

外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発
 (その 131) BEST で使用される拡張アメダス気象データに関連するツール類の開発状況
**Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the Best
 (Part 131) Development of Application Tools for the Current Expanded AMeDAS Weather Data
 Utilized for the Best**

技術フェロー	○松本 真一 (秋田県立大学)	特別会員	村上 周三 (建築環境・省エネルギー機構)
技術フェロー	赤坂 裕 (鹿児島大学)	正会員	井川 憲男 (大阪市立大学)
技術フェロー	永村 一雄 (大阪市立大学)	正会員	武田 和大 (鹿児島工業高等専門学校)
技術フェロー	二宮 秀典 (鹿児島大学)	正会員	窪田 真樹 (鹿児島工業高等専門学校)

Shin-ichi MATSUMOTO*¹ Shuzo MURAKAMI*² Hiroshi AKASAKA*³ Norio IGAWA*⁴

Kazuo EMURA*⁴ Kazuhiro TAKEDA*⁵ Hideyo NIMIYA*³ Masaki KUBOTA*⁵

*¹ Akita Prefectural University *² Institute for Building Environment and Energy Conservation *³ Kagoshima University

*⁴ Osaka City University *⁵ Kagoshima National College of Technology

In our previous report (part 114), introduced were general features of the newest DVD version of Expanded AMeDAS (EA) Weather Data. We discussed its technical highlights and remarks that might concern many BEST users. This report is a kind of a continuation of the previous one. In this report, after introduction of several additional tools bundled in the DVD, the current calculation method of the solar position is discussed. Additionally, a bundled program named “SolMap” which is a typical application tool of the calculation method is also described.

はじめに

BEST では書式変換ツールを介して拡張アメダス気象データ (以下「EA 気象データ」と記す) を利用できる。既報 (その 131)¹⁾ では、最新版の年別 EA 気象データファイル (2001 年～2007 年) と関連ツールの開発状況と旧版との違いなどの留意点を報告した。本稿はその続報で、関連ツールを再度簡単に紹介した上で、技術的な留意点として、最新版の EA 気象データの操作で新たに適用されている太陽位置の計算方法 (松本の方法) を詳述する。また、その適用例として、SolMap と称する太陽位置図作成ツールについて解説する。このツールは最新版の EA 気象データプログラム DVD (拡張セット 2) に収録されているものである。

1. プログラム DVD に含まれるツール類の概要

最新版の EA 気象データは気象データファイル本体を収録した DVD と操作プログラム類を収録した DVD に分けて提供されている¹⁾。プログラム DVD で提供されるツール類の内容は一律でなく、ユーザーは必要とする操作プログラム類を 3 つのオプションの中から選択することができる (表-1 参照)。

表-1 最新版 EA 気象データ・プログラム DVD の内容

ツール名 (最新 Ver.)	ツールの概説	基本 セット	拡張 セット 1	拡張 セット 2
AMeNET.dll, RadC.dll 他 (4.1 Int'l 等)	下欄記載の複数のプログラムからアクセスされる汎用コード、データ類	●	●	●
EZ DataNavi (1.0 Int'l)	簡易版 EA データ統合 操作プログラム	●		
EA DataNavi (4.1a/b Int'l)	EA データ統合操作 プログラム		● 4.1a	● 4.1b
L32L4 (1.0 Int'l)	ユーザーファイル名一括 変換ツール	●	●	●
TilRad/ TilLux (4.1 Int'l)	斜面日射量データの計算 ツール/斜面照度データ の簡易計算ツール	●	●	●
Ufl2Hasp/ Ufl2Smash (4.1 Int'l)	HASP 書式ファイル作成 ツール/SMASH 書式 ファイル作成ツール		●	●
SkyMap (2.0 Int'l)	天空輝度分布・放射輝度 分布作成・描画ツール			●
GTWin (4.1 Int'l)	地中温度データの計算 プログラム			●
StnFind (3.1 Int'l)	アメダス観測地点情報の 検索表示ツール	●	●	●
DDWin (1.0 Int'l)	デグリーディ計算ツール		●	●
ColorMap (4.1 Int'l)	気象データのカラー地図 の描画プログラム			●
GmConv (4.1 Int'l)	ColorMap 用テンプレート Bmp ファイル作成ツール			●
SolMap (1.0 Int'l)	太陽位置図の描画ツール			●

