

沿岸透明度の目標設定の検討について（案）

1. 目標設定の基本的考え方

(1) 水生植物の保全の観点

海藻草類及び沈水植物等の水生植物が、その生活史を通して生長、生残して再生産が行われることにより、水生植物の生育が維持できる場を保全・再生することを目的に、維持することが望ましい環境上の条件として、沿岸透明度の目標の設定を検討する。

(2) 親水利用の保全の観点

保全対象とする親水利用の目的として、①自然探勝に利用される水域で、自然環境保全上高い透明度が求められる場所における親水利用、②日常的な親水行為である水浴または眺望（以下、「日常的親水」という。）の対象になる場所における親水利用、に分類する。海域及び湖沼における親水利用として勘案すべき水浴は、水浴場における水浴に限らず、水辺空間とのふれあいの観点から日常生活の中で行われる行為として広くとらえることが適当であると考えられる。また、日常的親水利用としての眺望利用のためには、水浴と同等程度の水質が確保されることが望ましい。このため、水浴と眺望を併せ、日常的親水利用のため望ましい水質目標を検討する。

2. 沿岸透明度の目標値の導出根拠

水生植物の保全の観点からは、海域においては海藻草類を対象に、湖沼においては沈水植物を対象に、それぞれの生育に必要な水中光量を確保できる条件について求める。

親水利用の保全の観点からは、自然環境保全及び日常的親水それぞれの利用目的に対し、望ましい透明度を求める。

2-1. 海藻草類に係る沿岸透明度の目標値の導出根拠

(1) 活用する海藻草類の知見

水生植物が生育するにあたり、光合成に必要な光量を確保することができる透明度の条件は、水生植物の生育水深によって異なる。そのため、水生植物の分布下限水深と必要な透明度の関係式を求めるため、水生植物の種ごと必要最低光量を活用する。

(2) 海藻草類の知見の収集方法

必要最低光量に関する知見は、実際の環境中において光量の不足が水生植物の分布の制限要因となっている場合で、その分布下限近傍において水中光量が長期間観測され、必要最低光量が記載されている文献（以下、「現地調査文献」という。）を収集した。なお、多年生の水生植物については1年の中で減衰と繁茂を繰り返しているが、そのなかで水生植物群落が長期的に維持されることを考慮し、必要最低光量は日積算光量の年間平均値を採用することとした。また、水深は年間の平均水位を基準とした。

(3) 海藻草類の知見の収集結果

必要最低光量について得られた種の知見は、アマモ、アラメ、カジメである（表1（1）、表2（1）、表3（1））。

なお、現地調査文献の他に、水槽等を用いた培養実験で光量条件に対する水生植物の生育状況が記述されている文献（以下、「水槽実験文献」という。）や、プロダクトメーター（差働式検容計）などを用いて光合成、呼吸速度を測定した文献（以下、「光合成実験文献」という）といったものがある。これらの人為的に光条件のみを変えて生育状況を観察した水槽実験文献や光合成及び呼吸を測定する光合成実験の結果は、条件が整った環境下での値であり、実験期間が短期間であるものがほとんどである。このことから、生育できる最低光量が把握できるものの、実際の海域において長期間生育できる光量としては過小評価である可能性があると考えられる。そのため、水槽実験文献及び光合成実験文献により得られた結果は、現地調査文献で得られた生育に必要な光量の妥当性の検証のため整理した（表1（2）及び表1（3）、表2（2）及び表2（3）、表3（2）及び表3（3））。

表 1 (1) 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 (現地調査文献)

引用文献	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))
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カ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>	St.A：3.1 mol/m ² /d St.B：3.0 mol/m ² /d (いずれも年間平均値)
1)	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)
2)	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ヵ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)
3)	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)
4)	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なとされる日積算光量3mol/m²/dの水深を推定。</p> <p>●結果：2カ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3mol/m ² /dになる水深と実際の分布下限水深がほぼ一致)

表 1 (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 (水槽実験文献)

引用文献	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))
5)	<p>●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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 実験期間：8～10月 ・ 水温：約21～26℃ <p>●結果：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 光量が1.1mol/m²/d、2.1mol/m²/dの実験区は2ヵ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。 ・ 1.1mol/m²/dでは、1ヵ月間は枯死しないが、2ヵ月続くと生残率は60%になり、2.1mol/m²/dでは2ヵ月で生残率は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ヵ月後の生残率が60～70%。

表 1 (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 (光合成実験文献)

引用文献	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))
6)	<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、 $I_c = 0.9712 \exp[0.1088t]$ $(R^2 = 0.92)$ で表せる。 生育限界付近の水温 28°C 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。 	1.7 mol/m ² /d (生育限界付近の水温 28°C 時)
7)	<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°C。</p> <p>●結果：</p> <ul style="list-style-type: none"> 補償光量は、5~28°C 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°C 以上では 40 μmol/m²·s (3.5 mol/m²/d) 以上に急増。ただし、29°C 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。 	0.9~1.7 mol/m ² /d (5~28°C)
8)	<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°C</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>	0.6~1.2 mol/m ² /d (10~25°C)
9)	<p>●方法：</p> <p>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°C。</p> <p>●結果：年間を通して、概ね 10~20 μmol/m²·s であった。</p>	0.9~1.7 mol/m ² /d (5.5~30.5°C)

表 2 (1) アラメの生育に必要な光量に関する読み取り結果 (現地調査文献)

引用文献	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))
10)	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。</p> <p>分布調査：1983 年 11 月</p> <p>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。</p> <p>水深 12m における年間平均光量を推定。</p> <p>約 58.6 μmol/m²/s (2×10⁻²cal/m²/分) (グラフから読み取り)</p> <p>(文献値を元に、日照時間 12 時間と仮定すると日積算光量では 2.5mol/m²/d となる)</p>	2.5 mol/m ² /d (年間平均値)

表 2 (2) アラメの生育に必要な光量に関する読み取り結果 (水槽実験文献)

引用文献	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))
11)	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>	<p>(配偶体) 1.1 mol/m²/d (孢子体) 2.2 mol/m²/d (いずれも20日間)</p>
12)	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>	<p>(配偶体) 1.1 mol/m²/d (孢子体) 2.2 mol/m²/d (いずれも20日間)</p>

表2 (3) アラメの生育に必要な光量に関する読み取り結果 (光合成実験文献)

引用文献	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))
13)	<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>
14)	<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>	<p>(胞子体) 0.8 mol/m²/d (20℃)</p>

表3(1) カジメの生育に必要な光量に関する読み取り結果(現地調査文献)

