

# 多面体地球儀の作成

## Making a Polyhedral Globe

京都大学防災研究所 山田真澄 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所

Masumi Yamada, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University,  
Gokasho, Uji, 611-0011, Japan

### Abstract

This article provides a procedure to create a papercraft of the polyhedral globe. We made a papercraft with global seismicity for an outreach purpose. Earthquake epicenters were shown on the surface of the paper globe so that we can learn the global seismicity and plate tectonics with the three dimensional shape. This paper describes a method for calculating the latitude and longitude of the vertices of a polyhedron, which is necessary when projecting a map onto the polyhedron. The rhombic dodecahedron, rhombic triacontahedron, and rhombic enneacontahedron were used for the polyhedral globe. Using the script provided by this article, we can project any geophysical data on the earth and create an original papercraft for an outreach activity.

**Keywords** : Papercraft, Globe, Polyhedron, Origami, Seismicity

## 1 § 1. はじめに

2 本稿では地球物理学のアウトリーチ教材の作成を目的として、ペーパークラフトの地球儀を作成する方  
3 法を紹介する。紙を用いて球体の地球儀を作成するには、いくつかの方法がある。よく知られているのは、  
4 多角形(主に菱形)を繋げて作った部品を複数使って、互い違いに編み込むことにより、多面体を作成する  
5 方法である [例えば、ヴァルサー (2002)]。塚本 (2009a-d,2010a,b) は、組みひも多面体と称して、紙ひも  
6 のような材料を編み合わせて星形や球形の多面体を作成し、その作り方や型紙を紹介している。遠藤・別宮  
7 (2000) は、組みひも多面体の菱形三十面体を利用して地球儀を作成した。組みひも多面体でなく、通常  
8 多面体の展開図を利用した地球儀は、林 (2013) や Pedzich(2016), Tatham(2017) が存在する。

9 山田・後藤 (2013) は、菱形三十面体をはじめとして、菱形十二面体、菱形九十面体の3種類のペーパー  
10 クラフト地球儀を作成した (Photo 1)。これらの多面体は球体に近く、面がすべて菱形で構成されていて制  
11 作が比較的容易である。また、向かいあった辺同士が全て平行になっている多角形のみで構成されており、  
12 ゾーン多面体と呼ばれている。山田・後藤 (2013) のペーパークラフト地球儀の表面には地震の震源分布が  
13 描画されており、世界の地震活動やプレート境界が球面として理解できるようになっている。

14 球体の地球を多面体の表面に投影するためには、多面体の頂点の緯度経度の座標が必要となる。この頂点  
15 の座標および、地図を簡単に作成できる方法があれば、他の地図データをプロットして、新たなペーパーク  
16 ラフト地球儀を作成することが可能である。そこで、本稿では地球物理学のアウトリーチ教材の作成を目  
17 的として、菱形十二面体、菱形三十面体、菱形九十面体の3種類の多面体の頂点の緯度経度の計算方法と、  
18 ペーパークラフトの型紙の作り方について紹介する。なお、座標はすべて球面座標で、経度、緯度 (本稿で  
19 は地心緯度を用いる) の順に表記し、単位は度である。計算結果の経度が $-180^\circ$  から  $180^\circ$  に収まらない場合  
20 は、適宜  $360^\circ$  を加減して一般的な値に読み替える。

## 21 § 2. 菱形十二面体の頂点の座標

22 菱形十二面体は、ゾーン多面体の一種で、その中でも、構成面が全て合同な菱形をしている (等面菱形多  
23 面体と呼ばれる)。正六面体 (立方体) または正八面体の各面の中心を持ち上げ、隣り合う三角形同士が同一  
24 平面上となるようにした形となっている (Fig.1, Photo 1)。菱形の長い対角線の長さ : 短い対角線の長さ :  
25 辺の長さの比は、 $\sqrt{2} : 1 : \sqrt{3}$  となる (Fig.2(a))。  $1:\sqrt{2}$  は白銀比と呼ばれ、紙の縦横比などに使われる馴染  
26 みの深い比率である [塚本 (2012)]。

27 菱形十二面体の頂点は、正八面体 (Fig.1(a)) と正六面体 (Fig.1(b)) の頂点によって構成される。正八面体  
28 の6個の頂点 ( $A_1 - A_6$ ) が半径  $r$  の球に内接しているとする、正六面体の8個の頂点 ( $B_1 - B_8$ ) は、半  
29 径  $\sqrt{3}/2r$  の球に内接している。

30 この多面体の頂点の位置を求める。まず、北極点および南極点に、正八面体の頂点がくるようにする。

31 すると,  $A_1 - A_6$  の頂点は北極点  $A_1 : (0, 90)$ , 南極点  $A_6 : (0, -90)$ , および赤道上の 4 点,  $A_2 : (\theta, 0)$ ,  
32  $A_3 : (90 + \theta, 0)$ ,  $A_4 : (180 + \theta, 0)$ ,  $A_5 : (270 + \theta, 0)$  に来る.

33  $B_1 - B_8$  の頂点は, 経度は  $A_2 - A_5$  の頂点の間, 緯度は  $\arctan(1/\sqrt{2}) = 35.26^\circ$  となる (Fig.3(b)). 従って,  
34  $B_1, B_5 : (45 + \theta, \pm 35.26)$ ,  $B_2, B_6 : (135 + \theta, \pm 35.26)$ ,  $B_3, B_7 : (225 + \theta, \pm 35.26)$ ,  $B_4, B_8 : (315 + \theta, \pm 35.26)$   
35 となる.

36 菱形十二面体の頂点の緯度経度を Table 1 にまとめて示す. なお,  $\theta$  は任意の角度であるが, 日本を菱形  
37 の面の中心に持ってくるには,  $\theta = 45^\circ$  を使用すると良い.

### 38 § 3. 菱形三十面体の頂点の座標

39 菱形三十面体は, 等面菱形多面体の一種で, 正十二面体または正二十面体の各面の中心を持ち上げ, 隣り  
40 合う三角形同士が同一平面上となるようにした形である (Fig.4, Photo 1). 菱形の長い対角線の長さ : 短  
41 い対角線の長さ : 辺の長さの比は,  $\phi : 1 : \sqrt{1 + \phi^2}$  となる (Fig.2(b)). ここで,  $\phi = (1 + \sqrt{5})/2$  (黄金比)  
42 であり, 上の比率は,  $1.618 : 1 : 0.951$  となる [塚本, 2012].

43 菱形三十面体の頂点は, 正二十面体 (Fig.4(a)) と正十二面体 (Fig.4(b)) の頂点によって構成される. 正二  
44 十面体の 12 個の頂点 ( $A_1 - A_{12}$ ) が半径  $r$  の球に内接しているとする, 正十二面体の 20 個の頂点は, 半  
45 径  $\sqrt{6}r/\sqrt{5 + \sqrt{5}} (= 0.91r)$  の球に内接している [大矢建正のページ (2019)].

46 まずは正二十面体の頂点の座標を求める. 北極点および南極点は, 正二十面体の頂点に来るものとする.  
47 すると,  $A_1 - A_{12}$  の頂点は北極点  $A_1 : (0, 90)$ , 南極点  $A_{12} : (0, -90)$ , 北半球の 5 点 ( $A_2 - A_6$ ), 南半球の  
48 5 点 ( $A_7 - A_{11}$ ) に来ることになる.