これらのツールの可動環境を表-2に示す。OS環境としてWINDOWS® Xp (SP3以降) および Vista® (SP2以降)での動作も確認されているが、サポート対象外である。

表-2 新版に含まれるツール類の動作環境

OS	WINDOWS® 7 (Service Pack 1 以降) および WINDOWS® 8
ハードディスク	必須 (SSD でもよい)。 最低 250M バイトの空き容量が必要 (推奨空き容量 500M バイト以上)。
その他の必要機器	DVD ドライブ装置, マウスなどのポインティング・デバイス, およびカラーモニター (解像度 800 × 600 ピクセル以上)が必要。インターネットおよびプリンターシステムに接続された環境が望ましい。

2. 太陽位置の計算方法 (松本の方法) ^{注1}

既報でも述べたが、最新版のツール類では以下に示す松本の方法^{2)~5)}がデフォルトで適用され、旧版で適用されていた赤坂の方法⁶⁾はオプションとなっている¹⁾。

2.1 計算方法の概要

松本の方法は、海上保安庁海洋情報部 (当時、水路部)の方法を援用して、精度向上を企図したものである。原典に興味のある読者は文献7を参照されたい。肝要なのは、太陽視赤緯 δ [°] と均時差 t_e [°] を精度よく求めることで、それには計算時刻を正確に表すことが必要である。

2.2 ユリウス世紀数 (JC) T, T_u の計算

(1) 地心座標時 TCG によるユリウス世紀数 JC の表現

計算対象の地方標準時系による時刻を協定世界時系に直したものを UTC [h] とすると、地心座標時 TCG [h] は、これに ΔT_1 の補正を加えて表される。

$$TCG = UTC + \Delta T_1 / 3,600^s \quad (1)$$

ΔT_1 の意味と算定方法は (2) で述べるが、こうして得られる TCG に対する (端数のある) ユリウス日 JD_{TCG} [day] を求め、これをユリウス世紀数 (JC) T [-] に変換した式 (2) が後述の計算式のパラメータである。

ただし、 ΔT_1 算定用の T_u [-] は UTC 時系に基づくユリウス世紀数であって、計算対象年の 7 月 1 日 0UTC におけるユリウス日 JD_{UTC} [day] に基づいて式 (3) で計算すべきものである。

$$T = \frac{JD_{TCG} - 2,451,545}{36,525} \quad (2), \quad T_u = \frac{JD_{UTC} - 2,451,545}{36,525} \quad (3)$$

(2) TCG と UTC の時差補正項 ΔT_1

ΔT_1 は地心座標時と協定世界時の時差 [s] である。

●1800 年 1 月 1 日以前

$$\Delta T_1 = 7^s.427 \quad (4)$$

●1800 年 1 月 1 日 ~ 1970 年 12 月 31 日

$$\begin{aligned} -\Delta T_1 = & 987^s.5520 + 20,781^s.6192 T_u \\ & + 176,498^s.5248 T_u^2 + 844,973^s.0784 T_u^3 \\ & + 2,557,073^s.9232 T_u^4 + 5,167,425^s.7152 T_u^5 \\ & + 7,169,822^s.6976 T_u^6 + 6,905,686^s.4928 T_u^7 \\ & + 4,601,064^s.3840 T_u^8 + 2,077,236^s.7488 T_u^9 \\ & + 605,853^s.7344 T_u^{10} + 102,926^s.6784 T_u^{11} \\ & + 7,732^s.0224 T_u^{12} \end{aligned} \quad (5)$$

●1971 年 1 月 1 日 ~ 2010 年 12 月 31 日

$$\begin{aligned} \Delta T_1 = & \frac{80^s.84308}{1 + 0.2605601 \exp(-4.423790 T_u)} \\ & - 0.311 \end{aligned} \quad (6)$$

●2011 年 1 月 1 日以後

$$\begin{aligned} \Delta T_1 = & \frac{35^s.88950}{1 + 0.1494554 \exp(-9.796888 T_u)} \\ & + 32^s.184 + \frac{86,400^s}{6.969290134 \times 10^{10}} \\ & \times (36,525 T_u + 8,611.9996275) \end{aligned} \quad (7)$$