引用文献	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 (mol/m ² /d))
15)	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、1.4mol/m²/dであった。</p>	1.4mol/m ² /d (年間平均値)
10)	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8.79～29.3μmol/m²/s (0.38～1.27 mol/m²/d)を中心とした、2.93～87.9μmol/m²/s (0.13～3.8 mol/m²/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。この結果のうち、分布下限の光量は、2.93μmol/m²/s (0.13mol/m²/d)である。 ()は日照時間12時間と仮定した日積算光量の算定値。)</p>	0.13mol/m ² /d (年間平均値)

表3(2) カジメの生育に必要な光量に関する読み取り結果(水槽実験文献)

引用文献	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))
11)	<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, 800μmol/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0～25μmol/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。 ・光量50～800μmol/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>	ほとんど生長がみられなかった 光量：1.1mol/m ² /d 明らかに生長が認められた最低光量：2.2mol/m ² /d (いずれも孢子体)
13)	<p>●方法：葉状体を用いて光強度10, 50μmol/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： 10μmol/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)
12)	<p>●方法：孢子体を用いて、水温20℃で、光量0, 2.5, 6.3, 13, 16, 25μmol/m²/s (L/D:12h r/12h 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)
15)	<p>●方法：孢子体を用い、20℃で、光量0.7, 18, 35, 71, 210, 430, 850μmol/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ヵ月間生存可能)</p>	1mol/m ² /d以下ではほとんど生長がみられなかった

表3 (3) カジメの生育に必要な光量に関する読み取り結果 (光合成実験文献)

引用文献	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 (mol/m ² /d))
13)	<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℃の 6 段階、光強度 0-50 μmol/m²/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。 <p>補償積算光量 = 0.0864 × 補償光量 × α⁻¹ (μmol/m²/s、(α は光合成-光曲線の低光量 (0-25 μmol/m²/s) での初期勾配)</p> <p>●結果: 胞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"> 光補償点は胞子体で 4.8 μmol/m²/s、配偶体で 1.3 μmol/m²/s (20℃)。 <p>日補償積算光量は、胞子体での 0.3~1.7 mol/m²/d であった (5~27℃)。</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 0.6~1.3 mol/m²/d の範囲で変動する (13~25℃)。 	<p>日補償積算光量:</p> <p>0.6~1.3 mol/m²/d</p> <p>(静岡県鍋田湾、水温 13~25℃)</p>
16)	<p>●方法: 1 歳未満の胞子体を用いて、光合成速度を測定。水温 20℃ 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 μmol/m²/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 mol/m²/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):</p> <p>0.24 mol/m²/d</p>

以上の調査結果より、アマモ、アラメ、カジメそれぞれの必要最低光量は分布下限水深の日積算光量の年間平均値のうち、安全側を見込み最大値を採用した (表 4)。

表 4 海藻草類の必要最低光量 (年間平均値)

種名	必要最低光量
アマモ	3.3 mol/m ² /d
アラメ	2.5 mol/m ² /d
カジメ	1.4 mol/m ² /d

(4) 海藻草類に係る沿岸透明度の目標値の検討

水中での光量の減衰は Lambert-Beer の法則に従い¹⁾、ある水深における水中光量が算定できる (式 1)。

$$A = B \cdot \exp(-kZ) \quad (\text{式 1})$$

(A: 水深 z における水中光量、B: 水面直下の光量、k; 減衰係数)

一方、透明度と減衰係数の関係は、Poole and Atkins (1929)¹⁷⁾に従うと、式 2 のとおりとなる。

$$Tr = D / k \quad (\text{式 2})$$

(D: 定数、Tr: 透明度)

したがって、式1及び式2より、透明度と水深の関係を求めると式3のとおりとなる。

$$Tr = \frac{D}{\ln(B/A)} \cdot Z \quad (\text{式3})$$

したがって、定数 D 及び水面直下の光量 B (mol/m²/d) を定めれば、表4に示す、必要光量 A (mol/m²/d) ごとに、分布下限水深 Z (m) に応じた必要透明度 Tr (m) を算出することができる。

ここで、まず定数 D について以下のとおり求めた。

式2で表される透明度と減衰係数の関係は海域によって異なる。表5のとおり、透明度と減衰係数の知見を集めたが、国内における知見はデータが少なく、どの程度その海域を代表しているのか明らかにできなかったため、濁った海から澄んだ外洋にわたる広範囲な透明度より見積もられ、多くの文献等で引用されている「1.7」を採用することとした。

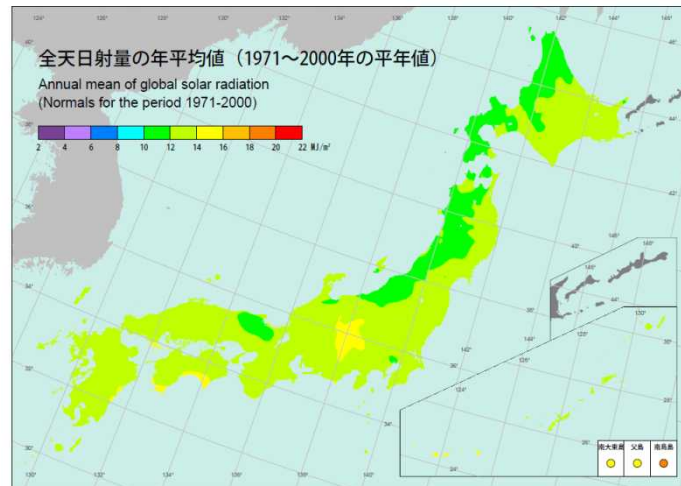
表5 透明度と減衰係数との関係式

引用文献	関係式	対象海域等
18)	透明度=1.6/k	東京湾
19)	透明度=1.6/k	瀬戸内海 (広島湾)
20)	透明度=1.45/k	チェサピーク湾
22)	透明度=1.7/k	<ul style="list-style-type: none"> ・経験式より定数1.7が見積もられている¹⁷⁾。 ・濁った海から澄んだ外洋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的確に見積もることができるとしている²¹⁾。

次に、我が国の海面直下における日積算光量の年間平均値 B (mol/m²/d) について以下のとおり求めた。

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。

ここで、まず、1日あたりの全天日射量を求める。我が国の全天日射量のデータ (1974年～2000年) (図1) をみるとほとんどの領域において年間平均値で10～16MJ/m²/dの範囲に入っていた。そこで、1日あたりの全天日射量の代表値として平均値の13 MJ/m²/dを用いる。



資料) 閉鎖性海域中長期ビジョン (平成 22 年 3 月)

図 1 我が国の全天日射量年平均値の分布 (1971 年~2000 年平均値)