49 正二十面体を真北から見ると, 正五角形となる. 正五角形の中心から各頂点までの距離を 1 とすると, 正  
50 五角形の中心から底辺までの距離は  $\cos 36^\circ = (1 + \sqrt{5})/4$ , 正五角形の辺の長さ (つまり, 正二十面体の辺  
51 の長さ) は,  $2 \sin 36^\circ = \sqrt{10 - 2\sqrt{5}}/2$  である. Fig.5(a) の  $A_2$  の緯度を求めるため,  $A_2$  から最も近い南半  
52 球の頂点,  $A_7$  と  $A_{11}$  の中点を  $Y$  とする.  $A_2$  から地軸までの距離は 1 であり,  $Y$  と地軸の距離は  $\cos 36^\circ$ ,  
53  $A_2Y$  の長さは, 正三角形の頂点から底辺までの距離なので,  $\sqrt{3} \sin 36^\circ$  となる. 三平方の定理を適用して  
54  $A_2$  と赤道面の距離を求めると  $1/2$  となり,  $A_2$  の緯度は  $\arctan(1/2) = 26.57^\circ$  となる.

55 経度は  $360^\circ$  を 10 等分して互い違いに配置すればよい. 従って, 北半球の頂点の経度は,  $A_2 - A_6 :$   
56  $72n + \theta (n = 0, 1, 2, 3, 4)$ , 南半球の経度は,  $A_7 - A_{11} : 72n + 36 + \theta (n = 0, 1, 2, 3, 4)$  となる.

57 次に正十二面体の頂点の座標を求める. 正二十面体の頂点を北極点と南極点に配置したので, 正十二面体  
58 の上下の面は水平となる. 頂点は 4 つの緯度に分布することになり, 最も北極に近い 5 点 ( $B_1 - B_5$ ), 赤道  
59 寄りの北半球の 5 点 ( $B_6 - B_{10}$ ), 赤道寄りの南半球の 5 点 ( $B_{11} - B_{15}$ ), 最も南極に近い 5 点 ( $B_{16} - B_{20}$ )  
60 となる. 正十二面体の中心と, 頂点  $B_1, B_6$  を通るような鉛直断面は Fig.5(b) のように表される.

61 この断面図から、 $B_1$  と  $B_6$  の緯度を求める。 $B_1$  から地軸までの距離 (正五角形の頂点から中心までの距  
62 離) を 1 とすると、赤道面から  $B_1$  までの鉛直距離は  $(\sqrt{5} + 3)/4$  となる (頂点の高さの求め方は、大矢建  
63 正のページ (2019) を参照)。 $B_1$  の緯度は  $\arctan((\sqrt{5} + 3)/4) = 52.62^\circ$  となる。次に、 $B_6$  の緯度を求め  
64 る。Fig.5(b) より  $OB_1$  と  $OB_6$  の長さは等しく、 $\sqrt{30 + 6\sqrt{5}}/4$  である。赤道面から  $B_6$  までの鉛直距離は  
65  $(\sqrt{5} - 1)/4$  なので、 $B_6$  の緯度は  $\arcsin((\sqrt{5} - 1)/\sqrt{30 + 6\sqrt{5}}) = 10.81^\circ$  となる。

66 正二十面体の頂点の経度は、 $B_1 - B_5$  と  $B_6 - B_{10}$  は  $A_7 - A_{11}$  と等しく、 $B_{11} - B_{15}$  と  $B_{16} - B_{20}$  は  
67  $A_2 - A_6$  と等しい。菱形三十面体の頂点の緯度経度を Table 2 にまとめて示す。この多面体の場合は、日本  
68 を菱形の面の中央に配置するためには、 $\theta = 27^\circ$  を使用すると良い。

#### 69 § 4. 菱形九十面体の頂点の座標

70 菱形九十面体は、等面菱形多面体ではなく、異なる二種類の菱形を組み合わせてできるゾーン多面体  
71 である。太い菱形の対角線の比率は  $1 : \sqrt{2}$  (菱形十二面体の構成面と相似)、細い菱形の対角線の比率は  
72  $1 : (3 + \sqrt{5})/2$  (黄金比の二乗) となっている (Fig.2(c)) [塚本, 2012]。

73 菱形九十面体の頂点は、北半球だけで 46 個存在し緯度は 8 通りである。北から順に、緯度 A, B, C, D,  
74 E, F, G, H と呼ぶことにする (Fig.6)。このうち、(1) 緯度 C, G は菱形三十面体に含まれる正十二面体  
75 の頂点 (20 点)、(2) 緯度 A, F は菱形三十面体に含まれる正二十面体の頂点を中心方向に動かした点 (12  
76 点)、(3) 緯度 B, D, E, H は菱形三十面体の各面に新たにとった 2 点 ( $2 \times 30 = 60$  点) である。Fig.7 に菱形三  
77 十面体の頂点 (灰色丸印) と菱形九十面体の頂点 (黒色丸印) の関係を示す。(3) の菱形三十面体の面上の点  
78 は、Fig.7 で  $B_1, B_2, D_1, D_2, E_1, E_2$  で示される点である。 $B_1$  は、菱形三十面体の菱形の長い方の対  
79 角線上で、かつ影を付けた四角形  $A_1B_1C_2B_2$  が菱形となるような点である。 $A_1$  は  $B_1C_2B_2$  と同一平面上  
80 にあり、かつ菱形三十面体の頂点よりも少し中心に動かした点である。

81 それぞれの緯度に存在する頂点の緯度と経度の求め方を説明する。南半球も同様に計算できるので、ここ  
82 では北半球のみを説明する。

##### 83 4.1 緯度 A

84 緯度 A に存在する頂点は 1 つだけであり、北極点 (0,90) である。

##### 85 4.2 緯度 C と緯度 G

86 緯度 C と緯度 G に存在する頂点は 5 つずつで、正十二面体の頂点の位置と同じである。従って、緯度 C  
87 は  $52.62^\circ$ 、緯度 G は  $10.81^\circ$  となる。経度は  $72n + 36 + \theta$  ( $n = 0, 1, 2, 3, 4$ ) となる。

##### 88 4.3 緯度 B と緯度 D と緯度 F

89 緯度 B と緯度 D と緯度 F に存在する頂点の緯度を求める。各頂点は、同じ経度に並んでいるので、菱形九十  
90 面体の中心と頂点を通るような断面を Fig.8 に示す。断面の位置は Fig.6 にグレーで示している。Fig.2(c) に

91 示された菱形の対角線の長さより、 $GC : CA : AB : BD : DF$  の比率は、 $(\sqrt{5}+1) : 2\sqrt{2} : \sqrt{3} : (\sqrt{5}-1) : \sqrt{3}$   
 92 となる。Fig.8に示すように、正十二面体の断面のCから地軸までの距離を1とすると、 $GC$ の長さは $2 \sin 36^\circ$   
 93 となる。 $x = 2 \sin 36^\circ / (\sqrt{5}+1)$ とおけば、 $GC, CA, AB, BD, DF$ の長さは、 $(\sqrt{5}+1)x, 2\sqrt{2}x, \sqrt{3}x,$   
 94  $(\sqrt{5}-1)x, \sqrt{3}x$ で示される。

95 まず、Fig.8に示されている $\theta_1$ と $\theta_2$ を求める。 $BD$ の中点を $Z$ とすると、点 $Z$ は緯度Cの隣り合う頂  
 96 点を結んだ中点と等しく、 $OZ$ は $BD$ と垂直に交わる。Fig.8より $OZ$ の長さは $\sqrt{5+2\sqrt{5}}/2$ である。ま  
 97 た、 $OB = OD$ である。 $\angle BOZ$ は $\arctan(BD/(2OZ))$ 、 $\angle AOZ$ は、 $\arctan((1+\sqrt{5})/(3+\sqrt{5}))$ である。  
 98  $\theta_1 = \angle AOZ - \angle BOZ$ 、 $\theta_2 = 2\angle BOZ$ によって、緯度Bと緯度Dが求められる。 $AB$ の長さ $DF$ の長さ  
 99 は等しく $OA = OF$ 、 $OB = OD$ なので、 $\angle AOB = \angle DOF$ となり、緯度Fも求められる。