筆者はかつて将来も使える ΔT_1 の推定式として、式 (6) を提案したが^{2),3)}、最近の確定観測値との間に乖離が生じつつあることが判明したので、式 (7) のように修正した⁴⁾。これらの近似式と確定観測値の関係を図-1 に示す。式 (7) を用いれば、式 (6) における過大評価が抑えられるものと期待できる。

なお、簡単化のため ΔT_1 [s] は計算対象年ごとに一定値 (7 月 1 日 0UTC の値) を小数点以下 3 桁まで用いる。

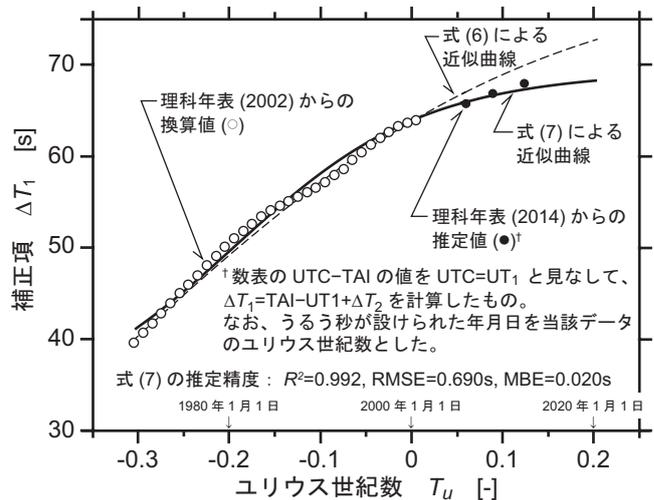


図-1 補正項 ΔT_1 の観測値と予測曲線

2.3 太陽の視黄経 ψ , 真黄道傾斜角 ϵ , 平均太陽の赤経 α'_m の計算

式 (2) によるユリウス世紀数 T を用いて、太陽の視黄経 ψ [°], 真黄道傾斜角 ϵ [°], 平均太陽の赤経 α'_m [°] を式 (8) ~ 式 (10) で計算する。ただし、式 (8) における係数 P_i, Q_i, R_i は表-3 のとおりである⁷⁾。

$$\begin{aligned} \psi = & \sum_{i=1}^{18(i \neq 16)} P_i \cos(Q_i T + R_i) + P_{16} T \cos(Q_{16} T + R_{16}) \\ & + 36,000^{\circ}.7695 T + 280^{\circ}.4602 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \epsilon = & -23^{\circ}26'21''.448 + 46''.8150 T \\ & + 0''.00059 T^2 - 0''.001813 T^3 \\ & - 0^{\circ}.00256 \cos(1,934^{\circ} T + 235^{\circ}) \\ & - 0^{\circ}.00015 \cos(72,002^{\circ} T + 201^{\circ}) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \alpha'_m = & 15^{\circ} \times (18^h 41^m 50^s.54841 \\ & + 8,640,184^s.812866 T \\ & + 0^s.093104 T^2 - 0^s.0000062 T^3) \end{aligned} \quad (10)$$

表-3 式(8), 式(12)および式(13)で用いる係数⁷⁾

i	P_i	Q_i	R_i	i	P_i	Q_i	R_i	i	P'_i	Q'_i	R'_i
1	+1.914 7	35,999.05	267.52	10	+0.000 7	9,038.00	64.00	1	+1.000 140	0.00	0.00
2	+0.020 0	71,998.10	265.10	11	+0.000 6	33,718.00	316.00	2	+0.016 706	35,999.05	177.53
3	+0.002 0	32,964.00	158.00	12	+0.000 5	155.00	118.00	3	+0.000 139	71,998.00	175.00
4	+0.001 8	19.00	159.00	13	+0.000 5	2,281.00	221.00	4	+0.000 031	445,267.00	298.00
5	+0.001 8	445,267.00	208.00	14	+0.000 4	29,930.00	48.00	5	+0.000 016	32,964.00	68.00
6	+0.001 5	45,038.00	254.00	15	+0.000 4	31,557.00	161.00	6	+0.000 016	45,038.00	164.00
7	+0.001 3	22,519.00	352.00	16	-0.004 8	35,999.00	268.00	7	+0.000 005	22,519.00	233.00
8	+0.000 7	65,929.00	45.00	17	+0.004 8	1,934.00	145.00	8	+0.000 005	33,718.00	226.00
9	+0.000 7	3,035.00	110.00	18	-0.000 4	72,002.00	111.00	9	-0.000 042	35,999.00	178.00

