

日本の85地点での気圧日変化の調和解析

岩 井 邦 中*・境 野 千亜紀**・杉 山 裕 也***

要 旨

日本の85地点での気圧日変化の調和解析を行い、1日周期成分 (S_1)、半日周期成分 (S_2)、1/3日周期成分 (S_3) の振幅、位相の値を決めた。 S_1 は内陸部の盆地で大きく、 S_2 より常に大きい地点があった。最大は甲府で各月とも1 hPaより大きく最大1.6 hPaに達した。

日本付近では S_2 は緯度にほぼ比例して小さくなるが太平洋側と日本海側(東シナ海側を含む)では系統的に違っており、同じ緯度なら太平洋側の方が日本海側、東シナ海側より大きかった。内陸部での S_2 は太平洋側と同程度か大きいところがあった。 S_3 は年平均では0.04~0.08 hPa程度で大変小さい。これは岩井(2007)が示したように、夏期と冬期で位相が逆転するために振幅を相殺するからである。12月、1月の平均の S_3 は太平洋側では35°N付近で極大となるが日本海側、東シナ海側では S_2 と同様に太平洋側に比べて系統的に小さかった。

1. はじめに

気圧の日変化を調和解析して半日成分等の振幅や位相の全球分布は古くから示されている。

ここで言う振幅と位相は次の意味で使われている(例えばLindzen and Chapman 1969)。気圧日変化を調和解析して、 $S_n = A_n \cos nt + B_n \sin nt = s_n \sin(nt + \sigma_n)$ で表す。 $n = 1, 2, 3 \dots$, $s_n = (A_n^2 + B_n^2)^{1/2}$, $\sigma_n = \tan^{-1}(A_n/B_n)$, s_n を振幅、 σ_n を位相と呼んでいる。なお、実際に σ_n を計算するには $\alpha_n = \sin^{-1}(A_n/s_n)$ と $\beta_n = \cos^{-1}(B_n/s_n)$ および $\gamma_n = \tan^{-1}(A_n/B_n)$ を計算し、 α_n が負のときは γ_n に180度を加えた値を γ_n とした。 σ_n は上の α_n , β_n , γ_n のいずれかになる(3つとも等しい場合もある)が、どれをとるかは実際にグラフ上で足し合わせて元の値に最もフィットするものを選んだ。 t は1日(24時間)を360°にとると σ_n は角度で与えられる。 S_n の1日のう

ちの最初の極大時刻 t_n と位相 σ_n の関係は

$$t_n = (90^\circ - \sigma_n) / (15^\circ/n) + 24r/n \quad (1)$$

で表される。ここで r は t_n を正にし、 $24/n$ より小さくする最小の整数である(Lindzen and Chapman 1969)。

Chapman and Westfold (1956)は全球68の地点での年平均の太陽潮(S_2)と太陰潮(L_2)を示した。日本では札幌、東京、熊本、那覇(彼らの論文ではChinaになっている)での値が示されている。Haurwitz (1956) (Lindzen 1990による)は年平均 S_2 の振幅と位相の全球図を示している。それによると北海道から南西諸島にかけての S_2 の振幅は約0.4から0.9 hPa弱であり、位相は165°(地方平均太陽時に換算すると午前9時30分)の等値線で日本列島が囲まれている。Haurwitz and Cowley (1973) (以後HCと略す)は多くの地点での気圧を調和解析し、そのデータを基にさらに球面調和解析して S_1 , S_2 を多くの波数に分けて論じた。また年平均だけでなく、季節変化および緯度による違いを述べている。Hamilton (1980)はHCのデータにさらに比較的観測地点の少なかった日本、タイ、ベトナム等の東アジア他35地点の S_1 , S_2 の新しいデータを加えた。日本では根室、函

* 信州大学教育学部。

** (現)長野県下高井郡山ノ内中学校。

*** (現)兵庫県立夢野台高等学校。

—2007年9月11日受領—

—2008年3月12日受理—

館、長野、広島、和歌山、松山の6地点であるが、新しいデータといっても1893年に発表された古いものである[†]。

Dai and Wang (1999) (以後DWと略す)はHCと同じ手法でさらに多くの地上気圧データを使って解析し、全球分布を出した。それによると低緯度の海洋上を除くと S_1 が S_2 より大きい地点が見いだされている。また S_1 の位相(極大時刻)は低緯度地方で6時~8時、中緯度地方では東アジアと北太平洋地域を除いて10時~12時であり、 S_2 の位相(極大時刻)は低緯度、高緯度とも10時頃であることを示した。Ray (1998)は太平洋、大西洋、インド洋の25の島での S_1 、 S_2 、 S_3 を示している。日本付近では硫黄島(24°47'N, 141°19'E)の値が示されている。