100 以上の計算式を解くと、緯度Bは $66.58^\circ$ 、緯度Dは $49.98^\circ$ 、緯度Fは $26.57^\circ$ となる。経度は $72n + \theta(n =$   
 101  $0, 1, 2, 3, 4)$ となる。

#### 102 4.4 緯度 E

103 緯度Eの座標は、経度も緯度も単純ではない。まず経度から求める。緯度Eのレベルで等緯度線に沿って  
 104 地球を輪切りにしたと考える。その断面は、Fig.9(a)のようになり、 $E_1E_2$ の長さは細い菱形の長い方の対角  
 105 線と等しく $(\sqrt{5}+1)x$ 、 $E_2E_3$ の長さは細い菱形の短い方の対角線と等しく $(\sqrt{5}-1)x$ である。従って、 $PE_2$   
 106 を斜辺とする2つの直角三角形を考えると、 $\sin \theta_1 : \sin \theta_2 = (\sqrt{5}+1) : (\sqrt{5}-1)$ となる。 $\theta_1 + \theta_2 = 36^\circ$ な  
 107 ので、加法定理を使うと、 $\sin \theta_2 = \sin(36^\circ - \theta_1) = \sin 36^\circ \cos \theta_1 - \cos 36^\circ \sin \theta_1 = (\sqrt{5}-1)/(\sqrt{5}+1) \sin \theta_1$   
 108 である。これを $\theta_1$ について解くと、 $\theta_1 = 26.27^\circ$ となる。従って、経度は $72n + \theta \pm 26.27^\circ (n = 0, 1, 2, 3, 4)$   
 109 となる。

110 次に、緯度を求める。Fig.9(b)より、緯度は $\arccos(PE_1/OE_1)$ である。 $PE_1$ の長さは、Fig.9(a)より  
 111  $E_1E_2/(2 \sin \theta_1)$ 、 $OE_1$ の長さは、Fig.6から分かるようにFig.8の $OB$ と等しく、 $OB = \sqrt{OZ^2 + BZ^2}$ で  
 112 ある。以上を解くと、緯度Eは $31.35^\circ$ となる。

#### 113 4.5 緯度 H

114 緯度Hの座標の求め方は、緯度Eと同様である。Fig.9(c)の $H_1H_2$ の長さは、太い菱形の短い方の対角線  
 115 と等しく、 $2x$ である。 $H_2H_3$ の長さは、緯度Dの等緯度線で輪切りにした時に現れる五角形の辺の長さ $OD$ と等  
 116 しいので、 $OD \times 2 \sin 36^\circ \cos 49.98^\circ$ となる。この2つの長さを利用して緯度Eと同様に解くと、 $\theta_1 = 13.61$   
 117 となる。従って、経度は $72n + \theta \pm 13.61^\circ (n = 0, 1, 2, 3, 4)$ となる。

118 緯度の求め方も、緯度Eの場合と同様である(Fig.9(d))。緯度Hは $7.05^\circ$ となる。

#### 119 4.6 菱形九十面体のまとめ

120 菱形九十面体の頂点の緯度経度を Table 3 にまとめて示す. なお, 日本を菱形の面の中央に配置するため  
121 に,  $\theta = 55^\circ$  を使用すると良い.

122 菱形九十面体の頂点は3種類の外接球上に存在する. Fig.8のように頂点Cから地軸までの距離を1とおく  
123 と, それぞれの外接球の半径は以下のように求められる. (1)緯度C, G: Fig.8より,  $OC = \sqrt{30 + 6\sqrt{5}}/4 =$   
124 1.647. (2)緯度A, F: Fig.8より,  $OA = OB \cos \theta_1 + \sqrt{AB^2 - (OB \sin \theta_1)^2} = 1.545$ . (3)緯度B, D, E, H: 緯  
125 度Eの算出で求めた通り,  $OB = \sqrt{OZ^2 + BZ^2} = 1.555$ . 外接球の半径の比率は, (1):(2):(3)=1:0.938:0.944  
126 となる.

127 このように, 菱形九十面体の頂点は単一の外接球上に存在するわけではないが, 計算の簡略化のため, 頂  
128 点の緯度経度を求めた後は, 単一の外接球に接していると仮定して投影を行う.

#### 129 §5. 型紙の作成

130 菱形十二面体, 菱形三十面体, 菱形九十面体のすべての頂点の緯度経度が求められたので, これを元に菱  
131 形の地図を作成する. 作図には Generic Mapping Tool(GMT)(Wessel and Smith, 1991)バージョン5を用  
132 いた. 各多面体の頂点は, 1つの外接球に接している訳ではなく, わずかに中心までの半径が異なる. そこ  
133 で, ひずみの影響が小さくなるように, 心射図法を用いた. 心射図法は地球の表面に光源を置き, 地球の表  
134 面を裏側から平面に投影させる図法である. 投影させる領域が広いときは端の方でひずみが大きくなるが,  
135 1つ1つの菱形の領域が非常に狭いため, 投影によるひずみは十分小さいと考えられる. 投影中心は菱形の  
136 対角線を構成する2つの頂点の経度・緯度の平均値を使用した.

137 地図の描画に使用した GMT スクリプトを紹介する. それぞれの多面体毎に, 以下のファイルが用意され  
138 ている. ファイル名の\*\*の中には, 12, 30, 90 のいずれかの数字が入る.

- 139 1. 地図を描画する GMT スクリプト (テキスト形式, ファイル名:map\*\*.tcsh)
- 140 2. 図面を描画する GMT スクリプト (テキスト形式, ファイル名:pattern\*\*.tcsh)
- 141 3. 頂点の緯度経度の座標テーブル (テキスト形式, ファイル名:in\_xy\*\*.txt)
- 142 4. map\*\*.tcsh の出力画像 (PS 形式, ファイル名:out\_map\*\*.ps)
- 143 5. pattern\*\*.tcsh の出力画像 (png 形式, ファイル名:out\_pattern\*\*.png)
- 144 6. 多面体の型紙 (PDF 形式, ファイル名:frame\*\*.pdf)
- 145 7. 番号が書いてある型紙 (png 画像, ファイル名:number\*\*.png)

146 これらのファイルは, 本稿の電子付録として提供されている. また, ペーパークラフト地球儀のウェブ  
147 サイトからもダウンロード可能である [京都大学防災研究所地震防災研究部門 (2013)]. GMT スクリプト  
148 は, tcsh を使って書かれており, 一部 awk も利用している. (2) のスクリプトは ImageMagick も使用して

149 いる。スクリプトの中に、「plot data (if any)」と書かれている部分があるので、ここに任意のデータをプ  
150 ロットする GMT コマンドを挿入する。頂点の緯度経度の座標テーブルは、左から投影中心の経度・緯度、  
151 頂点 1 の経度・緯度、頂点 2 の経度・緯度、頂点 3 の経度・緯度、頂点 4 の経度・緯度、頂点 1 の経度・緯  
152 度の順に書かれている。

153 ペーパークラフト地球儀を作成する場合には、2 種類の方法がある。解像度を気にしない場合には、(2)  
154 のスクリプトを使用すると A4 サイズの PNG 形式の型紙が作成できる。この場合は、地図を回転したりト  
155 リミングしたりする必要はなく、印刷して青線で切り取りそのまま組み立てることができる。

156 PS 形式で印刷したりトムソン加工をする場合には、(1) のスクリプトを使用する。まず任意のデータを  
157 プロットした PS 形式の地図を作成する。出力される地図には番号と菱形の枠が書かれている。地図を菱形  
158 でトリミングし、番号が書いてある型紙 (7) を参考にして回転させる。その後、多面体の型紙 (6) 上に配置  
159 する。場所を間違えると地球儀が完成しないので、地図を配置した後に一度組み立てて確認し、向きに誤り  
160 がないかチェックすると良い。