また、海面の反射、吸収による光エネルギーのロスについては 79%とし¹⁾、さらに、全短波放射に占める PAR の割合は、実測等で報告されている 42%を用いる^{23), 24)}。

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年間平均光量 B ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$) は、

$$B = 13 \text{ (MJ}/\text{m}^2/\text{d}) \times 0.42 \times 0.79 = 19.6 \text{ (mol}/\text{m}^2/\text{d})$$

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

以上を踏まえ、式 3 より、3) で得られた必要最低光量を確保するために必要な透明度と水深の関係は、以下のとおり。

種名	年間平均透明度と分布下限水深の関係
アマモ	年間平均透明度 = $0.95 \times$ 分布下限水深
アラメ	年間平均透明度 = $0.83 \times$ 分布下限水深
カジメ	年間平均透明度 = $0.64 \times$ 分布下限水深

(5) 透明度と分布下限水深の関係式の検証

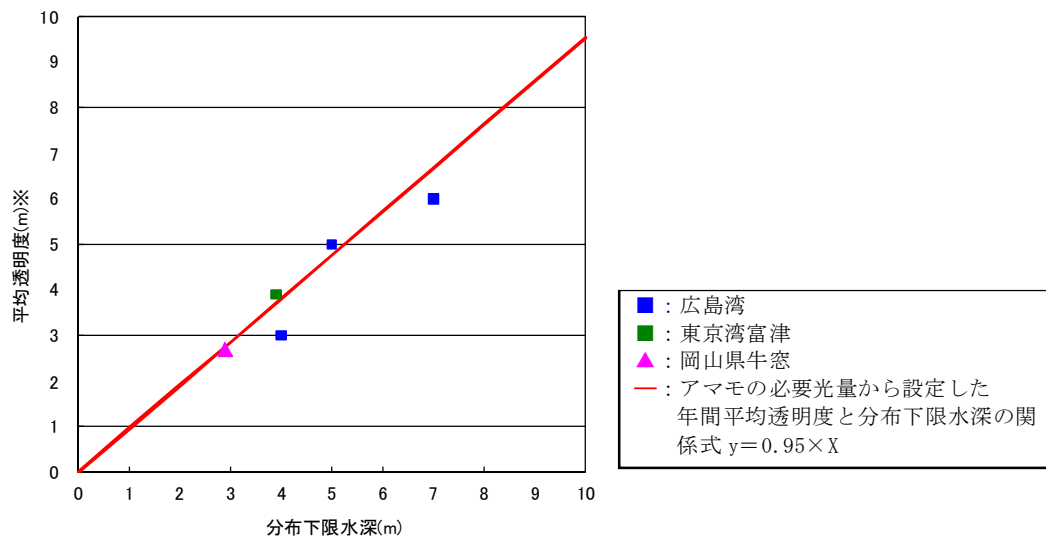
アマモについては、実際の分布下限水深と近傍の透明度のデータが得られたため、それらを整理し、必要光量から設定した透明度と分布下限水深関係式について、その妥当性について検証を行った。

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²⁵⁾。また、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¹⁾。加えて、文献としては整理されていないが、東京湾富津のアマモ場の分布下限水深が示されており²⁶⁾、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年間平均透明度と分布下限水深の関係式を重ねて示した(図2)。

その結果、広島湾、東京湾及び岡山県牛窓地先では、年間平均透明度と分布下限水深はほぼ一致していた。ただし、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。

また、海外の調査事例では、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²⁷⁾。本検討結果も、水深10mまで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年間平均透明度と分布下限水深の関係式は、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。



- 注) 1. 広島湾のデータについては、引用文献 25) 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。
2. ※の平均透明度について、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)。
3. 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 2 現存アマモ場での分布下限水深と平均透明度の関係

2-2. 沈水植物に係る沿岸透明度の目標値の導出根拠

(1) 活用する沈水植物の知見

沈水植物は、必要光量の知見が得られなかったことから、水生植物の分布下限水深と必要な透明度の関係式を直接求めるため、沈水植物の分布下限水深に関する知見とその場 (近傍を含む) の透明度のデータを活用する。

(2) 沈水植物の知見の収集方法

沈水植物の分布下限水深に関する文献並びにその近傍の透明度のデータを収集した。透明度の観測データは、分布下限水深と同時に観測されている文献以外は、沈水植物の分布調査と同年度に実施された公共用水域の水質測定結果のデータを用いて年間平均値を求めた。

(3) 沈水植物の知見の収集結果

沈水植物の分布下限水深とその湖沼における年平均透明度の関係は、琵琶湖、十和田湖、小川原湖、木崎湖、諏訪湖から情報が得られた。なお、水深は平均水位を基準とした(表6)。

