

問題点：スコアの総和、総乗が必ずしも良い結果を表しているとは限らない。

＜例1＞総和の場合：各グリッドにおけるスコアは低い（1点）が全ての抽出基準を満たしているといった場合、例えばグリッド1は総和で8点になる。ところが、グリッド4のように、基準1において非常に重要である（5点満点）場所は総和では5点となり、グリッド1よりも低い評価となってしまう。

＜例2＞総乗の場合：たとえばグリッド1はどんなにポイントを掛けても1点にしかならないため、総乗統合を行うと低く評価され、良いように思われるが、グリッド2やグリッド6のように5点満点のグリッドがあっても、他に該当する基準が少ない場合、総合点はそれほど高くない（グリッド2:40点、グリッド6:25点）。一方でグリッド3のようなハイスコア（5点満点）がないにも関わらず、平均点以下のスコアが多くの基準に該当しているグリッドは総合点では高くなり（72点）、5点満点の場所が選ばれにくいという結果となる。

グリッド	基準1	基準2	基準3	基準4	基準5	基準6	基準7	基準8	統合図	
	唯一性又は稀少性	種の生活史	絶滅危惧種	脆弱性・感受性・低回復性	生産性	多様性	自然性	典型性・代表性	総和	総乗
グリッド1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1
グリッド2	1	2	1	4		5			13	40
グリッド3	2	3	2	3		2		1	13	72
グリッド4	5								5	5
グリッド5	1	1							2	1
グリッド6			5	5					10	25

③試行案3：MARXANを用いた解析「MARXANによる解析図」

「スコア」の積算/乗算値による総和/総乗統合の図では、相対的に情報量の少ない抽出基準によって抽出された海域がうまく反映されない可能性がある。そこで、抽出基準別情報図間において MARXAN²を用いて、より選択回数が多い場所を示した「MARXANによる解析図」を作成した。なお、詳しい MARXAN の特徴については後述のコラムを参照。

なお、「抽出基準別情報図のグリッド単位に付与された「スコア」は、MARXANに重み付けを行う際に、有効に利用して解析を行うようにした。また、ある程度まとまりのある（連続性を考慮した）場の抽出を行うために、MARXANのBLM³の値（0～10）をいくつか変えて、試行した。MARXANによる解析を行う長所、短所は以下のとおり。

² MARXANは生物情報（種やハビタットの分布情報など）や社会経済学的情報（管理コストや管理面積など）、などの情報から、最少コストで最大の保全効果を得られる保護区（重要海域）の候補地（プランニングユニットの組み合わせ）を特定することができるアルゴリズム。MARXANの特徴はその応用性の高いパラメーター設定にある。インプットする生物情報（種・生態系等）の保全目標値を設定したり、目的に応じて、生態系間の連続性への重み付けや、重要な生態系への重み付けができるなど様々なパラメーターの設定が可能である。

³ BLM（Boundary Length Modifier）は値を自由に設定することができ、値を増加させると生態系間の連続性を確保できるが、その他の要素（コストや保全したい種や生態系（SPF）、保全目標値とトレードオフになることがある。

【長所】 個性的でスコアは高いにも関わらず、1つの基準しか満たさないため、総和/総乗を行った際、相対的に低い評価となるような海域を抽出することが可能。

【短所】 技術的ノウハウや利用できる情報が少ない場合には、誤った解析結果を導き出すことがある。

④ 試行案 4 : ハイスコア図

各基準のハイスコアのグリッドだけを抽出し、それらを単純に重ね合わせ、該当基準数を表示したハイスコア図を作成する。ハイスコアを採用する長所、短所は以下のとおり。

【長所】 スコアの高い場所を必ず抽出することが可能である。

【短所】 基準間での情報量の差が大きい場合、情報量の多い基準に全体の結果が強く影響される。

(4) 抽出基準別情報図の統合方法の決定

重要海域抽出検討会で議論を行った結果（詳しい議論の内容は巻末の検討会資料、議事要旨を参照）、沿岸海（案）及び沖合表層域に関しては、「MARXAN による解析図」及び「ハイスコア図」を採用することとした。以下が理由である。

■ MARXAN による解析図：

- ・基準間における差を最小限にでき、限られた場所のみ高いスコアを示すようなところが必ず抽出されるため
- ・重要海域の候補地の組み合わせには天文学的なパターンが考えられるが、MARXAN はスコアを活用して、最適地をアルゴリズムにより複数回試行し、その中から候補地としてより多く選ばれた場所を提示できるため

■ ハイスコア図：

基準間での差は無視するものの、大事な場所は余すことなく表現できるため。

沖合海底については、データが非常に限られたものしかないため全ての情報の重ね合わせ図（総和図）及びハイスコア図を参照し、平成 25 年度に具体的に生データ（海山や海底谷などの位置）を確認しながら具体的に重要な場所を決定するプロセスを経ていくように整理した。

なお、MARXAN の解析にあたっては以下の設定で解析を行った。

< MARXAN の解析設定 >

■ Planning Unit Cost = 1

具体的に想定できるものが無いため

■ Species Penalty Factors = 1

特に保全を意図する種や生態系が無いため

■ BLM (Boundary Length Modifier) = 0

連続性を高くし過ぎると、まとまりを優先して、同一基準のものばかりが選ばれたり、また各基準でハイスコアであるものが選ばれなくなる可能性があるため)