## 161 § 6. ペーパークラフトの活用例

162 本稿で作成したペーパークラフト地球儀に地震の震源分布をプロットしたものをホームページ上で公開し  
163 ている [京都大学防災研究所地震防災研究部門 (2013)]。地震の震源分布が球体に描画されており、世界の  
164 地震活動やプレート境界が球面として理解できるようになっている。また、解説用のスライドやガイドブッ  
165 クも併せて掲載されているので、授業やアウトリーチ活動の教材の一環として利用することも可能である。  
166 筆者らはこれまでに中学の地理授業で使用したり、防災に関する講演会や大学のオープンキャンパスで使用  
167 した。ペーパークラフトを学生に組み立てさせた後 (30 分程度)、スライドを利用して地震活動やテクトニ  
168 クスの解説を行った。

169 ペーパークラフト地球儀は、これまで (2020 年 1 月) に国内から 250 件、海外から 50 件程度のダウンロード  
170 ドがあった。国内の利用対象は小学生 27%、中学生 26%と合わせて半数以上を占め、その次に社会人 22%、  
171 高校生 18%という内訳であった。また、使用目的は教育が 60%と最も多く、次が趣味で 29%、防災啓発活  
172 動が 12%であった。かなり専門的な内容にも関わらず、小中学生が利用対象となっており、授業の教材と  
173 して使われていると考えられる。自由回答欄には、算数、理科、地学、社会、地理の授業で使用するという  
174 コメントもあった。

175 海外からのダウンロードは件数は少ないものの、利用対象者は概ね日本国内と同じで、小中高生で 7 割を  
176 占めており、授業に使うという使用目的が多かった。ダウンロードが複数あった国はアメリカ、台湾、スペ  
177 イン、タイ、韓国と地震国が多かった。他にアジアから中国、香港、フィリピン、シンガポール、イラン、  
178 キルギスタン、トルクメニスタンから 1 件ずつダウンロードがあった。その他は、オーストラリア、フラン

179 ス, ドイツ, ブラジル, アルゼンチンから 1 件ずつダウンロードがあった.

## 180 § 7. まとめ

181 本稿では, 組みひも多面体の型紙と GMT スクリプトを利用した, 多面体地球儀の作成方法を紹介した.  
182 組みひも多面体の作り方自体は広く知られているが, 地図を投影するためには各構成面の緯度経度が必要  
183 となり, その計算は面倒である. 本稿で提供するスクリプトと緯度経度データを使用することにより, 任意  
184 のデータを地球上に投影し, ペーパークラフトを作成することが可能である. 今後, 様々なデータを描画し  
185 たペーパークラフト地球儀が作成され, アウトリーチ活動に利用されることを期待する.

## 186 § 8. 謝辞

187 京都大学人間・環境学研究科 (当時) の塚本靖之氏には多面体の型紙を提供して頂いたり, アドバイスを  
188 いただいたりして大変お世話になりました. また京都大学防災研究所の後藤浩之先生にはペーパークラフ  
189 ト地球儀の作成に多大なご協力をいただきました. 編集者および 2 名の査読者には大変有益なコメントを  
190 いただきました. 査読者の 1 名には, ImageMagick を使用する効率的なスクリプトをご紹介いただきまし  
191 た. 記して謝意を表します.

## 192 文献

193 ヴァルサー, 2002, 黄金分割, 蟹江幸博訳, 日本評論社.

194 Wessel, P. and W. H. F. Smith, 1991, Free soft-ware helps map and display data, *EOS Trans.*, AGU, 72,  
195 441.

196 遠藤裕・別宮利昭, 2000, 木の結晶・紙の地球 ガジェットボックス, エクスプランテ.

197 大 矢 建 正 の ペ ー ジ (数 学 ,  
198 数楽 & プログラム), 2019, 正多面体, < <http://ooya-takemasa.thick.jp/Suugaku/Seitamentai.pdf> >  
199 , (参照 2020-01-24).

200 京都大学防災研究所地震防災研究部門, 2013, 切って編んで学ぶ ペーパークラフト地球儀 <  
201 <http://www.eqh.dpri.kyoto-u.ac.jp/src/paper/index.htm> >, (参照 2020-01-24).

202 Tatham, S., 2017, Printing Pictures on the Surface of Polyhedra, Generating a polyhedral globe, <  
203 <https://www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/polypics/globe.html> >, (参照 2020-01-24).

204 塚本靖之, 2009a, plaited polyhedra (編まれた多面体) No.1, 京都大学メールマガジン Vol.35 2009 年 5 月  
205 22 日 < [http://www.kyoto-u.ac.jp/m\\_magazine/back\\_n/vol\\_35.htm](http://www.kyoto-u.ac.jp/m_magazine/back_n/vol_35.htm) >, (参照 2020-01-24).

206 塚本靖之, 2009b, plaited polyhedra (編まれた多面体) No.2, 京都大学メールマガジン Vol.37 2009 年 7 月  
207 24 日 < [http://www.kyoto-u.ac.jp/m\\_magazine/back\\_n/vol\\_37.htm](http://www.kyoto-u.ac.jp/m_magazine/back_n/vol_37.htm) >, (参照 2020-01-24).

- 208 塚本靖之, 2009c, plaited polyhedra (編まれた多面体) No.3, 京都大学メールマガジン Vol.39 2009年9月  
209 25日 < [http://www.kyoto-u.ac.jp/m\\_magazine/back\\_n/vol\\_39.htm](http://www.kyoto-u.ac.jp/m_magazine/back_n/vol_39.htm) >, (参照 2020-01-24).
- 210 塚本靖之, 2009d, plaited polyhedra (編まれた多面体) No.4, 京都大学メールマガジン Vol.41 2009年11月  
211 20日 < [http://www.kyoto-u.ac.jp/m\\_magazine/back\\_n/vol\\_41.htm](http://www.kyoto-u.ac.jp/m_magazine/back_n/vol_41.htm) >, (参照 2020-01-24).
- 212 塚本靖之, 2010a, plaited polyhedra (編まれた多面体) No.5, 京都大学メールマガジン Vol.43 2010年1月  
213 22日 < [http://www.kyoto-u.ac.jp/m\\_magazine/back\\_n/vol\\_43.htm](http://www.kyoto-u.ac.jp/m_magazine/back_n/vol_43.htm) >, (参照 2020-01-24).
- 214 塚本靖之, 2010b, plaited polyhedra (編まれた多面体) No.6, 京都大学メールマガジン Vol.45 2010年3月  
215 26日 < [http://www.kyoto-u.ac.jp/m\\_magazine/back\\_n/vol\\_45.htm](http://www.kyoto-u.ac.jp/m_magazine/back_n/vol_45.htm) >, (参照 2020-01-24).
- 216 塚本靖之, 2012, 非連結な実現空間を持つ有向マトロイド, 第9回 城崎新人セミナー, 兵庫県豊岡市.
- 217 林圭祐, 2013, 球面の正多面体への投影, 大阪工業大学 情報科学部 情報システム学科 卒業研究,  
218 < [https://www.oit.ac.jp/is/shinkai/seminar/thesis/2013hayashi/2013\\_Bthesis\\_hayashi.pdf](https://www.oit.ac.jp/is/shinkai/seminar/thesis/2013hayashi/2013_Bthesis_hayashi.pdf) >, (参照  
219 2020-01-24).
- 220 Pedzich, P., 2016, Image of the World on polyhedral maps and globes, Polish Cartographical Review, 48,  
221 4, pp.197-210.
- 222 山田真澄・後藤浩之, 2013, 地震学の魅力を伝えるアウトリーチコンテンツの作成, 日本地震学会秋季大会,  
223 神奈川県横浜市.

224 **Captions**

225 Fig.1 (a) Regular octahedron and (b) regular hexahedron in the rhombic dodecahedron.

226 Fig.2 Scale of the rhombus for (a) rhombic dodecahedron, (b) rhombic triacontahedron, and (c) rhombic  
227 enneacontahedron.