表6 既往文献から分布下限水深と平均透明度の関係整理

引用文献	分布下限水深(構成種)	湖沼名	沈水植物調査地点	平均透明度(m)	透明度調査地点	
28)	クロモ(6.0m)	琵琶湖	St.48	3.8	長浜沖	
	クロモ(6.1m)、センニンモ(6.1m)、イバラモ(5.8m)	琵琶湖	St.53	4.4	天野川沖	
	クロモ(5.5m)	琵琶湖	St.58	4.4	彦根港沖	
	クロモ(5.3m)、センニンモ(5.2m)、オオササエビモ(5.1m)	琵琶湖	St.60	4.5	石寺沖	
	クロモ(5.4m)、センニンモ(5.3m)	琵琶湖	St.65	4.4	長命寺沖	
	クロモ(5.2m)、センニンモ(4.9m)、ホザキノフサモ(4.6m)	琵琶湖	St.70	3.2	日野川沖	
	クロモ(4.7m)、センニンモ(5.1m)	琵琶湖	St.75	3.0	吉川港沖	
	クロモ(6.3m)、センニンモ(6.8m)	琵琶湖	St.3	4.1	丹出川沖	
	クロモ(7.0m)、センニンモ(7.0m)、イバラモ(7.0m)	琵琶湖	St.48	3.8	長浜沖	
	クロモ(7.0m)、センニンモ(7.0m)、イバラモ(7.0m)	琵琶湖	St.53	4.4	天野川沖	
	クロモ(5.9m)、イバラモ(5.9m)	琵琶湖	St.58	4.0	彦根港沖	
	クロモ(4.9m)、イバラモ(4.9m)、センニンモ(4.9m)、ホザキノフサモ(4.8m)	琵琶湖	St.60	5.1	石寺沖	
	クロモ(5.8m)、イバラモ(5.8m)、センニンモ(5.8m)	琵琶湖	St.65	4.9	長命寺沖	
	クロモ(5.3m)、イバラモ(4.7m)、センニンモ(5.5m)、ホザキノフサモ(5.3m)	琵琶湖	St.70	4.1	日野川沖	
	クロモ(5.3m)、イバラモ(5.2m)、センニンモ(5.3m)、ホザキノフサモ(5.3m)、マツモ(5.3m)	琵琶湖	St.75	3.8	吉川港沖	
	クロモ(6.5m)、センニンモ(6.5m)	琵琶湖	St.3	5.2	丹出川沖	
	クロモ(9.0m)、センニンモ(9.0m)、マツモ(8.2m)	琵琶湖	St.48	3.9	長浜沖	
	クロモ(7.3m)、センニンモ(6.9m)、コウガイモ(6.7m)、イバラモ(6.2m)、ネジレモ(5.9m)	琵琶湖	St.53	5.3	天野川沖	
	クロモ(6.3m)、イバラモ(6.5m)、コウガイモ(6.4m)、センニンモ(6.2m)、ネジレモ(6.2m)、ホザキノフサモ(6.3m)	琵琶湖	St.58	5.0	彦根港沖	
	クロモ(8.2m)、イバラモ(7.9m)	琵琶湖	St.60	5.5	石寺沖	
	クロモ(6.3m)、イバラモ(6.0m)、センニンモ(6.3m)	琵琶湖	St.65	5.7	長命寺沖	
	クロモ(6.2m)、センニンモ(6.2m)、ホザキノフサモ(5.4m)	琵琶湖	St.70	4.3	日野川沖	
	クロモ(6.4m)、センニンモ(6.0m)、ホザキノフサモ(5.2m)	琵琶湖	St.75	3.8	吉川港沖	
	クロモ(8.0m)、センニンモ(8.0m)、イバラモ(8.0m)	琵琶湖	St.3	6.2	丹出川沖	
	29)	エビモ(3m)	諏訪湖	湖岸全域	1.2	初島西、塚間川沖
	30)	シャジクモ(5m)	小川原湖	NO.10	3.1	小川原湖総合観測所、中央
	31)	ヒメフラスコモ(10.5m)	木崎湖	西岸NO.10	6.9	木崎湖湖心
	32)	ヒメフラスコモ(29m)	十和田湖	西湖、東湖湖岸	12.6	St.102、119
33)	ヒメフラスコモ(24m)、カタシャジクモ(13m)	十和田湖	神田川川口北から大山岱	10	植物調査地点	
	ヒメフラスコモ(14.5m)、センニンモ(10.4m)	十和田湖	西湖、東湖湖岸	9.8	St.1,2,9	

- 注) 1. 沈水植物調査地点は引用文献における調査地点を指す。
 2. 平均透明度について、十和田湖の情報は引用文献より透明度調査地点の平均透明度を算出し、十和田湖以外の湖沼の情報は、引用文献の調査年次における公共用水域水質測定結果(環境数値データベース(国立環境研究所))より透明度調査地点の平均透明度を算出した。

(4) 沈水植物に係る沿岸透明度の目標値の検討

海藻草類の必要光量は、ほぼ単一種で構成される藻場で計測された光量を用いているため、種ごとの必要光量として整理した。しかし、沈水植物については、深場の車軸藻類などの例を除くと、多くの場合で複数種が混生して分布している。このため、沈水植物の生育を確保する透明度は、種ごとではなく沈水植物としてまとめて生育に必要な透明度を導出した。

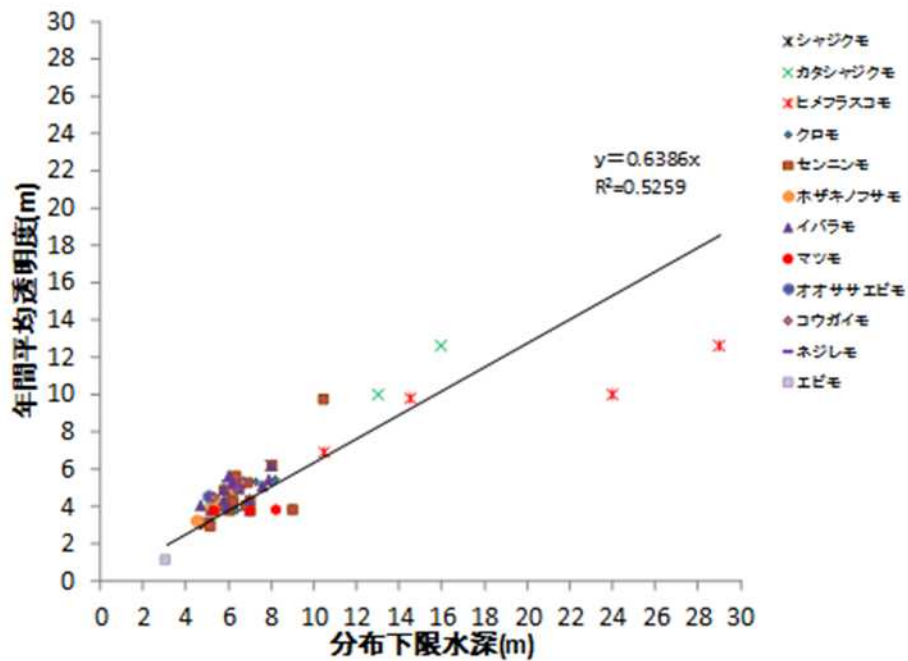


図3 分布下限水深と年平均透明度の関係

一次回帰式から年平均透明度と分布下限水深の関係は、以下のとおりとなる。

沈水植物の種類	年間平均透明度と分布下限水深の関係
維管束植物 車軸藻類	年間平均透明度=0.64×分布下限水深

2-3. 親水利用の保全に係る沿岸透明度の目標値の導出根拠

(1) 活用する親水利用の保全に係る知見

既存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、親水利用に関連する既往の指標等及び現状の透明度データ等を活用する。

(2) 親水利用の保全に係る知見の収集結果

① 自然環境保全

全窒素・全燐に係る環境基準のうち、海域の「自然環境保全」の利用目的に応じたレベルについては、以下のとおり整理されている。

我が国において透明度が十分に維持されている水域として海中公園地区（現在の海域公園地区に相当する）の水質データを整理すると、清澄な水質を確保するためには、10m程度以上の透明度を目標とすることが適当である。

水質項目	地点数	データ数*	平均	最小*	最大*	透明度 10m以上を超えるデータ数 (割合)
透明度 (m)	18	54	13	7	20	45 (83%)

(注) データの数、最小、最大は、各測定点の各年度の平均値を 1 データとした場合の値である。
 (備考) 「海域の窒素及び燐に係る環境基準等の設定について (答申)」(平成 5 年 6 月中央公害対策審議会)の参考資料 p14 を一部改編