■ スコア：各基準において付与されたスコア

プランニングユニットと抽出基準とのマトリクスを作成の上、これにスコアを付与して MARXAN を解析することで、スコアが高いものがより選ばれやすいように重み付けを行った。

■ 保全目標：

MARXAN では必ず、保全目標を設定する必要がある。各抽出基準の保全目標が全体の評価対象プランニングユニット（沿岸、沖合表層、沖合海底それぞれ）の 20% になるように設定した。ただし、基準間での重み付けは行わなかった。

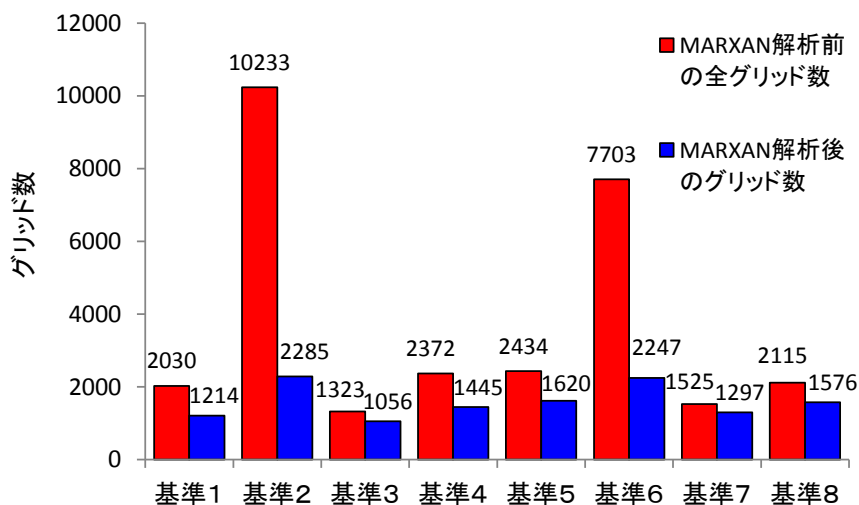
■ 試行回数：1000 回

(5) MARXAN による解析結果の検証

抽出基準別情報図によっては、データが十分にあるものと、そうでないものがあり、基準間の情報量が大きく異なっていた。特に、特に基準 2 及び基準 6 の情報量が多く、スコアの総和積算などでは、これらの基準ばかりが評価されてしまう欠点があった。MARXAN を使用することで、相補性解析により、基準間の情報量がある程度均一化されるためこれらの問題を解決できると考えられた。そこで、これらの各抽出基準の情報がどれくらい解析後に含まれるかを検証した。またハイスコアとなったグリッドが各基準でどれくらい含まれるかも併せて検証した。

①MARXAN の解析による各抽出基準のグリッド数の検証

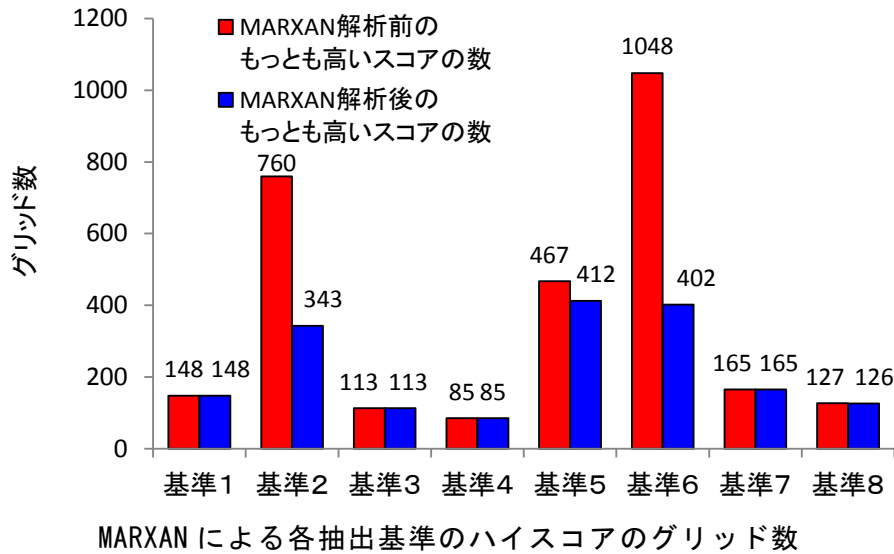
MARXAN を解析する前のグリッド数と、解析後に選択された（保全目標 20%内に含まれた）グリッドがどれくらい変化するかを検証した。検証の結果、データ数が非常に多い基準 2 や基準 6 のグリッド数は、他の基準と同じかやや多い程度に絞り込まれたことがわかった（下図）。ただし、情報量の多い基準は、もっとも高いスコアのグリッド数も多く含んでおり、また MARXAN の解析の特徴としては、他の基準との関連性だけで選択してしまうため、選択された場所が適切であるかどうかを、生物学的・生態学的な情報をもとに判断する必要があり、専門家からの情報が重要であると考えられる。これらは平成 25 年度の作業の課題であると考えられた。



MARXAN による各抽出基準のグリッド数

②ハイスコアのグリッドに注目したグリッド数の検証

MARXAN による解析は、非代替性の高い海域を評価する特徴がある。MARXAN にスコアをパラメーターとして組み込んで解析を行った結果、もっとも高いスコアのグリッドはほとんど漏れなく選択されており、その有効性が示された。しかし、基準 2、基準 6 については上記と同様ハイスコアでも他の基準との関連性によって機械的に絞込を行っているため、選択された場所が適切であるかどうかを専門家からの情報により判断していく必要がある。