2.4 太陽の視赤緯 δ , 均時差 E_t などの計算

式(2)によるユリウス世紀数 T をパラメータとして, 太陽の視赤緯 δ [°], 均時差 E_t [°], および地心距離 r [AU] を以下の式で計算する。式(16), (17)において, r が大気の外縁における法線面日射量 IN_o [W/m²] の計算に用いられることは既報で詳述した。ただし, 式(12)および式(13)の係数 $P_i, Q_i, R_i, P'_i, Q'_i, R'_i$ は表-3のとおりで⁷⁾, $J_o=1,367\text{W/m}^2$ (太陽定数) である。

$$\delta = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \psi \sin \varepsilon}{\sqrt{1 - \sin^2 \psi \sin^2 \varepsilon}} \right) \quad (11)$$

$$E_t = \left[\sum_{i=17}^{18} P_i \cos(Q_i T + R_i) - 0^\circ.0057 \right] \cos \varepsilon + \tan^{-1} \left(\frac{\tan \alpha_m - \tan \psi \cos \varepsilon}{1 + \tan \alpha'_m \tan \psi \cos \varepsilon} \right) \quad (12)$$

$$r = \sum_{i=1}^8 P'_i \cos(Q'_i T + R'_i) + P'_9 T \cos(Q'_9 T + R'_9) \quad (13)$$

$$IN_o = J_o / r^2 \quad (14)$$

2.5 時角 t , 太陽高度角 h , 太陽方位角 A の計算

ここに記すまでもないが, 緯度 φ [°], 経度 L [°] である計算対象地点の地方標準時を T_m [h], その地方標準時を代表する地点の経度を L_o [°] (日本では $L_o = 135^\circ$, 明石) とするとき, 時角 t [°] は式(12)の結果を引用して式(15)で表され, 太陽位置は式(16), 式(17)から求められる。

$$t = 15^\circ \times (T_m - 12) + (L - L_o) + E_t \quad (15)$$

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \quad (16)$$

$$\cos A = \frac{\sin h \sin \varphi - \sin \delta \cos \varphi}{\cos h \cos \varphi} \quad (17)$$

3. 視赤緯 δ と均時差 E_t の計算精度の検証

3.1 検証方法と計算種類

最新の理科年表⁸⁾に収録された2014年各日の0UT時の太陽視赤緯 δ [°] と均時差 T_e [min.]^{註2)} を正解 (真値) と見なし, 計算値と比較する^{註3)}。計算種類は以下に示すとおり, 筆者の方法における ΔT_1 の取り扱いに関する3ケースの他, 海洋情報部の方法 (2014年版)⁹⁾ を比較検証の対象とする。この方法は表-3に示したものとほぼ同等の係数を季節に応じた3通りの数表から引用して計

算するもので, その数表は毎年更新される⁸⁾。

Case R(eference): 海洋情報部の方法⁸⁾を適用する。

Case C(ourse): 時差の補正を行わず, TCG=UTC とする。

Case O(ld method): 式(6)によって時差を補正する。

Case N(ew method): 式(7)によって時差補正する場合。

さらに, 東京 (35°41.4' N, 139°45.6' E) における2014年各日の15JSTにおける太陽高度角 h [°] と方位角 A [°] を Case C, O, N について計算して比較する。この場合, Case N を基準とする。

3.2 検証結果と考察

全ケースにおける δ と T_e の計算精度を表-4にまとめて示す。誤差の程度は角度の秒 (") のオーダーであり, 前章で述べた方法は基本的に精度が高い。赤坂の方法などと比較した結果の考察については, 文献2や文献3に譲るが, 松本の方法の精度が相対的に高いことは確認済みである。