228 Fig.3 Vertical section of the rhombic dodecahedron (a) at the vertex of the regular octahedron and (b)  
229 at the vertex of the regular hexahedron.

230 Fig.4 (a) Regular icosahedron and (b) regular dodecahedron in the rhombic triacontahedron.

231 Fig.5 Vertical section of the rhombic triacontahedron (a) at the vertex of the regular icosahedron and (b)  
232 at the vertex of the regular dodecahedron.

233 Fig.6 Rhombic enneacontahedron and vertices at each latitude.

234 Fig.7 Relationship between the vertices of the rhombic enneacontahedron (black circles) and rhombic  
235 triacontahedron (gray circles).

236 Fig.8 Vertical section of the rhombic enneacontahedron.

237 Fig.9 (a) Horizontal section at the latitude E and (b) vertical section. (c) Horizontal section at the  
238 latitude H and (d) vertical section.

239 Photo 1 Papercraft globes.

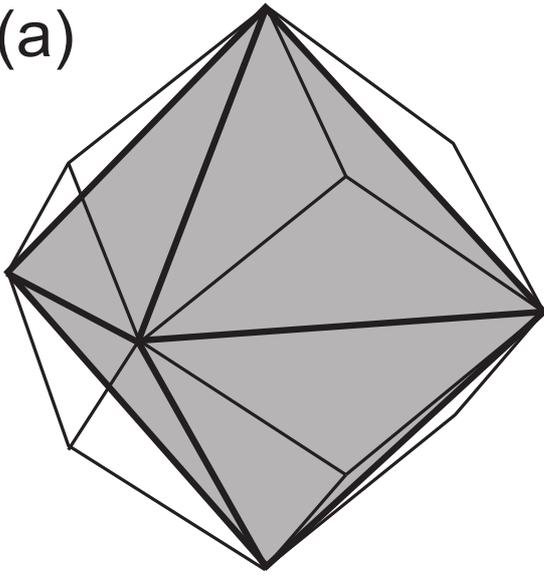
240 Table 1 Coordinates of the rhombic dodecahedron.

<sup>241</sup> Table 2 Coordinates of the rhombic triacontahedron.

<sup>242</sup> Table 3 Coordinates of the rhombic enneacontahedron.

Figures

(a)



(b)

