地球地図全球版第 2 版土地被覆データを用いた 世界各緯度帯の海陸の面積とその比の算出
Calculation of “Sea and Land Areas and Their Ratio of Each Latitude Band” by Global Map Version 2

応用地理部　須賀正樹・安藤暁史・鵜生川太郎・植田摩耶
Geocartographic Department
Masaki SUGA, Akifumi ANDO, Taro UBUKAWA and Maya UEDA

要　旨

国土地理院は，地球地図国際運営委員会（International Steering Committee for Global Mapping: ISCGM）事務局として，千葉大学及び各国政府の地理空間情報当局（National Geospatial Information Authority: NGIA．日本における国土地理院に相当する政府機関.）と協働して，地球全体をカバーする地理空間情報の 1 つである地球地図全球版第 2 版（土地被覆）（Global Land Cover by National Mapping Organizations: GLCNMO．以下「GLCNMO 第 2 版」という.）を整備し，公開を行っている．今回，このデータを基に世界各緯度帯の海陸の面積及びその比を検証可能な形で計算した．

現行の理科年表の地学部に掲載されている「世界各緯度帯の海陸の面積とその比」（国立天文台編，2012, p.581．以下「本表」という.）には，地球上の各緯度帯（10 度毎）における陸地及び海洋の面積並びにその比が掲載されている．本表で示されている陸地及び海洋の面積の算出に用いられたデータの諸元や算出方法については,「主としてベッセル楕円体に依拠しているが，地図を作成する上での準拠楕円体は国によって異なる．そのため，面積の集計にはこれらの違いが含まれる.」と記載されているのみであり，精度の検証は不可能である．また，我が国でも 2002 年から世界測地系が導入されたように, 準拠楕円体が従来のベッセル楕円体から，地球を最もよく近似している楕円体として広く用いられている GRS 80 楕円体へと世界的に変更されつつある. 今回, GLCNMO 第 2 版を基に GRS80 楕円体を準拠楕円体として検証可能な形で面積とその比を計算した結果, 本表の情報と差異があったため, 平成 26 年版の理科年表に反映されるよう関係者等に修正等の依頼を行った．

1. 地球地図について

地球地図（Global Map）とは，地球全球の地理空間情報を整備することを目的に, 各国・地域の NGIA が協働して取り組んでいるプロジェクトである．1996 年に ISCGM が設立され，2000 年からデータの公開が始まっている．2013 年 12 月時点では，本プロジェクトには，182 の国・地域が参加しており，そのうち 118 の国・地域において，データの整備・提供が行われている．

プロジェクトでは，各国・地域の NGIA がそれぞれの範囲について，地球地図各国版データとして整備することとなっている．データは，境界や交通網等の 4 項目のベクタデータと，標高や土地被覆等の 4 項目のラスタデータ，計 8 項目のデータとして整備されている．データは地理情報システム（GIS）で活用可能な形式として整備されており，利用者は ISCGM の Web サイト等からダウンロードして利用することが可能である．また，非営利目的での利用であれば，無償で利用可能である．データは 100 万分の 1 相当の精度で整備されており，ラスタデータの場合は，1km 解像度（経緯度 30 秒メッシュデータ）以上の精度のデータとして整備されている．

さらに，各国・地域でそれぞれ整備する地球地図各国版のデータに加え, 地球全域をカバーする標高, 土地被覆，植生のラスタデータを，地球地図全球版データとして，ISCGM 事務局が中心となって整備・提供している．このうち土地被覆・植生について，国土地理院，千葉大学及び各国・地域の NGIA が協働して全球版第 2 版を整備し，2013 年 7 月から公開を開始した．今回，海陸の面積等の算出に当たっては，この GLCNMO 第 2 版を使用した．

