	43	38	43	40.7	41	43	41.7	38	44	41.7
						透明度	4.5	5.5	4.8	3	4	3.3	2	7	5.3	5	8.5	6.8
14	611	2	東京湾(17)	浦賀沖	区分	全水深	72	75	73.7	65	73	69.3	73	74	73.7	69	74	72
						透明度	6	7	6.5	2.5	3.5	3.2	4	10	7.7	8	10	9
14	611	51	東京湾(17)	劔崎沖	区分	全水深	350	370	358.3	330	360	344	330	360	343.3	320	340	326.7
						透明度	6	14	9.8	3.5	9	5.5	2	17	12	13	19	16