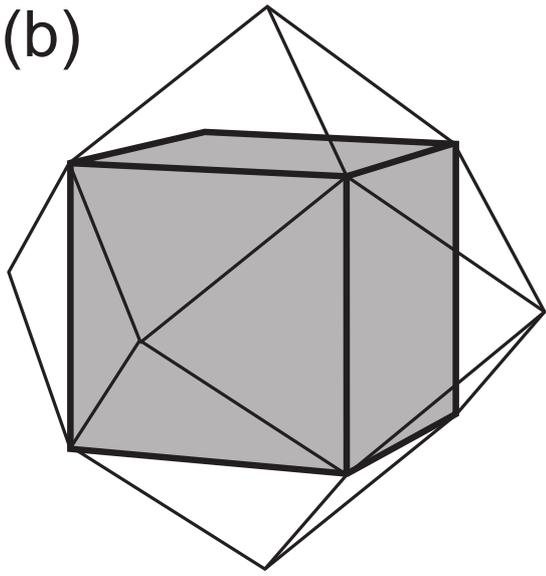


Fig.1

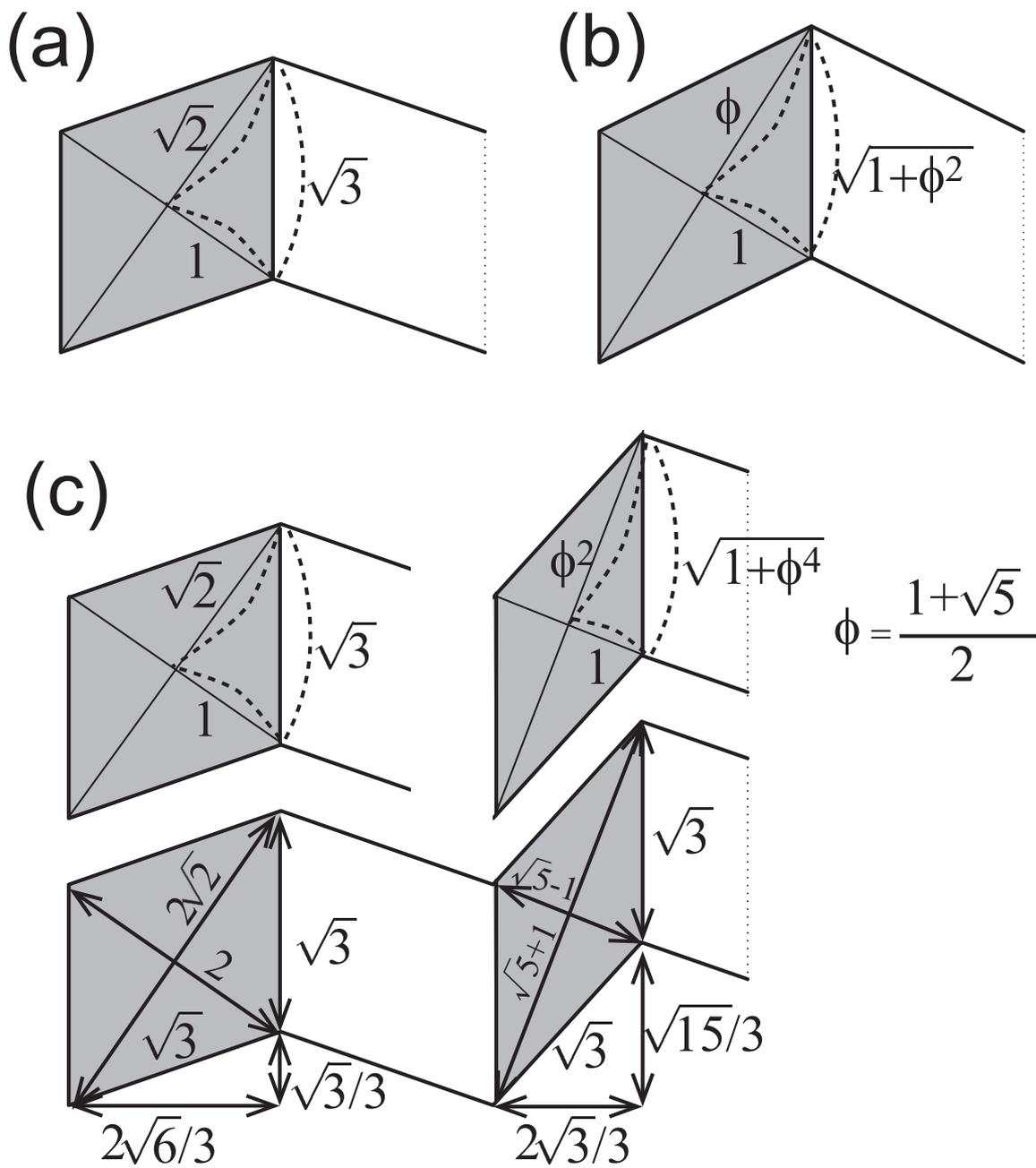


Fig.2

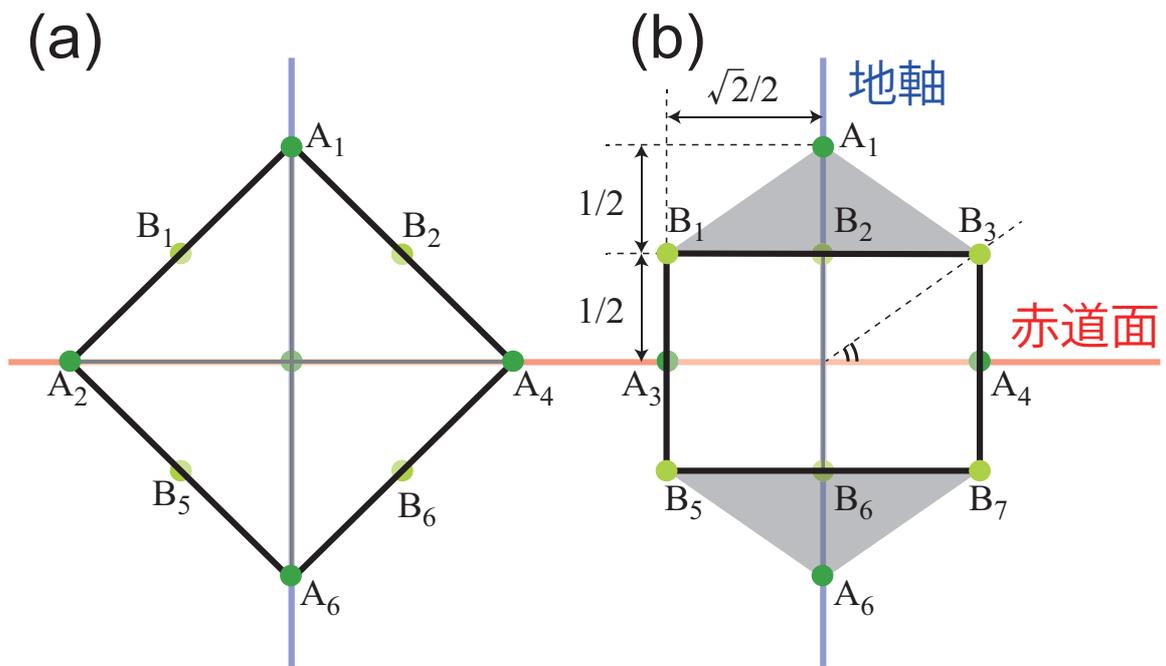
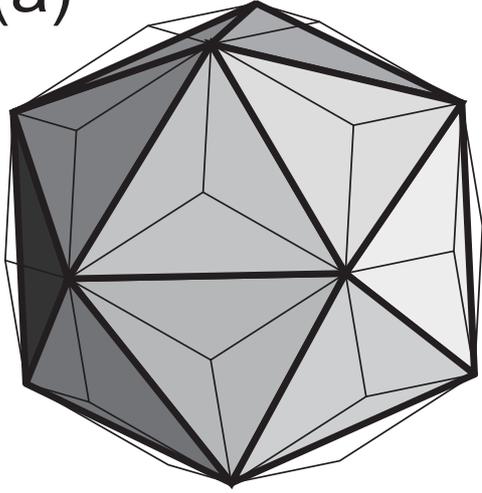


Fig.3

(a)



(b)