Ray (2001)はNCEP (National Centers for Environmental Prediction) /NCAR (National Center for Atmospheric Research)とGEOS-1 (Goddard Earth Observing System)の再解析値(前者は6時間間隔、後者は3時間間隔)を用いて適当な内挿値を基に全球の S_2 分布を出し、HCやDWと比較した結果、両者とも必ずしも S_2 をうまく表せないことを述べている。Ray and Ponte (2003)はECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts)の6時間間隔の再解析値を用いると S_2 をうまく表すことができることを示した。Mass *et al.* (1991)は全米約200の地点での、海面更正気圧と現地気圧のデータを基にして調和解析により S_1 、 S_2 を決めた。それによると、特に高地では海面更正値を用いると、見かけ上の半日周期成分が出ることを示した。なお、彼らが調和解析したデータは、海面更正値は毎正時の値を現地気圧は3時間毎の値である。Kong (1995)はオーストラリアの61地点で4年分の3時間間隔の気圧データを用いて S_1 、 S_2 、 S_3 を決めた。DWは日本付近でも多数のデータを解析しているが詳しくは報告されていない。気圧日変化の主な原因は全球的な大気潮汐によるものと考えられているが、上に述べたように地形の影響もかなり現れるであろう。特に日本は海洋と大陸の境界にあり、急峻な山岳があるために地域特性が顕著に表れると考えられるので、多くの地点で気圧日変化の調和解析することは意味が

ある。本論文では日本の85地点の12年間平均の毎時の気圧データを用いて調和解析により、詳細に S_1 、 S_2 、 S_3 を決めたので報告する。

2. 観測地点とデータ

気圧、気温等のデータは気象庁が編集し、気象業務支援センターが発行している1992年から2003年の気象庁年報のCDROMによった。本論文で取りあげた観測地点を第1表a, bに示す。この表には後で示す S_1 、 S_2 、 S_3 も載せている。緯度、経度の小数点以下の数字の単位は分である。緯度の欄で影を付けている地点は瀬戸内地方を除いた太平洋側ではない地点(オホーツク海、日本海、東シナ海側)である。青森はここに入れた。経度の欄で影を付けた地点は内陸、瀬戸内地方である。緯度、経度の欄で影を付けてない地点は太平洋側である。函館、東京、横浜、鹿児島は太平洋側地点とした。第1図に観測地点を地図上に示している。

3. 解析方法

解析方法は岩井・宮下(2005)、岩井(2007)と同様であるのでここでは簡単に記す。第2表に1例として東京における1992年から2003年までの12年間平均の各月の毎正時の気圧偏差値(正時の値から24時間平均の値の差)を示す。気圧はすべて現地気圧を用いた。右端は山田(1965)による海面更正値である。各月の毎正時の24個のデータを調和解析し、 S_1 、 S_2 、 S_3 の振幅と位相を決める。これらの各月の各成分の12ヶ月平均と各月の毎正時の気圧偏差値の12ヶ月の平均値を調和解析した各成分の値は一般的に異なるが、 S_1 、 S_2 についてはこの差は小さかった(後述の第3表参照)。本論文での S_1 、 S_2 の年平均は各月の S_1 、 S_2 の平均を表している。 S_3 については12月と1月の値とその平均値を示す。

気象庁でのデータの時刻はすべて日本標準時(東経135°での平均太陽時)であるので、各地点における年平均の S_1 、 S_2 の位相は経度補正して地方平均太陽時に、各月の位相はさらに均時差補正をして地方視太陽時(視太陽が南中したときを正午とする)に換算した。

4. 結果と議論

4.1 S_1 の年平均の振幅と位相

第1表a, bに S_1 の年平均の振幅(hPa)と位相

[†] このデータはKobayashi (1893)により毎月の正時の気圧が示されているが、彼は調和解析をしておらず、Hamiltonがその値を基に調和解析したものと思われる。

第1表 a), b) 85観測地点の緯度, 経度, 気圧計の高さ, 年平均の S_1 , S_2 の振幅と位相および12月, 1月の S_3 の値. 緯度, 経度の小数点以下の数字の単位は分を示す. 緯度欄に影が付されている地点は瀬戸内地方を除いた太平洋側ではない地点である. 経度欄に影が付されている地点は内陸および瀬戸内地方である. 緯度および経度の欄にいずれも影が付されていない地点は太平洋側である. さらに, S_1 の欄に影が施されているのは年平均で S_1 の振幅が S_2 より大きい地点を示す.