資料：「海域の窒素及び燐に係る環境基準等の設定について(答申)」(平成 5 年 6 月中央公害対策審議会)

現在の海域公園地区内及びその周辺の近年の透明度の状況を確認してみると、全窒素・全燐の環境基準策定時のデータと比較して、最小値、最大値及び平均値に大きな差は見られない。

表 7 海域公園地区の透明度 (2010~2012 年度)

水質項目	地点数	データ数*	平均	最小*	最大*	透明度 10m以上のデータ数 (割合)
透明度 (m)	17	32	13.2	6.8	23.2	24 (75%)

注) 1. データの数、最小、最大は、各測定点の各年度の平均値を 1 データとした場合の値である。
 2. 対象とした地点は上表と同一地点を対象とした。なお、2010 年度は 4 地点、2011 年度及び 2012 年度は 1 地点が測定データがなかった。また、測定地点のうち、全水深が記載されていない地点、全透が観測された地点は集計から除外した。

資料) 各自自治体の平成 22~24 年度の透明度測定データ

また、湖沼の「自然環境保全」の利用目的に応じたレベルについては、以下のとおり整理されている。

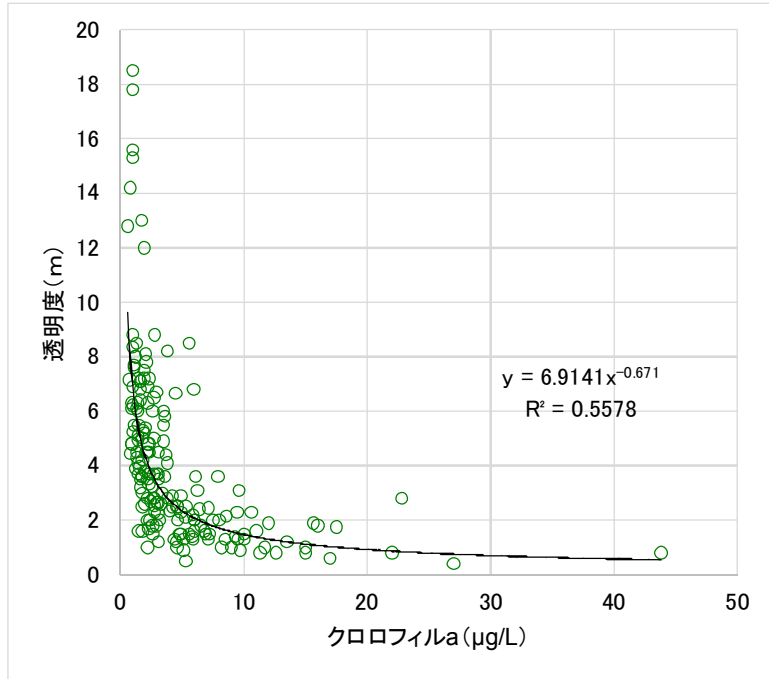
透明度とクロロフィルとの関係を考えて美観上からは透明度を十分に維持するためには、クロロフィル a の濃度を 1 mg/m^3 以下に保つことが望ましい。我が国でこれに該当する湖は摩周湖、支笏湖等の深い貧栄養湖である。

レベル	全窒素 年間平均値 (mg/L)	参考項目	
		夏季クロロフィル a 濃度 (mg/m^3)	透明度 (m)
I	0.07 以下	1 以下	6 以上
II	0.15 以下	3 以下	4 以上
III	0.4 以下	20 以下	2 以上
IV	0.6 以下	40 以下	1 以上
V	1.0 以下	—	—

レベル	全りん 年間平均値 (mg/L)	参考項目	
		夏季クロロフィル a 濃度 (mg/m^3)	透明度 (m)
I	0.005 以下	1 以下	7 以上
II	0.01 以下	3 以下	4 以上
III	0.03 以下	20 以下	2 以上
IV	0.05 以下	40 以下	1 以上
V	0.10 以下	100 以下	—

- 資料) 1. 窒素、リン等水質目標検討会 (1983) 湖沼の窒素に係る水質目標についての検討結果-窒素、リン等水質目標検討会報告-, p2
 2. 窒素、リン等水質目標検討会 (1980) 湖沼のリンに係る水質目標についての検討結果-窒素、リン等水質目標検討会報告-, p4

湖沼 AA 類型に指定されている湖沼のうち、平成 23 年度～平成 25 年度に各自治体において測定した透明度とクロロフィル a のデータを整理したところ、クロロフィル a 濃度 1 mg/m^3 ($1 \mu \text{g/L}$) のとき、透明度 6.9m であった。



資料) 各自治体における水質測定結果

図4 湖沼AA類型のクロロフィルa濃度と透明度との関係

② 日常的親水

現時点で、目標値の検討にあたり得られた知見は以下のとおり。

水浴利用の観点からの透明度の目安に関し、参考となる知見としては、「水浴場水質判定基準」(指針)がある。この基準で最も良い水質判定「適(水質AA及び水質A)」に該当する透明度は、「全透(または1m以上)」である。ただし、この基準は、開設前又は開設中において、水浴場内で測定した透明度で評価している。

表8 水浴場水質判定基準

区分	ふん便性大腸菌群数	油膜の有無	COD	透明度
適	水質AA 不検出 (検出限界 2個/100ml)	油膜が認められない	2mg/l以下 (湖沼は 3mg/l以下)	全透 (または 1m以上)
	水質A	油膜が認められない	2mg/l以下 (湖沼は 3mg/l以下)	全透 (または 1m以上)
可	水質B	常時は油膜が認められない	5mg/l以下	1m未満～ 50cm以上
	水質C	1,000個/100ml以下 常時は油膜が認められない	8mg/l以下	1m未満～ 50cm以上
不適	1,000個/100mlを超えるもの	常時油膜が認められる	8mg/l超	50cm未満*

眺望の観点からの透明度の目安に関し、参考となる知見としては、東京湾の赤潮発生判定の目安のひとつに透明度が設定されている。ただし、赤潮と判定するかどうかは、各都県において、各項目を総合的にみて判断している。

表9 東京湾における赤潮判定の目安

項目/県名	千葉県	東京都	神奈川県（東京内湾）
色	オリーブ色～茶色	赤褐色、黄褐色、緑褐色等	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1.5m以下
クロロフィルa	SCORR/UNESCO法:50 μ g/L 以上	吸光光度法及びLORENZEN 法に準ずる方法:50mg/m ³ 以上	蛍光法:50 μ g/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。