2. 海陸面積比の算出方法について

2.1 GLCNMO 第 2 版及びこれを用いた海陸データの整備

GLCNMO 第 2 版は，全球の土地被覆の状況について，常緑針葉樹林や落葉広葉樹林，草地，田，市街地，水部等，計 20 項目に分類した 15 秒メッシュ（赤道付近で約 500m メッシュ.）のラスタデータである．2008 年に整備した GLCNMO 第 1 版と比べて解像度が向上（30 秒メッシュから 15 秒メッシュにメッシュサイズを細分化.）するとともに，データの作成に当たっては，より新しい衛星画像（2008 年に地球観測衛星 Terra 及び Aqua に搭載されている MODIS センサーが取得した画像）が用いられている．このデータを用いて，まずは海洋と陸地を区分する

データの整備を行った．

GLCNMO 第 2 版の一分類項目である水部は，南極以外の地域については MODIS による画像を用いてリモートセンシング手法で水部を抽出した Hoan et al.（2012）の結果を使用して分類しており，南極部分については南極科学委員会（Scientific Committee on Antarctic Research. 以下「SCAR」という.）が作成した海岸線等のベクタデータをラスタ化して作成されている．

このように GLCNMO 第 2 版の水部データには，陸水と海水の両者が含まれており，その区別はされていない．このため今回の計算では，海水部と陸水部を機械的に区分する方法として，太平洋上の明らかに海水と考えられる任意の 1 メッシュを選択し，そこに隣接する縦横 4 メッシュのうち水部となっている箇所があればそこも海水であると再帰的に判定し，海水部分に隣接せず陸部で囲まれている残りの水部を陸水と定義することとした．

その結果, 例えば琵琶湖やオンタリオ湖（五大湖），カスピ海などは陸水部として区分され，東京湾や地中海，黒海などが海水部として適切に区分された．一方で，湖沼であるサロマ湖が海水部と区分されたように, 海洋に隣接し接続水路がある一部の湖沼や, 大規模河川の河口部などについては，海水部と区分された．また逆に，狭隘な海峡や湾口部で接続された一部の内海は, 陸水部として区分された．しかし, 全体的には概ね陸水部と海水部が適切に区分されており，今回は各緯度帯（10 度毎）の集計であることから，その影響は軽微であると判断し，上記のような機械的な区分方法を採用した．

こうして海水部と陸水部を区分した上で，水部以外の土地被覆分類項目（樹林・耕作地等）は全て陸部とし，これらを用いて全球の海陸データを作成した．

2.2 海陸の面積とその比の算出

地球楕円体における，赤道から緯度 φ の緯線までの緯度帯の表面積 $S(\varphi)$ は，

$$S(\varphi)=\pi a^2\left(\frac{1}{e}-e\right)\left(\frac{e\sin\varphi}{1-e^2\sin^2\varphi}+\tanh^{-1}(e\sin\varphi)\right)$$

で与えられる（国立天文台編，2012, p.579）．

ここで，a は地球楕円体の長半径，e は離心率である．今回は，前述のように GRS 80 楕円体を準拠楕円体として面積等を求めることとした．GRS 80 楕円体は 1979 年の国際測地学・地球物理学連合（International Union of Geodesy and Geophysics: IUGG）の総会で決議されたものであり（IUGG, 1980），

地球楕円体の長半径 $a=6.378137\times10^6$ (m),

扁平率 $f=1/298.257222101$

となっている．離心率 e と扁平率 f の関係は，

$$e=\sqrt{f(2-f)}$$

である．

GLCNMO 第 2 版のデータは，全球を 15 秒メッシュで区切ったデータであるが，各メッシュの表面積は，当該メッシュが存在する緯度によって異なる．緯度 φ_1 から緯度 φ_2 までの範囲における回転楕円体上の表面積は，上記式を用いて，

$$S(\varphi_2)-S(\varphi_1)$$

として求めることができる．今回は，GLCNMO 第 2 版の解像度に合わせ, 上記式を用いて 15 秒の緯度帯毎の面積を算出するとともに，前節で準備した海陸データを用いて 15 秒の緯度帯ごとに海洋及び陸地のピクセル数をカウントし，各緯度帯で面積を比例分配して海洋及び陸地の面積を求め，最後に集計を行った．本表と同様に 10 度ごとの各緯度帯で，1,000km^2 の桁まで集計して求められた海陸の面積とその比の結果は表-1 のとおりである．