a)

	地点	緯度 (度.分)	経度 (度.分)	気圧計の 高さ (m)	S_1 年平均 (hPa)	S_1 位相 (時, 分)	S_2 年平均 (hPa)	S_2 位相 (時, 分)	S_3 1月 (hPa)	S_3 12月 (hPa)	S_3 平均 (hPa)
1	稚内	45.25	141.41	11	0.19	3.09	0.36	9.14	0.19	0.21	0.20
2	紋別	44.21	143.22	16	0.32	3.02	0.43	9.00	0.21	0.24	0.22
3	旭川	43.46	142.22	116	0.61	3.43	0.48	9.09	0.22	0.23	0.22
4	根室	43.20	145.35	39	0.26	3.34	0.47	9.20	0.22	0.24	0.23
5	小樽	43.11	141.01	26	0.27	3.34	0.41	9.12	0.20	0.22	0.21
6	広尾	42.18	143.19	34	0.45	4.02	0.54	9.18	0.26	0.27	0.26
7	函館	41.49	140.45	43	0.32	3.30	0.49	9.12	0.24	0.27	0.26
8	青森	40.49	140.46	3	0.35	3.33	0.50	9.09	0.24	0.26	0.25
9	秋田	39.43	140.06	21	0.27	4.47	0.48	9.17	0.23	0.23	0.23
10	盛岡	39.42	141.10	155	0.56	3.56	0.60	9.12	0.27	0.27	0.27
11	宮古	39.39	141.58	46	0.42	3.25	0.59	9.04	0.29	0.29	0.29
12	大船渡	39.04	141.43	41	0.42	2.57	0.61	9.08	0.23	0.30	0.27
13	酒田	38.55	139.51	4	0.24	4.30	0.50	9.17	0.23	0.23	0.23
14	新庄	38.45	140.19	102	0.45	4.28	0.58	9.12	0.24	0.24	0.24
15	仙台	38.16	140.54	43	0.40	3.57	0.62	9.08	0.28	0.30	0.29
16	相川	38.02	138.14	17	0.20	5.34	0.50	9.21	0.25	0.25	0.25
17	新潟	37.55	139.03	6	0.30	4.54	0.53	9.16	0.24	0.26	0.25
18	若松	37.29	139.55	213	0.63	4.18	0.65	9.11	0.26	0.28	0.27
19	輪島	37.23	136.54	14	0.21	4.22	0.50	9.10	0.25	0.24	0.24
20	高田	37.06	138.15	18	0.35	3.54	0.54	9.07	0.26	0.27	0.26
21	小名浜	36.57	140.54	5	0.39	3.56	0.66	9.13	0.30	0.32	0.31
22	日光	36.44	139.30	1,294	0.11	0.55	0.52	9.21	0.25	0.25	0.25
23	富山	36.42	137.12	17	0.36	4.03	0.55	9.10	0.24	0.25	0.25
24	長野	36.40	138.12	418	0.82	3.54	0.72	9.04	0.30	0.31	0.30
25	金沢	36.35	136.38	33	0.29	4.27	0.52	9.18	0.24	0.24	0.24
26	宇都宮	36.33	139.52	140	0.65	4.07	0.78	9.19	0.31	0.33	0.32
27	前橋	36.24	139.04	113	0.84	3.48	0.81	9.16	0.32	0.35	0.34
28	水戸	36.23	140.28	31	0.55	4.11	0.73	9.17	0.31	0.33	0.32
29	軽井沢	36.20	138.33	1,004	0.40	3.02	0.63	9.15	0.27	0.30	0.28
30	松本	36.15	137.58	610	0.95	3.43	0.77	9.06	0.29	0.32	0.31
31	西郷	36.12	133.20	31	0.24	4.53	0.56	9.26	0.27	0.24	0.25
32	高山	36.09	137.15	560	0.83	3.46	0.68	9.07	0.28	0.29	0.29
33	熊谷	36.09	139.23	31	0.85	4.19	0.83	9.22	0.32	0.35	0.33
34	諏訪	36.03	138.07	760	0.88	3.36	0.74	9.11	0.30	0.33	0.31
35	鏡子	35.44	140.52	28	0.36	5.42	0.67	9.30	0.28	0.30	0.29
36	東京	35.41	139.46	36	0.71	4.40	0.77	9.21	0.31	0.34	0.32
37	甲府	35.40	138.33	273	1.28	4.14	0.89	9.10	0.33	0.36	0.35
38	飯田	35.31	137.49	529	1.08	4.04	0.78	9.10	0.31	0.34	0.32
39	河口湖	35.30	138.46	861	0.50	2.54	0.68	9.11	0.29	0.32	0.30
40	鳥取	35.29	134.14	15	0.39	4.08	0.59	9.15	0.27	0.26	0.27
41	横浜	35.26	139.39	42	0.63	4.56	0.75	9.23	0.31	0.32	0.31
42	伊吹山	35.25	136.25	1,377	0.09	8.49	0.49	9.40	0.16	0.25	0.20
43	岐阜	35.24	136.46	17	0.75	4.21	0.73	9.21	0.30	0.32	0.31