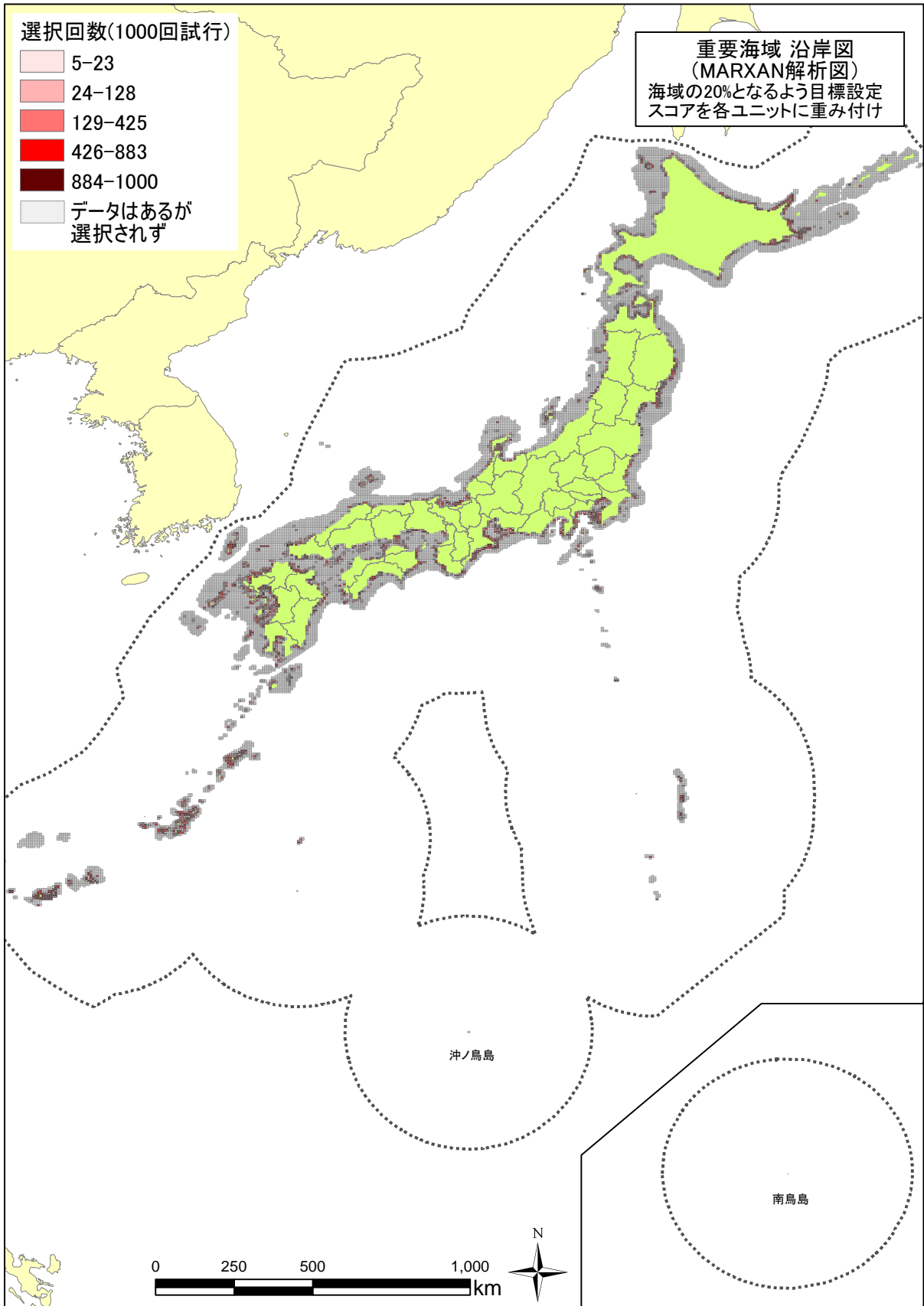


(6) 重要海域図 (案)