2.3 求められた面積の誤差に関する考察

GLCNMO 第 2 版のデータは，WGS 84 を準拠楕円体として作成されており，今回計算に用いた回転楕円体である GRS 80 楕円体とは異なっている．しかし, この 2 つの回転楕円体の違いは離心率（扁平率）のわずかな違いのみであり，2 つの回転楕円体の全球表面積の差は 10^{-3}km^2 オーダーであることから，今回集計を行った 1,000km^2 の桁までの面積集計では誤差の範囲として無視できるほど小さいと考えられる．

また，GLCNMO 第 2 版のデータは，15 秒メッシュのラスタデータのため，海陸の境界部では，その状況に応じて陸地又は水部のどちらかに分類されているが，海陸の境界線（海岸線）が必ずしもメッシュ境界とは一致しないことから，海陸の分類が正確であったとしても，メッシュの範囲内で海岸線の位置誤差を内包している．このうち，海陸の分類誤差については，衛星画像の輝度値等から統計的に分類していることから，分類誤差も正規分布に従っていると考えられ，面積集計には直接影響を与えないと考えられる．また，位置誤差についても，今回使用した GLCNMO 第 2 版の 15 秒メッシュの各メッシュの面積が, 最も大きい赤道付近であっても約 0.25km^2 であることから, 本表と同様の 1,000km^2 の桁までの面積集計を行う上では十分に小さい誤差であり，無視できる程度であると考えられる．

3. 結果の比較

表-1 において，今回の結果と本表に示されている値を併記している．今回の結果と本表を比較したところ，80-70°N の緯度帯と，60-90°S の緯度帯にお

いて，海と陸の面積比の百分率（整数値）に違いがみられた．それ以外の緯度帯については，準拠楕円体の変更等もあるため面積は異なるものの，面積比については整数値の範囲で一致している．

このうち，80-70° N の緯度帯については，本表に示されている陸地及び海洋の面積の数値から求められる面積比が陸域 30%（29.7%），海洋 70%（70.3%）となり，今回求めた面積比と一致することから，過去に計算等を行った際の単純な誤りと考えられる．

一方，南極域（60-90° S）では，面積比に大きな違いが明らかになった．特に南緯 80 度以南（80-90° S）では，本表ではすべて陸地であるとしている（陸地が 100% となっている．）のに対して，今回の結果では 11% 程度は海洋となった．この違いの原因としては，南極における様々な科学調査が進み，特に棚氷の範囲等が明らかになってきたことが SCAR のデータに反映されているためと考えられる．SCAR の整備したベクタデータに含まれる棚氷の範囲については，海洋上に存在する氷と判断し，海洋として分類しており，その結果，今回の計算では南極域に海洋が存在する結果となっている．

この他，本表では，北半球と南半球で面積の合計値に違いが見られたが，今回の計算では面積の合計値は一致した．

4. まとめ

新たに整備した GLCNMO 第 2 版を用いて，理科年表に掲載されている「世界各緯度帯の海陸の面積とその比」の値を，一定の精度を確保しつつ，検証可能な形で再計算することができた．また，南極域における海洋の存在など，従来は理科年表に反映されていない事実を計算に入れることもできた．今回の結果が平成 26 年版の理科年表に反映されるよう，関係者等に修正等の依頼を行い，2013 年 11 月に発行された「理科年表　平成 26 年」に掲載されたところである．

理科年表には，今回取り上げた「世界各緯度帯の海陸の面積とその比」以外にも，最新の地球地図データを用いることで，更新や再計算等を行うことができる可能性がある情報が多く含まれている．今後，更なる地球地図データの活用について，引き続き検討していきたい．