資料) 東京湾岸自治体環境保全会議 (2013) 東京湾水質調査報告書 (平成23年度), p39

また、琵琶湖において、淡水赤潮発生時の透明度を測定していたため、以下のとおり整理した。淡水赤潮発生時の透明度は、0.3～2.5mとなっており、平均をとると、1.3m程度となっている。

表10 琵琶湖の淡水赤潮の発生時の透明度の状況

調査日時	1995年～2009年の5月
検体数	37検体
調査地点	琵琶湖全域
透明度	0.3～2.5m (平均1.3m)
1m未満	11検体 (29.7%)
1m以上2m未満	21検体 (56.8%)
2m以上3m未満	5検体 (13.5%)

注) 琵琶湖の淡水赤潮判定は、植物プランクトン(Uroglena americana)の中群体(300細胞)換算で、300群体/mL以上を目安としている。

資料) 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター資料

(3) 親水利用の保全に係る沿岸透明度の目標値の検討

① 自然環境保全

海域については概ね10m程度、湖沼については、6～7m程度となっている。

② 日常的親水

日常的親水のうち、水浴利用については、水浴場水質判定基準を踏まえると、水浴場開設前又は開設期間中における水浴場内の望ましい透明度は「全透（または1m以上）」である。

日常的親水のうち、眺望利用については、東京湾の赤潮判定の目安や琵琶湖の淡水赤潮発生時の透明度のデータを勘案すると、少なくとも1.5m以上は必要であると考えられる。

なお、日常的親水の目標値としては、水浴場内の透明度と近傍の環境基準点の透明度の比較を行い、近傍の環境基準点の透明度がどの程度であれば、水浴場内の透明度が「全透（または1m以上）」を確保できるか、という観点で検討を行ったが、この方法では、十分な知見が得られなかった（参考資料1）。このため、この方法で目標値を設定するためには、必要なデータの解析等、さらに検討を進める必要がある。

3. 沿岸透明度の目標の設定について

水生植物の保全の観点からの沿岸透明度については、一定の知見が得られたものの、目標値については、保全対象となる水生植物に対して、保全する範囲ごとに、地域の意見等を踏まえて目標分布下限水深を検討し、目標値となる透明度を計算式により導出することとなり、地域の実情に応じて相当幅広い範囲で目標値が設定されることが想定される。この場合、従来の環境基準に設けられている「類型」の考え方との整合性について検討する必要がある。また、親水利用の保全の観点からも、同じ親水利用を行う場合であっても、水域によって異なる目標値を設定することも考えられる。

沿岸透明度については、水環境の実態を国民が直感的に理解しやすい指標であることを鑑み、指標として設定することは有効であると考えられるものの、その位置付けについては、上記を踏まえ、検討していく必要があるのではないかと。

いずれにせよ、沿岸透明度は、地域の合意形成により、地域にとって望ましい目標値（水生植物の目標分布下限水深に応じた透明度、親水利用の目的に応じた透明度）として設定することになると考えられる。

沿岸透明度（水生植物の保全の観点）の目標値（案）

目標値当てはめの目的	目標値
水生植物の生育の場を保全・再生する水域	X_m

[備考]

1) X は、水生植物の生育の場を保全・再生する水域における保全対象種の必要透明度（年間平均値）

2) X は、保全対象種の必要光量に応じて、以下の式により計算し小数第2位を切り上げた値とする。

ただし、 Z (m) は、保全対象種の目標分布下限水深（水深の設定は年間平均水位を基準）とする。

<保全対象種の必要光量ごとの計算式>

(海域)

①アマモを保全対象種として設定した場合

目標分布下限水深 Z に対する透明度： $X=0.95 \times Z$

②アラメを保全対象種として設定した場合

目標分布下限水深 Z' に対する透明度： $X=0.83 \times Z'$

③カジメを保全対象種として設定した場合

目標分布下限水深 Z'' に対する透明度： $X=0.64 \times Z''$

(湖沼)

保全対象種をクロモ、エビモ等（維管束植物）、シャジクモ、ヒメフラスコモ等（車軸藻類）の沈水植物に設定した場合

目標分布下限水深 Z''' に対する透明度： $X=0.64 \times Z'''$

沿岸透明度（親水利用の保全の観点）の目標値（案）

目標値あてはめの目的	目標値
親水利用を保全する水域	Y_m

1) Y は、親水利用を保全する水域において、水域の利用状況や特性及び地域住民等から求められるニーズに応じて、水域ごとにその特徴に応じた透明度とし、値は小数点第1位まで設定する。

4. 沿岸透明度の目標値の当てはめの方向性

沿岸透明度の目標値の当てはめを検討する対象水域は、海域及び湖沼とする。水生植物の生育の場を保全・再生する水域又は親水利用を保全する水域に限定して行ってはどうか。

目標値の当てはめについては、以下の点に留意して実施してはどうか。

- ①水生植物の保全・再生の観点からの沿岸透明度については、魚介類等水生生物の生息・産卵場確保、水質浄化機能の確保等の観点から保全対象種を設定した上で、その生育の場を保全・再生すべき範囲を設定し、その範囲ごとに目標分布下限水深を設定し、透明度の目標値を導出することを基本とする。目標分布下限水深については、水生植物の生育の場の現状又は過去の水深や、自然再生に係る関連計画等の状況を踏まえて目標値を設定する。
- ②親水利用の保全の観点からの透明度については、親水利用行為ごとに、その範囲を設定し、水域の利水状況、水質などの特性及び地域住民等からの求められるニーズ等に応じて目標値を設定する。例えば、水域ごとの親水利用の目的に照らし、現状の透明度の維持や過去の透明度に戻すことなども考えられる。
- ③水生植物の保全の観点と親水利用の保全の観点について、両方が重なる範囲においては、原則として、目標値の高い方を当該範囲の目標値として設定するが、各地域の関係者の意見等を踏まえて、適切な透明度を設定する。
- ④目標値の設定の検討の際、各地域の関係者の意見等を踏まえて、測定地点の水深、あるいは底泥の巻き上げ等自然的要因等本来的に透明度が低くなることも十分留意のうえ、適切な目標値を設定する。