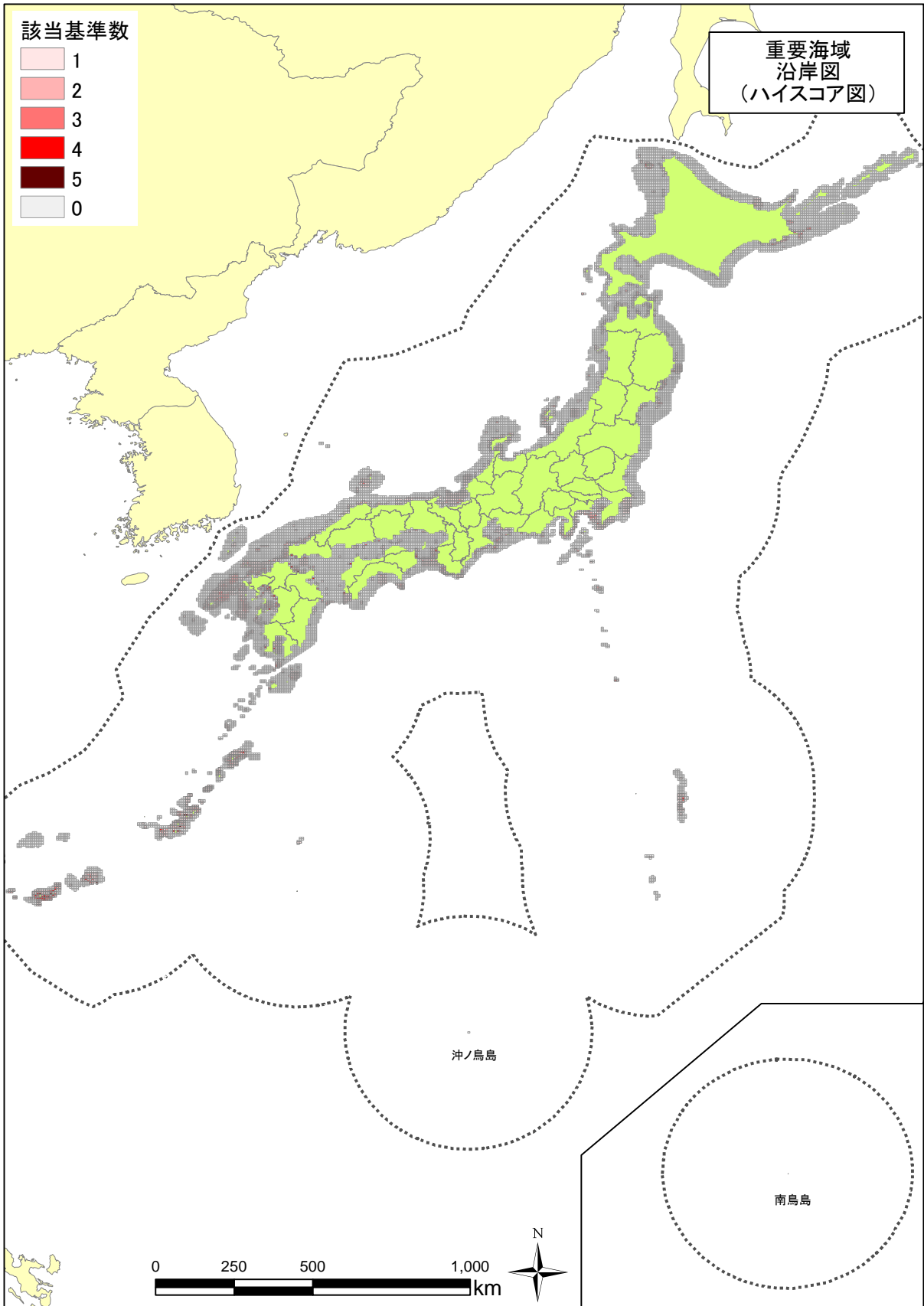
解析の結果作成された図の一覧及び図は以下の通り。

重要海域図 (案) 一覧

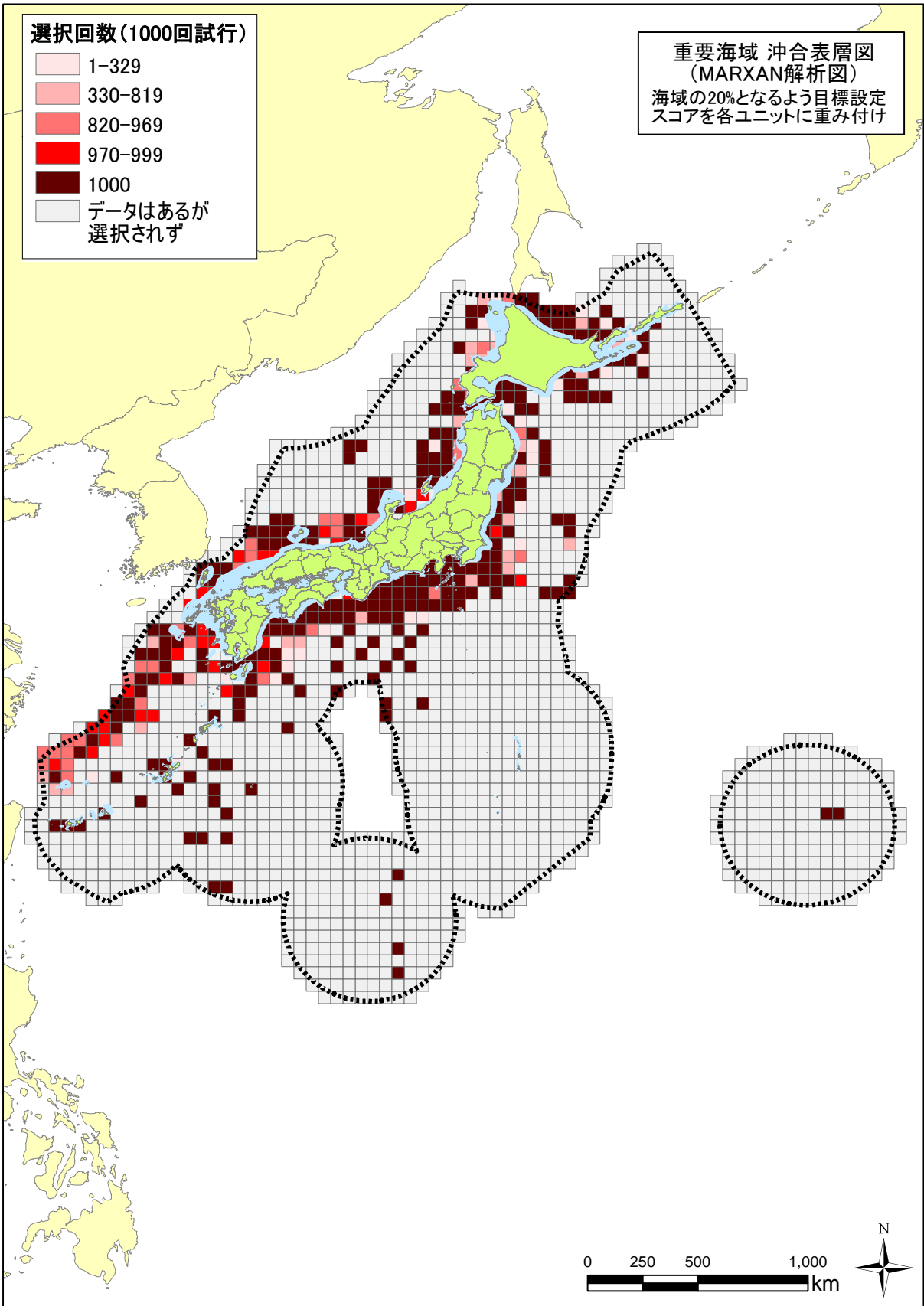
区分	図名	内容
沿岸 (5km グリッド)	MARXANによる解析図	MARXANにて、保全目標を沿岸域の20% (約2500グリッド) となるように設定した上で1000回試行した結果の図。また、各グリッドのスコアで重み付けを行った。BLMを0と設定し、連続性の重みづけはしていない。
	ハイスコア図	各基準でもっとも高いスコアのグリッドだけを抽出し、それらを単純に重ね合わせ該当基準数を示した場合
沖合表層 (30分グリッド)	MARXANによる解析図	MARXANにて、保全目標を沖合域の20% (約300グリッド) となるように設定した上で1000回試行した結果の図。また、各グリッドのスコアで重み付けを行った。BLMを0と設定し、連続性の重みづけはしていない。
	ハイスコア図	各基準でもっとも高いスコアのグリッドだけを抽出し、それらを単純に重ね合わせ該当基準数を示した場合
沖合海底 (30分グリッド)	総和統合図	各基準における各グリッドのスコアを総和し、これをさらに5段階に表示した場合
	ハイスコア図	各基準でもっとも高いスコアのグリッドだけを抽出し、それらを単純に重ね合わせ該当基準数を示した場合