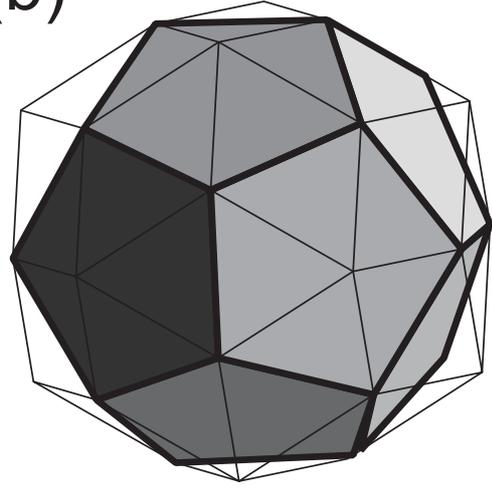


Fig.4

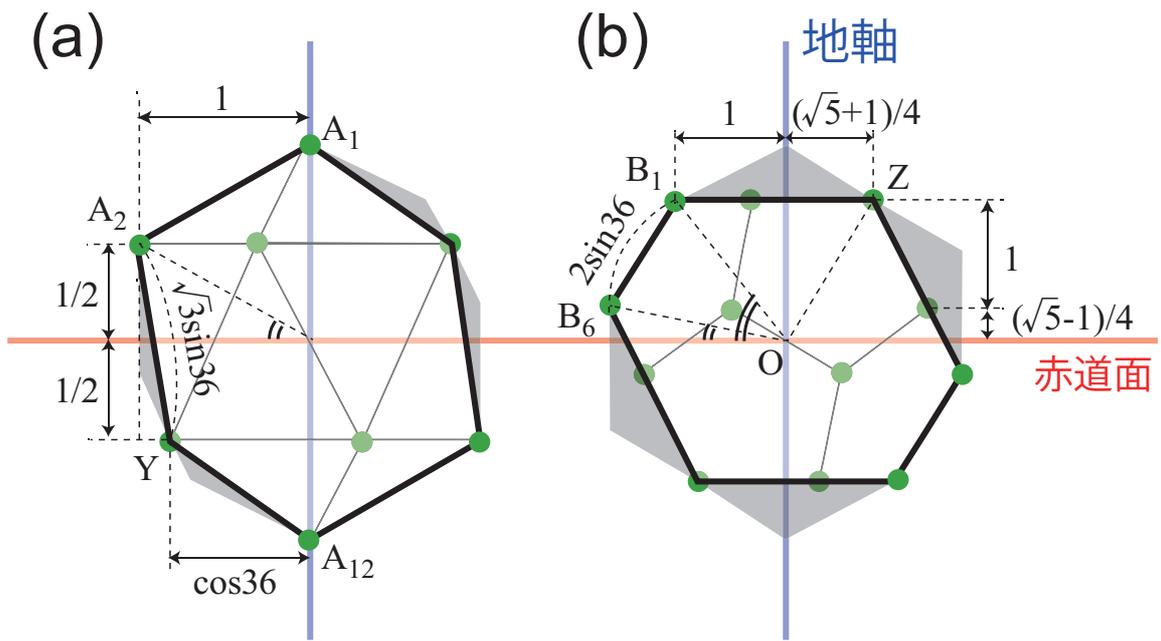


Fig.5

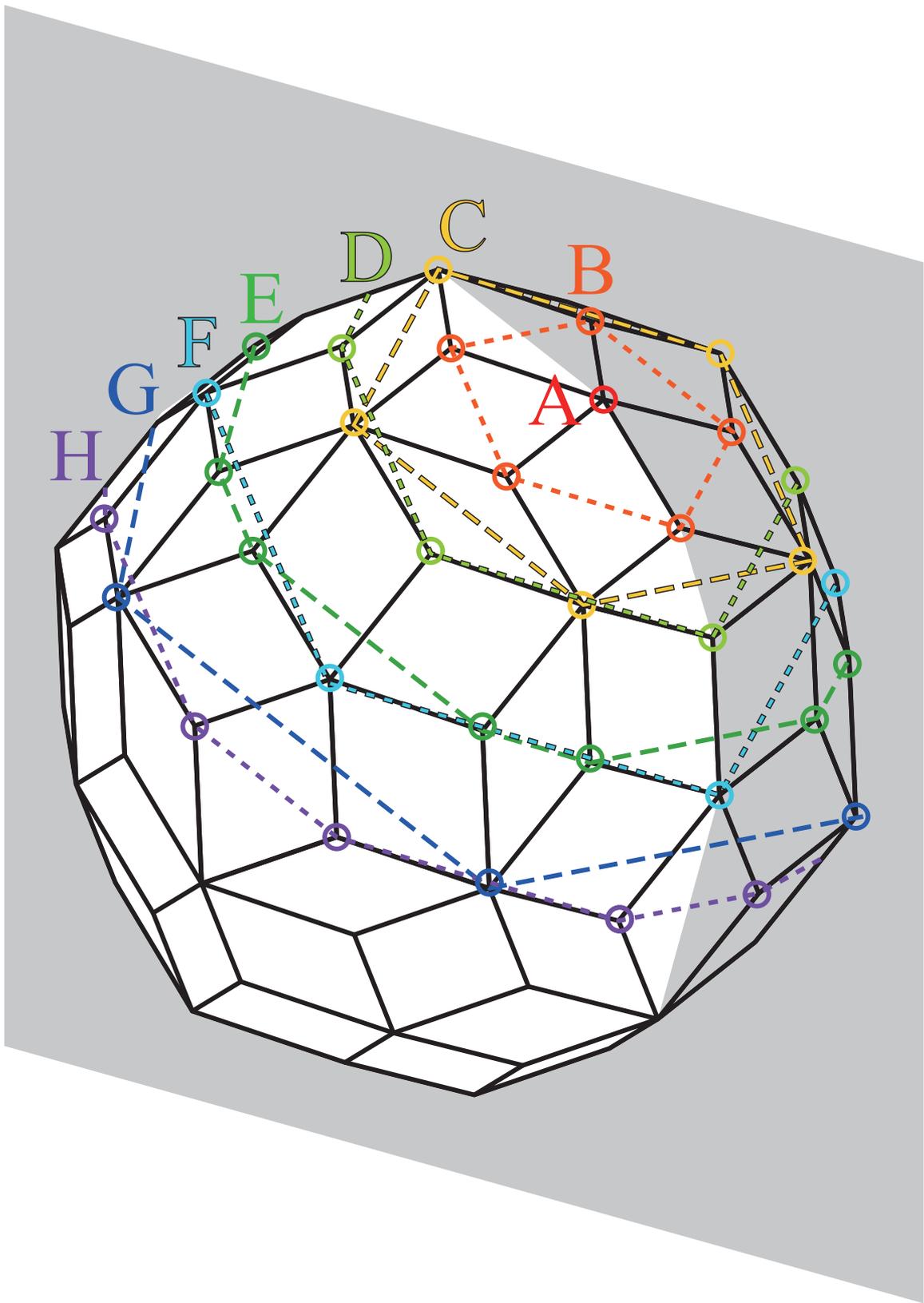


Fig.6

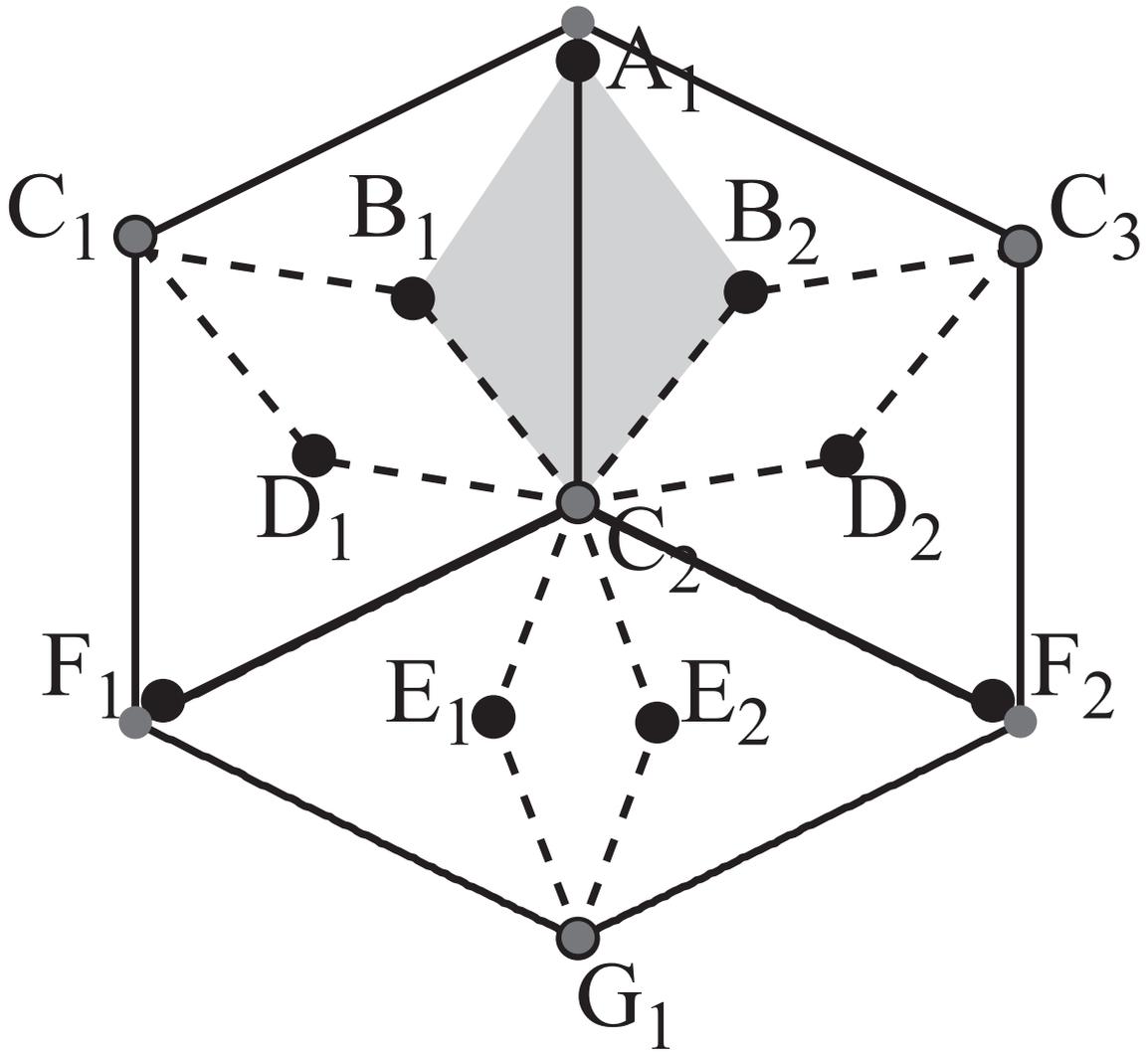


Fig.7

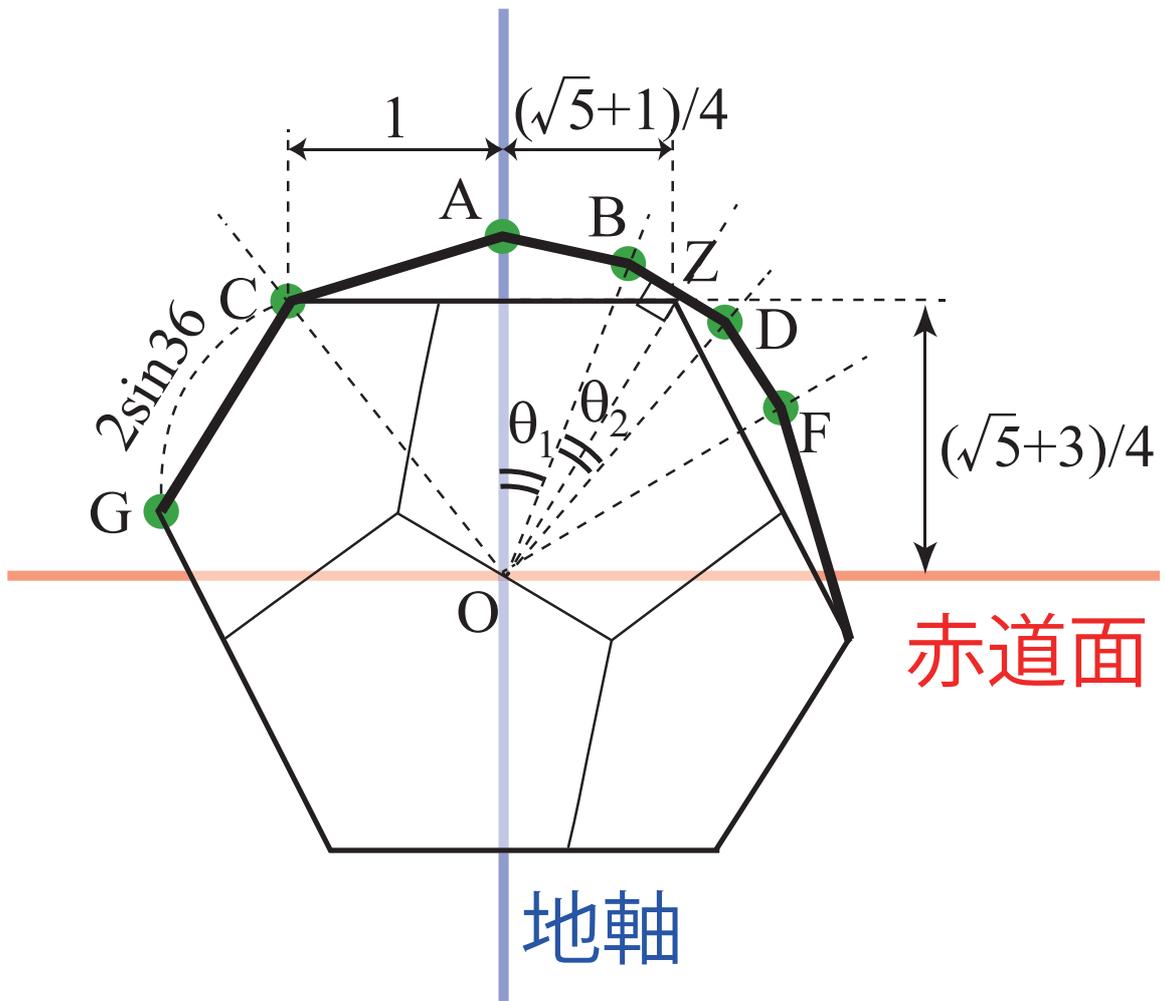


Fig.8

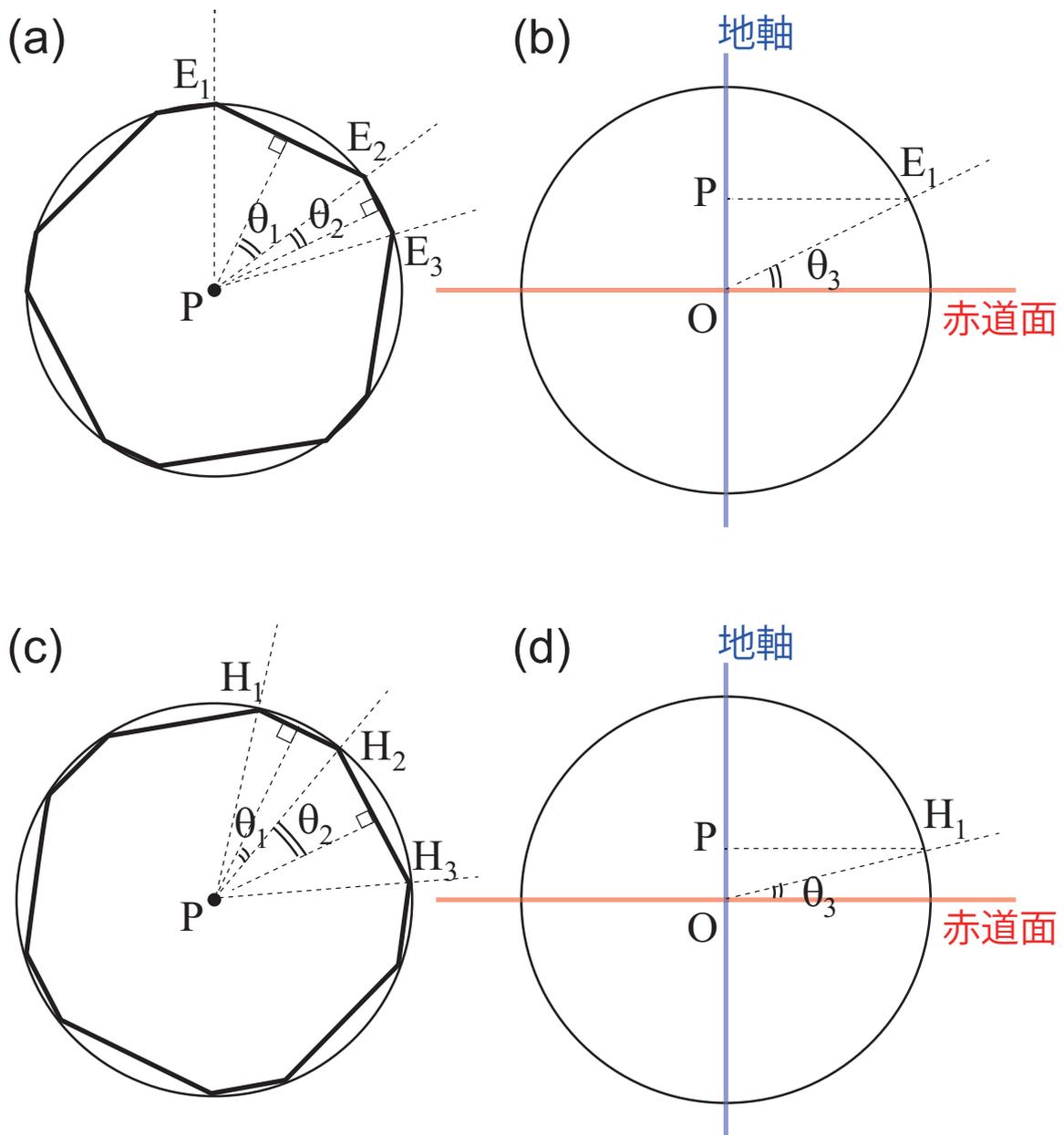


Fig.9



Photo 1

## Tables

Table 1

Vertices	Lat.	Lon. ( $n = 0, 1, 2, 3$ )
$A_1$	90	0
$B_{1-4}$	35.26	$90n + 45 + \theta$
$A_{2-5}$	0	$90n + \theta$
$B_{5-8}$	-35.26	$90n + 45 + \theta$
$A_6$	-90	0

Table 2

Vertices	Lat.	Lon. ( $n = 0, 1, 2, 3, 4$ )
$A_1$	90	0
$B_{1-5}$	52.62	$72n + 36 + \theta$
$A_{2-6}$	26.57	$72n + \theta$
$B_{6-10}$	10.81	$72n + 36 + \theta$
$B_{11-15}$	-10.81	$72n + \theta$