なお、具体的な目標値の当てはめの流れについては、図5のような流れを想定しており、実際のイメージは図6、7のとおり。詳細については別途検討する。

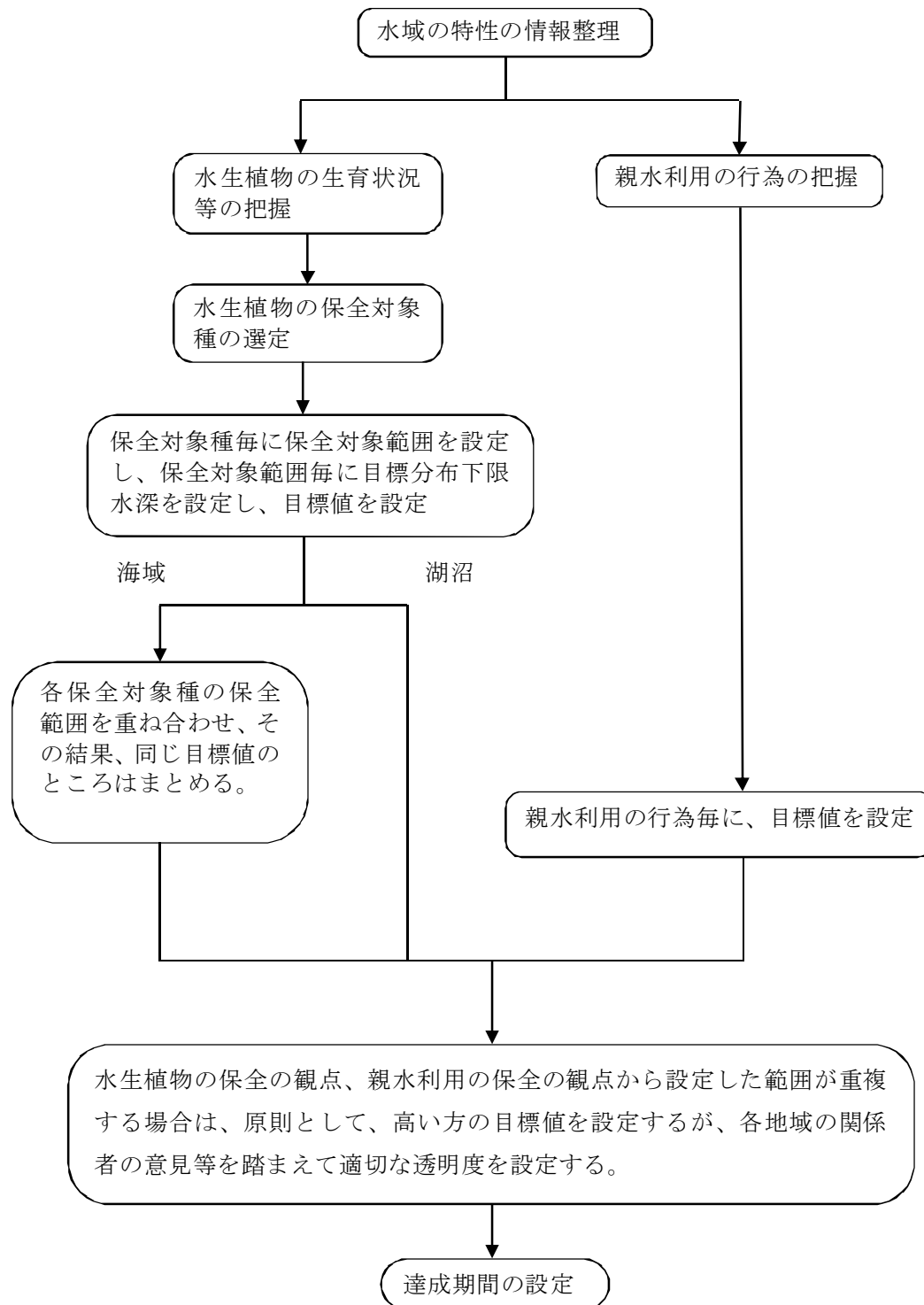


図5 沿岸透明度の目標値当てはめの流れ

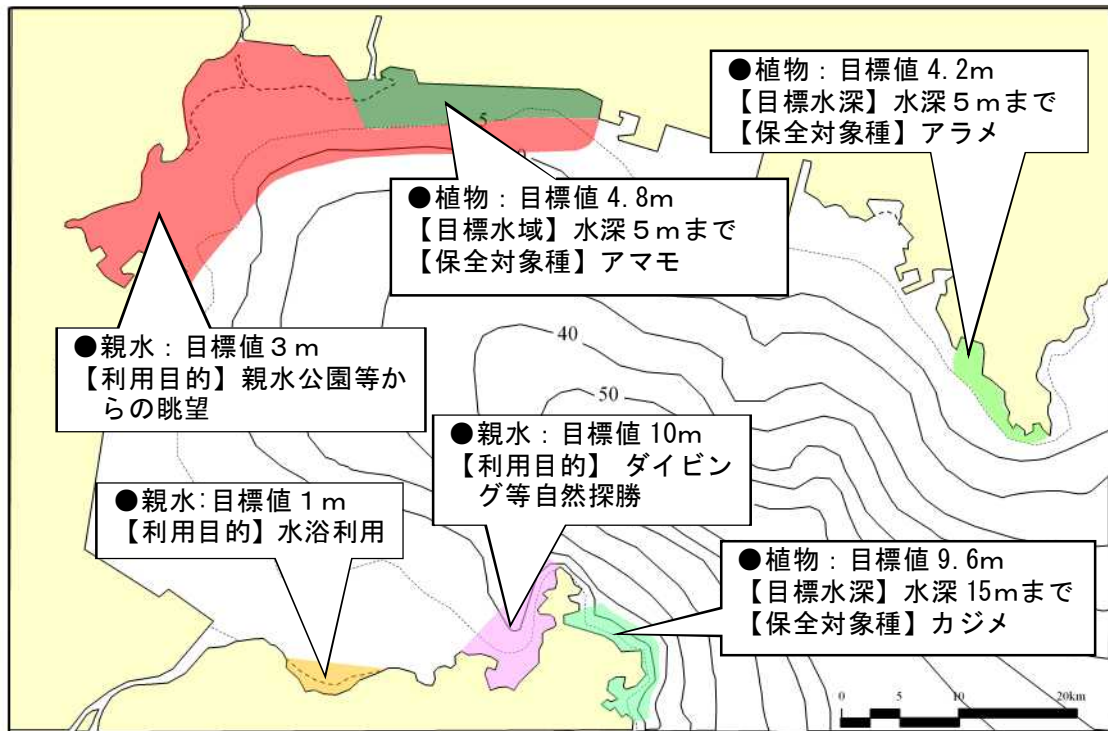


図6 沿岸透明度の目標値の当てはめイメージ：海域（複数の目標値を設定する場合）

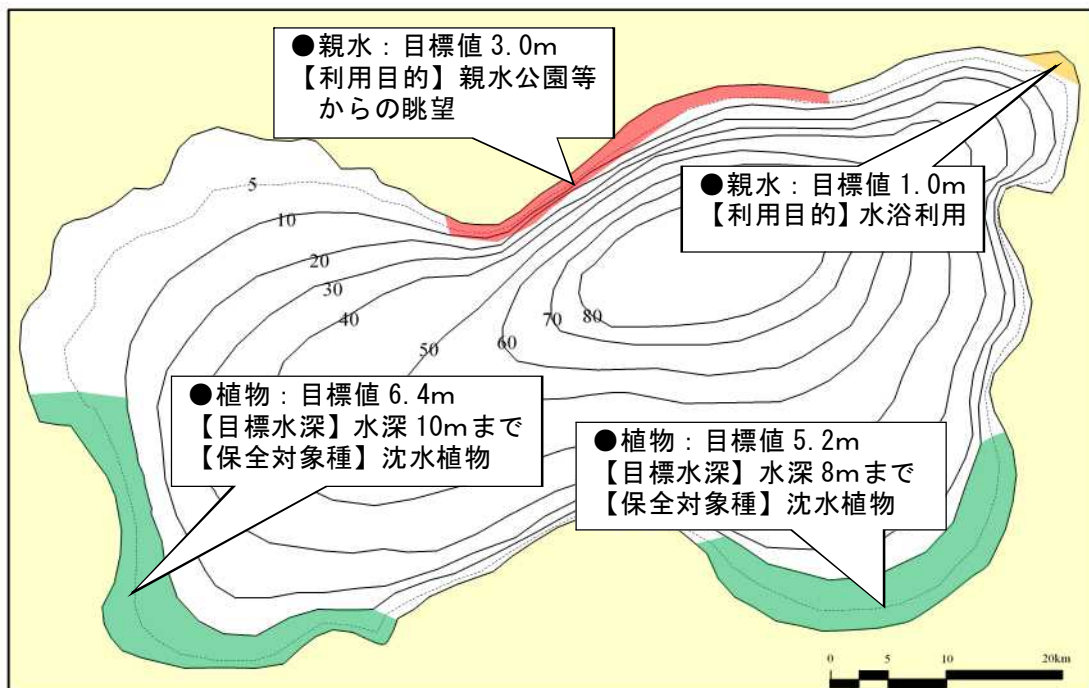


図7 沿岸透明度の目標値当てはめのイメージ：湖沼（複数の目標値を設定する場合）

図6及び図7は、親水利用は様々な行為があり、比較的広範な水域については、複数の目標値があることもありえることを示すために作成したものである。比較的狭い水域については、水域全体、あるいはその一部分を親水利用の対象として一律に当てはめて、目標値を設定することも考えられる。

5. 沿岸透明度の監視及び評価方法

沿岸透明度の監視及び評価方法については、以下の点を基本としてはどうか。

(1) 測定地点

測定地点は、目標値を当てはめた範囲における水生植物の生育環境、透明度の状況、水深等を勘案して、適切に評価できる地点を設定する。

(2) 測定頻度

年間を通じ、原則として月1日以上測定する。

(3) 評価方法

水生植物の保全の観点からの沿岸透明度の目標値は、年間平均透明度と分布下限水深の関係式から求めるものである。このため、目標を達成しているかどうかの評価は、年間の検体値の年間平均値が沿岸透明度の目標値を下回らないことをもって目標を達成しているものと評価する。また、親水利用の観点からは、親水利用の行為が期間限定で行われることも想定されるが、眺望など年間を通じた利用も考慮されうるとともに、水生植物の保全の観点からの評価と整合性をとって、原則として年間平均値で評価するものとする。

6. 対策の方向性

沿岸透明度の目標値を設定する場合、水環境の実態を国民が直感的に理解しやすい透明度で評価することが可能となる。地域の関係者が連携し、地域毎の望ましい水環境像を検討して沿岸透明度の目標値を設定するとともに、どのような水質保全対策等が効果的かについて議論して、総合的に対策を進めていくこととしてはどうか。

【引用文献】

- 1) 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.
- 2) 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), pp. 257-261.
- 3) 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), pp. 391-396.
- 4) 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), pp. 205-210.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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), pp. 890-895.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 後藤弘, 伊藤康男 (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.
- 12) 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孢子体に対する成長限界光量と浮泥堆積量, 電力中央研究所報告 U91034, pp. 1-22.
- 13) 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), pp. 87-94.