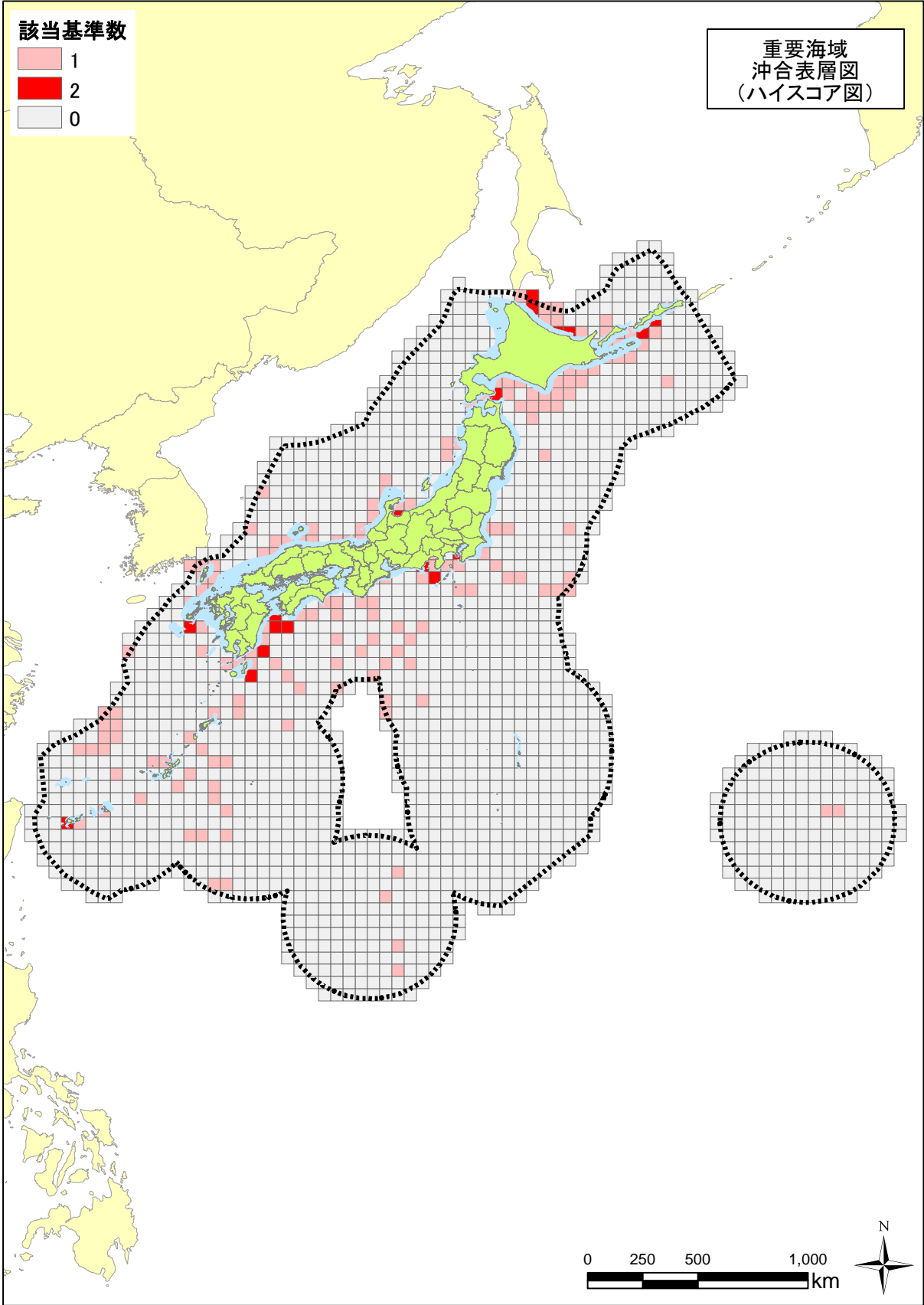
重要海域沿岸図 (案) MARXAN による解析図



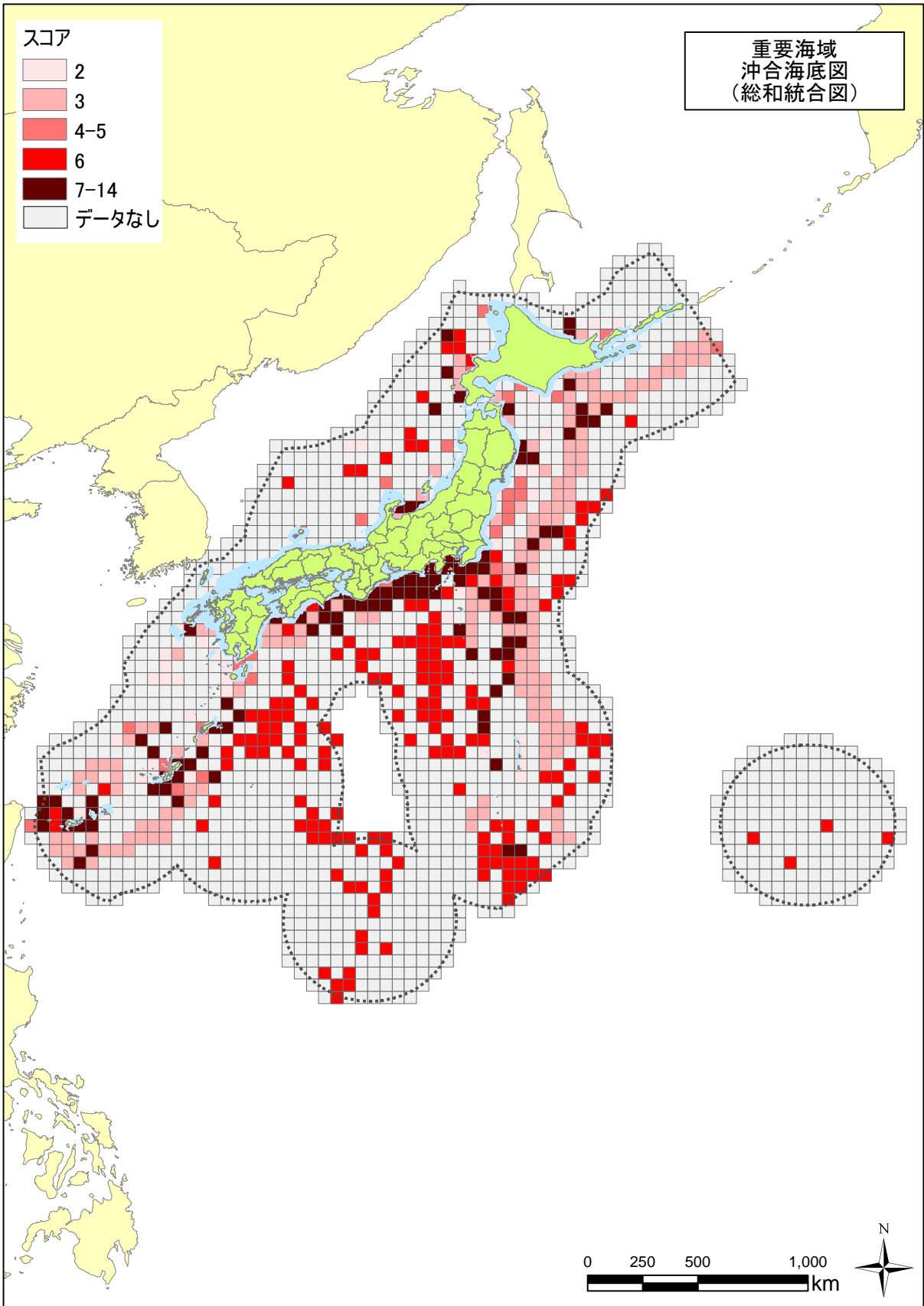
重要海域沿岸図 (案) ハイスコア図



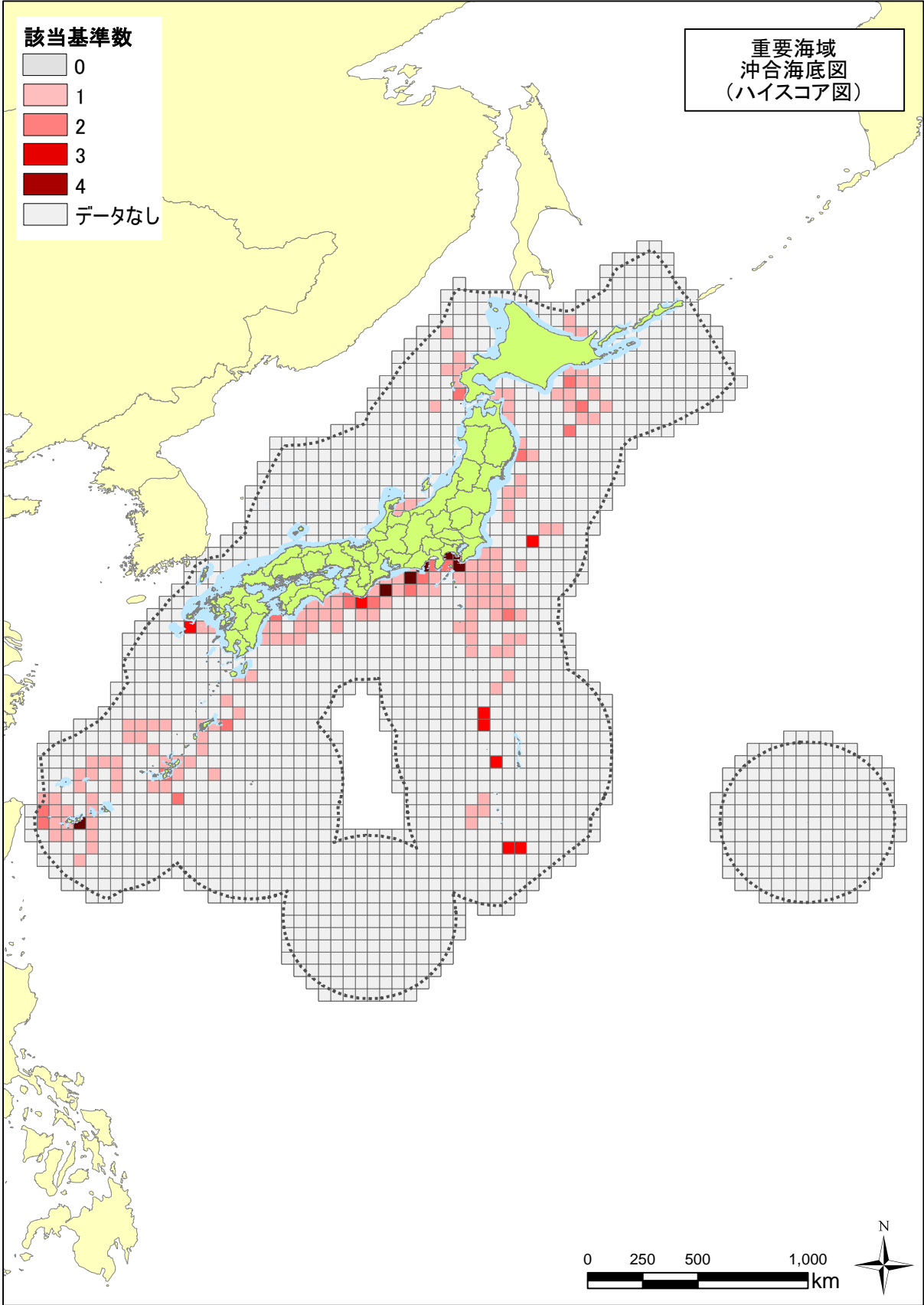
重要海域沖合表層図 (案) MARXAN による解析図



重要海域沖合表層図（案） ハイスコア図



重要海域沖合海底図（案） 総和統合図



重要海域沖合海底図（案） ハイスコア図

参考：MARXAN について

1. MARXAN とは

MARXAN は、種や生態系、地形等の情報から、重要海域等の生物多様性保全上優先度の高い場所や海洋保護区の候補地を科学的に選定するためのアルゴリズムである。科学的信頼性、高い応用性、国際的な認知度や、GIS ソフトの互換性などの点で複数の利点があり、世界中で最も利用されている。2010 年時点で、110 カ国で、1,600 以上の組織（国際連合、IUCN、全ての主な NGO、50 の政府機関、220 の大学を含む）において活用実績がある。計算過程が公開されており、科学的な信頼性もあり、国際的に高く認知されている。

2. MARXAN の特徴

MARXAN は生物情報（種やハビタットの分布情報など）や社会経済学的情報（管理コストや管理面積など）、などの情報から、最少コストで最大の保全効果を得られる保護区（重要海域）の候補地（プランニングユニットの組み合わせ）を特定することができる。プランニングユニットの組み合わせ、つまり保護区の候補地の特定には無数のパターンが考えられ、最適地を選定するのは複雑で時間のかかる作業となるが、MARXAN はこれらをアルゴリズムにより複数回（100 回以上推奨）試行し、その中から候補地としてより多く選ばれた場所を提示することができる（発見的アルゴリズム）。よって MARXAN は保護区の最適候補地の答えを出すというよりも、最適地により近い複数の選択肢の回答を示すことで、政策決定の補助を行うツールと位置づけられている。もともとは生物多様性の保全計画のため種の生息地を確保することや生態系を保全することを目的として作成されたものであり、重要海域抽出においても十分に利用可能である。

MARXAN の特徴はその応用性の高いパラメーター設定にある。インプットする生物情報（種・生態系等）の保全目標値を設定したり、目的に応じて、生態系間の連続性への重み付けや、重要な生態系への重み付けができるなど様々なパラメーターの設定が可能である。