表によれば, Case R は極めて精度が高く^{註4)}, Case C のそれは明らかに低い。正確を期すためには, 補正項 ΔT_1 を考慮した方がよいといえる。また, 式(7)による補正により, 式(6)を用いた場合の系統的なバイアス誤差を若干減じることができることがわかる。

ただし, 表-5に示した太陽位置の計算精度の例からわかるように, その差異はわずかであり, 太陽位置の算出を目的とする場合においては, ΔT_1 はそれほど影響しないと考えてよからう。

表-4 視赤緯 δ と均時差 T_e の計算結果の精度

Case 指標	視赤緯 δ の誤差 * ["]				均時差 T_e の誤差 * [s]			
	R	C	O	N	R	C	O	N
XBE*	0.756	2.772	1.692	1.800	0.10	0.30	0.20	0.20
MBE	0.001	-0.017	-0.016	-0.015	0.00	-0.18	0.02	0.00
RMSE	0.000	0.052	0.031	0.031	0.00	0.01	0.01	0.00

(誤差) = (計算値) - (真値)

* 誤差絶対値の最大値の意味

表-5 太陽高度角 h と方位角 A の計算精度

Case 指標	太陽高度角 h の誤差 * ["]			太陽方位角 A の誤差 * ["]		
	C	O	N	C	O	N
XBE*	2.51	0.26	—	0.30	0.20	—
MBE	1.89	-0.19	—	-0.18	0.02	—
RMSE	0.10	0.01	—	0.01	0.01	—

(誤差) = (計算値) - (真値)

* 誤差絶対値の最大値の意味

図-2は、Case O の場合の δ と T_e の計算値を真値（理科年表 2014 の値⁹⁾）と比較したものである。計算値と真値はほとんど重なり、既報の方法でも十分な精度で計算できることが視覚的にわかる。よって、海上保安庁海洋情報部が毎年刊行する計算方式の最新版を適用せずとも、熱負荷計算における利用を主目的とする場合には、松本の方法でも実用上大きな問題はないといえる。ましてや標準年を使用した負荷計算の場合には、代表的・典型的な太陽位置を用いることになるから、十分ともいえよう。ただし、今後定期的に作成するつもり標準年に関していえば、今のところ、何年の太陽位置を代表とするか、さらには暦（曜日）をどのように考えるかに関しては、筆者らに堅固な方針はなく、ユーザー側の視点からの議論をお願いしたい。

4. 太陽位置計算方法の適用例

表-1 に示した各種のツールプログラム類に 2 章に示した太陽位置の計算方法が適用されているが、ここではその一例として、SolMap と称する太陽位置描画ツールを紹介する（図-3）。このツールには次のような特徴がある。1) アメダス観測地点はもちろん、世界中の任意の地点を描画できる。2) 特定の月日時刻を指定して強調表示できる。3) その時の太陽位置を数値として取得できる。

おわりに

最新版 EA 気象データの開発と並行して開発したプログラムツール類を紹介し、技術的な留意点として、太陽位置の計算方法を詳述した。この方法が各種の熱負荷計算に広く利用されるよう期待する。

謝辞

本報は、(財) 建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する「BEST コンソーシアム」・「BEST 企画委員会（村上周三委員長）」および専門版開発委員会（石野久彌委員長）、気象データ WG（赤坂裕主査）の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表する。

なお、研究開発においては、日本学術振興会・科研費基盤 (B) 23360259（紫外域分光放射のモデル化と UV-A, UV-B を含む時別・分別気象データの開発、研究代表者：鹿児島大 二宮教授）、および基盤 (C) 23560697（地域気候特性の分析に基づく住宅の環境配慮デザインの方法論の提案、研究代表者：松本）の援助を受けた。記して謝意を表する。

注釈

- 1) 本章は文献 2～5 を簡潔に再構成したものである。なお、文献 4 にはプログラムソースコードが記載されている。
- 2) 1° が 4min. に相当するから、 $T_e = 4E_t$ である。
- 3) δ は小数点以下 5 桁、 T_e は 0.1s のオーダーまでを要求精度とする。ただし、誤差の評価指標値は、比較の都合でもう一桁余分に表示している。なお、理科年表 (2014)⁸⁾ と海洋情報部の方法 (2014 年版)⁹⁾ では、 $\Delta T_1 = 67.000s$ が採用されている。