- 14) 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), pp. 447-455.
- 15) 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. 1-69.
- 16) 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, pp. 166-174.
- 17) Poole, H. H. and W. R. G. Atkins. (1929) Photo-electric measurements of sub-marine illumination throughout the year. Jour. Mar. Biol. Assoc. U. K. 16, 297-324.
- 18) 東京湾広域環境調査結果より作成
- 19) 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), pp. 151-155.
- 20) U. S. EPA (2003) Ambient Water Quality Criteria for Dissolved Oxygen, Water Clarity and Chlorophyll a for the Chesapeake Bay and Its Tidal Tributaries, pp. 81-99.

- 21) Idso, S. B. and R. G. Gilbert. 1974. On the universality of the Poole and Atkins secchi disk-light extinction equation. *Journal of Applied Ecology*. 11, pp. 399-401.
- 22) 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
- 23) 古川厚, 須藤静夫 (1979) : 浅沿岸水内の太陽エネルギー分布. 昭和 53 年度沿岸水内の太陽エネルギー分布に関する事業報告書. 海洋生物研究所, pp. 70
- 24) Bassham, J. A. (1977) Increasing crop production through more controlled photosynthesis. *Science*, 197, pp. 630-638.
- 25) 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), pp. 151-156.
- 26) 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.
- 27) 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, pp. 33-40.
- 28) 独立行政法人 水資源機構琵琶湖開発総合管理所 (2009) : 琵琶湖枕水植物図説、pp253. および本資料の元となる調査データ (独立行政法人水資源機構琵琶湖開発総合管理所より提供)
- 29) 武居薫 (2004) : 諏訪湖における沈水植物エビモ (*Potamogeton crispus* L.) 分布の変遷, *長野県水産試験場研究報告 第 6 巻*.
- 30) 浜端悦治 (1998) : 小川原湖 (青森県) における沈水植物の分布状況 (要旨)、*水草研究報*、No65、pp1-3
- 31) 樋口澄男、北野聡、近藤洋一、野崎久義、渡邊信 (2005) : 木崎湖における車軸藻類の分布 (2001~2002)、*長野県環境保全研究所研究報告*、Vol1, pp. 29-37
- 32) 神保忠男 (1958) 植物生態学的調査研究、青森県、十和田湖環境調査研究報告書。
- 33) 野原精一、上野隆平、加藤秀男 (2001) : 十和田湖の水生植物分布の現状と現存量、*国立環境研究所報告*、第 167 号、pp. 64-74