3. 技術的特徴

環境省で行っている自然環境保全基礎調査の結果などの多くは、ArcView という GIS ソフトを使用している。そのほか物理環境などの情報についても現在同様に ArcView GIS ソフトを利用することができる。MARXAN は ArcView との互換性を考慮して設計されており、アウトプットは GIS データに容易に変換が可能で、幅広い応用が可能である。

4. MARXAN の計算手法について

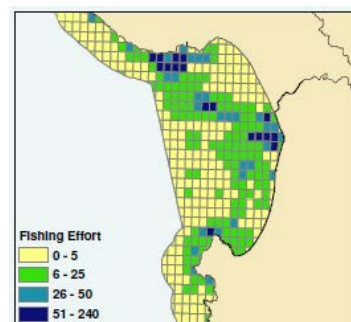
MARXAN は3つの値の総和をスコアで評価する。それぞれの値は目的に応じて自由に値を設定することが可能で、目的関数の総和の最も低い値が抽出される。それらの組み合わせを複数回（100回以上推奨）試行し、最も候補地として選択された場所を提示することができる。スコアに用いられる値の設定は以下の通り。

$$\sum_{PUs} \text{Cost} + \underbrace{BLM \sum_{PUs} \text{Boundary}}_{\text{②}} + \underbrace{\sum_{\text{Cov Value}} \text{SPF} \times \text{Penalty}}_{\text{③}} + \underbrace{\text{Cost Threshold Penalty}(t)}_{\text{④}}$$

$$\text{Score} = \begin{cases} \text{① Planning Unit Cost} \\ + \text{② Boundary Cost} \times \text{BLM} \\ + \text{③ Species Penalty Factors} \end{cases}$$

① Planning Unit Cost:

- ・ユニットの面積等をコストとして任意の値を設定可能。たとえば、すでに漁業で利用されている場所、レクリエーション利用を行っている場所をコストとして設定できる。そのほか管理を行うために必要なコスト（面積当たりの必要コスト）などを計算して入力することも可能。
 - ・また、すでに保護区となっている場合、保護区の管理コストを入力するなどを行う場合もある。
- 右図は漁獲努力量を図化したものの例。



② Boundary Cost × BLM:

- ・全てのユニットの最外殻の辺の長さの合計値（Boundary Cost）を算出し、BLM 値を掛けることで、連続性の重み付けが可能。
- ・BLM（Boundary Length Modifier）は値を自由に設定することができる値で、値を増加させると生態系間の連続性を確保できるが、コストや SPF、保全目標値とトレードオフになることがある。

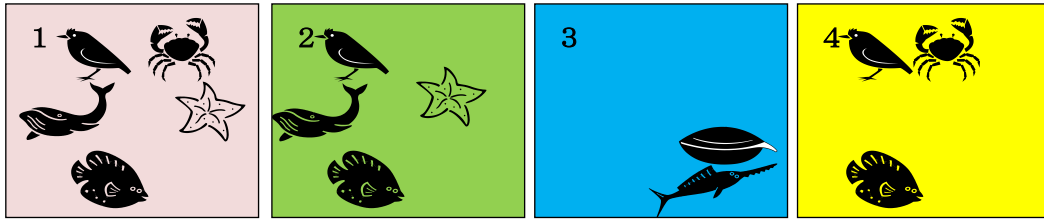
③ Species Penalty Factors (SPF) :

- ・各ユニットに評価対象となる種や生態系が含まれない場合はペナルティーが加算され、より多くの評価対象が含まれるように計算することができる。また、評価対象ごとに保全目標を設定することで重み付けすることが可能である。

※④Cost Threshold Penalty はオプションで現在改良中であるためここでは考慮しない。

5. 相補性解析及びトレードオフの例

■相補性の例 4つの区域に生息する7種の絶滅危惧種を最小限の保護区で効率良く保全するには



- ・種数の一番多い No1 の区域を保全する
- ・相補性を考えてもう1箇所保全するなら 2, 3, 4のうちどの区域か
→区域2だと平均種数 4.5 種、総種数 5 種
→区域3だと平均種数 3.5 種、総種数 7 種

■トレードオフの例

(1) シナリオ1 (Score=17) : より多くの種や生態系が含まれるように設定した場合すべての対象生物群が抽出されるように保全目標値のパラメーターを設定し、BLM 値を下げることで、対象生物群が確保される。

A	A,B	D
A,B	B	D
C	E	C,E

A	A,B	D
A,B	B	D
C	E	C,E

対象生物群	選定の有無
A:サンゴ群集	○
B:藻場	○
C:干潟	○
D:塩性湿地	○
E:底生生物	○

①Combined Planning + ② (Boundary Cost 14×BLM 0.86) + ③Combined Species Penalty Factors 0 Unit Cost 5

(2) シナリオ2 (Score=17) : 種や生態系間の連続性を優先させた場合 BLM 値を上げることで、種や生態系間の連続性を優先させることはできるが、一部の対象生物群が抽出されずに、SPF の値が加算される。

A	A,B	D
A,B	B	D
C	E	C,E

A	A,B	D
A,B	B	D
C	E	C,E

対象生物群	選定の有無
A:サンゴ群集	○
B:藻場	○
C:干潟	×
D:塩性湿地	○
E:底生生物	×

①Combined Planning + ② (Boundary Cost 10×BLM 1.00) + ③Combined Species Penalty Factors 2 Unit Cost 5