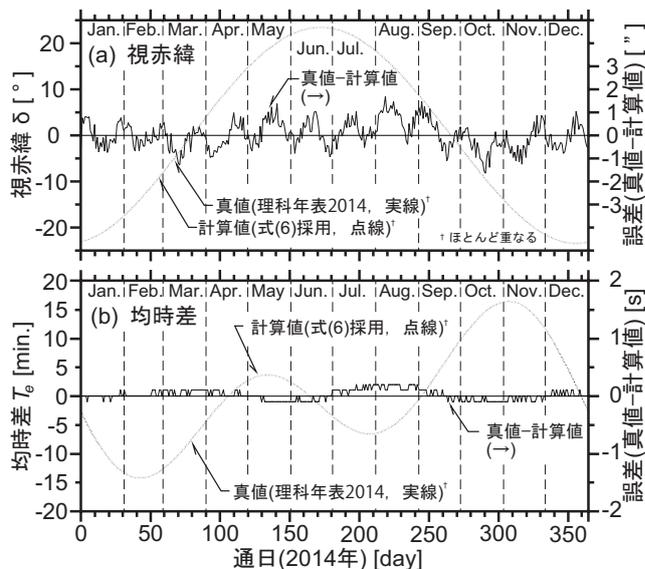


図-2 視赤緯と均時差の計算結果（理科年表 2014 との比較）

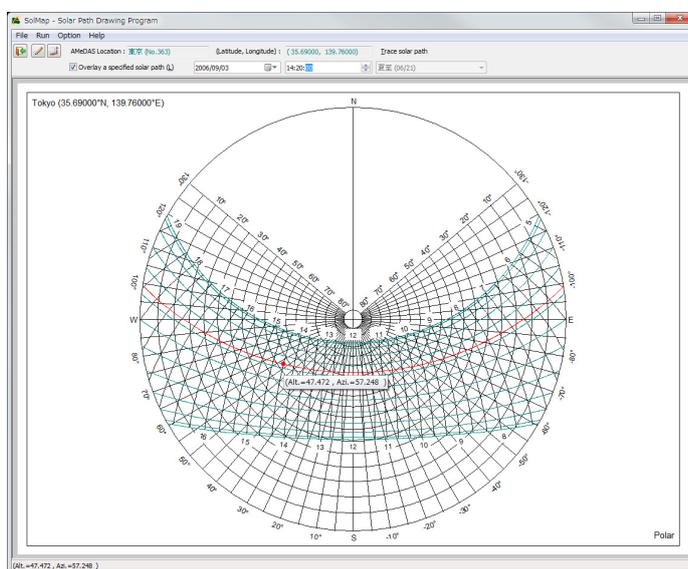


図-3 太陽位置描画ツール SolMap のメインウィンドウ

4) 理科年表の当該部分の編纂に関与している組織による方法であるから当然であろう。

引用文献

- 1) 松本ほか：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発（その 114）BEST で使用される拡張アメダス気象データの開発状況，空衛学会大会講演論文集，Vol.5，pp.9-12，2013.9.
- 2) 松本真一：太陽視赤緯と均時差計算に関する一考察，建築学会東北支部研究報告集，68，pp.89-96，2005.6.
- 3) 松本真一：太陽視赤緯と均時差の計算精度の検討，建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp.7-8，2006.9.
- 4) 松本真一：太陽視赤緯と均時差の計算法に関する補遺，建築学会東北支部研究報告集，77，pp.49-56，2014.6.
- 5) 松本真一：太陽視赤緯・均時差計算に関する筆者の方法の精度検証，建築学会大会学術講演梗概集，D-2，2014.9（投稿中）.
- 6) 赤坂裕（木村建一編）：日射量の計算と日射直散分離・合成，建築環境学 1，丸善，pp.13-19，1992.4.
- 7) 暦計算研究会（編）：新こよみ便利帳 天文現象・暦計算のすべて，恒星社厚生閣，pp.156，1991.4.
- 8) 国立天文台（編）：理科年表（平成 26 年 2014），丸善，2013.8
- 9) 海上保安庁海洋情報部（HP）：http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KOHO/syoshi/pr_eph.htm（2014.6.18 アクセス）.