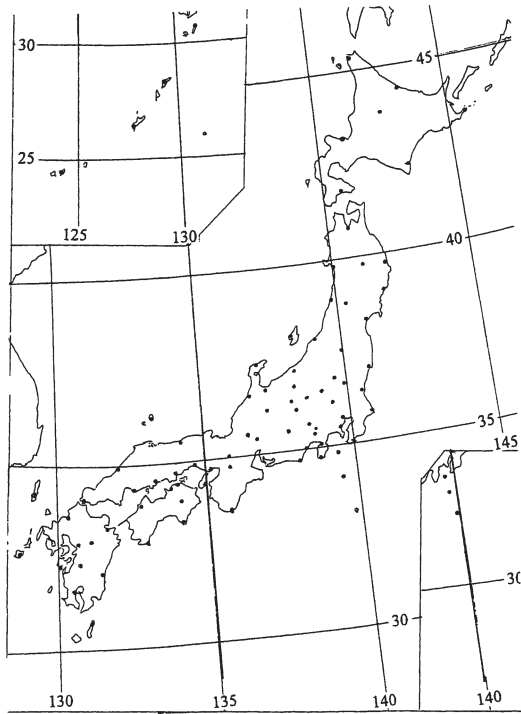
b)

	地点	緯度 (度・分)	経度 (度・分)	気圧計の 高さ (m)	S ₁ 年平均 (hPa)	S ₁ 位相 (時, 分)	S ₂ 年平均 (hPa)	S ₂ 位相 (時, 分)	S ₂ 1月 (hPa)	S ₂ 12月 (hPa)	S ₂ 平均 (hPa)
44	富士山	35.21	138.44	3,773	0.16	15.47	0.42	9.36	0.20	0.20	0.20
45	三島	35.07	138.56	22	0.66	4.08	0.75	9.17	0.31	0.33	0.32
46	京都	35.01	135.44	46	0.73	4.15	0.72	9.17	0.30	0.31	0.30
47	静岡	34.58	138.24	15	0.63	4.15	0.76	9.20	0.32	0.34	0.33
48	浜田	34.54	132.04	20	0.30	5.51	0.57	9.29	0.27	0.25	0.26
49	姫路	34.50	134.40	40	0.65	4.47	0.70	9.23	0.31	0.29	0.30
50	大島	34.45	139.22	79	0.38	5.28	0.68	9.30	0.28	0.30	0.29
51	神戸	34.42	135.13	30	0.58	4.54	0.69	9.26	0.28	0.29	0.28
52	奈良	34.41	135.50	106	0.68	4.23	0.72	9.22	0.28	0.29	0.28
53	岡山	34.39	133.55	18	0.76	4.49	0.73	9.23	0.31	0.30	0.31
54	御前崎	34.36	138.13	47	0.44	5.00	0.71	9.30	0.31	0.33	0.32
55	石廊崎	34.36	138.51	56	0.34	5.24	0.67	9.31	0.30	0.29	0.29
56	福山	34.27	133.15	3	0.74	4.48	0.71	9.23	0.31	0.29	0.30
57	洲本	34.20	134.54	112	0.53	5.14	0.68	9.33	0.28	0.26	0.27
58	高松	34.19	134.03	10	0.68	5.02	0.70	9.29	0.29	0.27	0.28
59	多度津	34.17	133.45	5	0.65	5.23	0.71	9.33	0.28	0.26	0.27
60	呉	34.14	132.33	5	0.63	5.01	0.71	9.30	0.30	0.27	0.28
61	厳原	34.12	129.18	19	0.33	6.14	0.62	9.36	0.28	0.27	0.27
62	三宅島	34.07	139.31	37	0.30	6.22	0.65	9.32	0.30	0.29	0.29
63	下関	33.57	130.56	19	0.40	5.47	0.64	9.32	0.28	0.27	0.27
64	剣山	33.51	134.06	1,946	0.15	13.08	0.47	9.51	0.20	0.21	0.20
65	松山	33.51	132.47	34	0.56	4.55	0.67	9.30	0.28	0.26	0.27
66	福岡	33.35	130.23	14	0.41	5.13	0.64	9.28	0.28	0.26	0.27
67	潮岬	33.27	135.46	75	0.38	5.05	0.71	9.29	0.30	0.30	0.30
68	室戸岬	33.15	134.11	186	0.31	5.50	0.68	9.34	0.30	0.28	0.29
69	大分	33.14	131.37	13	0.58	4.58	0.72	9.25	0.29	0.29	0.29
70	八丈島	33.06	139.47	80	0.21	5.47	0.66	9.28	0.27	0.27	0.27
71	阿蘇山	32.53	131.05	1,144	0.11	6.22	0.55	9.40	0.24	0.23	0.23
72	熊本	32.49	130.42	39	0.66	4.33	0.73	9.28	0.28	0.28	0.28
73	清水足摺	32.43	133.01	33	0.37	5.22	0.72	9.34	0.32	0.29	0.30
74	福江	32.42	128.50	26	0.31	5.27	0.65	9.37	0.28	0.26	0.27
75	人吉	32.13	130.45	147	0.82	4.10	0.79	9.19	0.30	0.31	0.31
76	牛深	32.12	130.02	14	0.39	5.05	0.69	9.36	0.27	0.26	0.27
77	宮崎	31.55	131.25	15	0.55	4.33	0.78	9.28	0.31	0.30	0.30
78	鹿児島	31.33	130.33	31	0.46	4.26	0.76	9.29	0.30	0.29	0.30
79	種子島	30.44	130.59	18	0.25	5.40	0.73	9.37	0.28	0.26	0.27
80	名瀬	28.23	129.30	7	0.24	4.05	0.77	9.36	0.26	0.25	0.26
81	父島	27.06	142.11	8	0.22	4.07	0.82	9.28	0.26	0.27	0.26
82	那覇	26.12	127.41	53	0.25	4.19	0.85	9.39	0.26	0.26	0.26
83	南大東島	25.50	131.14	15	0.23	4.19	0.84	9.37	0.25	0.25	0.25
84	石垣島	24.20	124.10	7	0.27	4.20	0.94	9.45	0.26	0.25	0.26
85	南鳥島	24.18	153.58	9	0.27	4.23	0.91	9.27	0.29	0.29	0.29