謝　辞

本解析を実施するに当たり，御指導を頂いた千葉大学環境リモートセンシング研究センターの建石隆太郎教授に厚くお礼申し上げます．また，手法のアイデアときっかけを与えて頂いた応用地理部河瀬和重企画課長，解析に際して様々な有用なアドバイスを頂いた基本図情報部中村孝之国土基盤情報調整官にも厚くお礼申し上げます．

（公開日：平成 25 年 12 月 25 日）

参 考 文 献

国立天文台編（2012）：理科年表 平成 25 年，丸善，578-581.

Hoan, N. T., R. Tateishi, D. X. Phong and B. Johnson (2012): Global Water Mapping using MODIS Tasseled Cap Indexes, International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International, pp.7161-7164, DOI: 10.1109/IGARSS.2012.6352011.

IUGG (1980): Resolutions of XVII General Assembly of International Union of Geodesy and Geophysics as proposed by the International Association of Geodesy and endorsed by the International Union of Geodesy and Geophysics, Bulletin Géodésique, 54(3), pp.369-375, DOI: 10.1007/BF02521478.

表-1 世界各緯度帯の海陸の面積とその比

緯度	陸地 (10^6km^2)				海洋 (10^6km^2)			
	理科年表（平成 25 年）		地球地図（GLCNMO 第 2 版）		理科年表（平成 25 年）		地球地図（GLCNMO 第 2 版）	
90°-80° N	0.383	(10%)	0.407	(10%)	3.524	(90%)	3.502	(90%)
80 -70 〃	3.438	(27%)	3.494	(30%)	8.156	(73%)	8.103	(70%)
70 -60 〃	13.326	(71%)	13.352	(71%)	5.579	(29%)	5.558	(29%)
60 -50 〃	14.678	(57%)	14.636	(57%)	10.929	(43%)	10.977	(43%)
50 -40 〃	16.474	(52%)	16.457	(52%)	15.023	(48%)	15.046	(48%)
40 -30 〃	15.570	(43%)	15.622	(43%)	20.835	(57%)	20.790	(57%)
30 -20 〃	15.097	(38%)	15.113	(38%)	25.101	(62%)	25.093	(62%)
20 -10 〃	11.244	(26%)	11.249	(26%)	31.534	(74%)	31.538	(74%)
10 – 0 〃	10.068	(23%)	10.039	(23%)	34.016	(77%)	34.055	(77%)
0 -10 S	10.394	(24%)	10.399	(24%)	33.690	(76%)	33.695	(76%)
10 -20 〃	9.420	(22%)	9.433	(22%)	33.358	(78%)	33.355	(78%)
20 -30 〃	9.310	(23%)	9.314	(23%)	30.888	(77%)	30.893	(77%)
30 -40 〃	4.140	(11%)	4.146	(11%)	32.265	(89%)	32.266	(89%)
40 -50 〃	0.971	(3%)	0.991	(3%)	30.526	(97%)	30.512	(97%)
50 -60 〃	0.213	(1%)	0.216	(1%)	25.394	(99%)	25.396	(99%)
60 -70 〃	1.788	(9%)	1.601	(8%)	17.117	(91%)	17.309	(92%)
70 -80 〃	8.468	(73%)	7.295	(63%)	3.126	(27%)	4.302	(37%)
80 -90 〃	3.908	(100%)	3.477	(89%)	0.000	(0%)	0.431	(11%)
90 -0 N	100.278	(39.4%)	100.370	(39.4%)	154.695	(60.6%)	154.663	(60.6%)
0 -90 S	48.612	(19.0%)	46.874	(18.4%)	206.364	(81.0%)	208.159	(81.6%)
90N-90S	148.890	(29.2%)	147.244	(28.9%)	361.059	(70.8%)	362.822	(71.1%)