$A_{7-11}$	-26.57	$72n + 36 + \theta$
$B_{16-20}$	-52.62	$72n + \theta$
$A_{12}$	-90	0

Table 3

Vertices	Lat.	Lon. ( $n = 0, 1, 2, 3, 4$ )
$A_1$	90	0
$B_{1-5}$	66.58	$72n + \theta$
$C_{1-5}$	52.62	$72n + 36 + \theta$
$D_{1-5}$	49.98	$72n + \theta$
$E_{1-10}$	31.35	$72n + \theta \pm 26.27$
$F_{1-5}$	26.57	$72n + \theta$
$G_{1-5}$	10.81	$72n + 36 + \theta$
$H_{1-10}$	7.05	$72n + \theta \pm 13.61$
$H_{11-20}$	-7.05	$72n + 36 + \theta \pm 13.61$
$G_{6-10}$	-10.81	$72n + \theta$
$F_{6-10}$	-26.57	$72n + 36 + \theta$
$E_{11-20}$	-31.35	$72n + 36 + \theta \pm 26.27$
$D_{6-10}$	-49.98	$72n + 36 + \theta$
$C_{6-10}$	-52.62	$72n + \theta$
$B_{6-10}$	-66.58	$72n + 36 + \theta$
$A_2$	-90	0