(1) 式より求めた極大の地方平均太陽時 (時, 分) を示す。この欄で影を施しているのは年平均で S₁ の振幅が S₂ のそれより大きい地点である。これらの地点は主として内陸部の盆地にある。S₁ が最も大きい地点は甲府で年平均 1.28 hPa である。関東地方では熊谷, 前橋の S₁ が S₂ を上回っている。瀬戸内地方で

は岡山, 福山の S₁ が S₂ より大きい。S₁ が一般的に小さい所は島を含めて海辺の地点および海拔 1000 メートル以上の地点である。

第 2 図 a, b に日本付近の S₁ の振幅と位相の等値線図 (海拔 1000 メートルを超える地点は除いている) を示す。振幅は内陸部で大きく, 太平洋側, および日本



第1図 観測点の地理的分布.

海側で小さいことが明瞭である。瀬戸内地方の諸都市は海辺にあるが S_1 の振幅では内陸的である。

第3図に85地点の中の代表的な9地点の各月の平均的気温日較差と各月の S_1 の相関を示す。大洋中の南鳥島では両者の相関はほとんどない。日本海側の輪島では気温日較差の年間の差は 4°C くらいあるが S_1 の違いはわずかである。これに対して太平洋側の石廊崎では平均的気温日較差の年間の差は約 1°C であるが、 S_1 の変化は大きく(回帰直線の勾配が大きい)相関もかなりよい。東京での勾配は石廊崎と同様である。旭川での気温日較差の年間の差は大きく、 S_1 の差も大きい。その勾配は甲府、京都、高松とほぼ同じである。これらの地点での勾配は岩井・宮下(2005)が中部山岳地域での各地点で示したものとほぼ同じである。一方、彼らは日本海側の高田では勾配が小さいことを示した。同じ中部地域でも図に示すように軽井沢の勾配は比較的小さく高田でのそれに近い。軽井沢は盆地でないためであろう。気圧日変化の主な原因は地球規模での大気潮汐によるものと考えられているが、 S_1 は地形によって大きく影響を受け、気温の日較差と関係があると言える。大気潮汐の原因として成層圏オゾンや対流圏の水蒸気による太陽放射の吸収・加熱が重要であると言われているが S_1 については地表で

第2表 東京における1992年から2003年の各月の平均気圧日偏差(気圧は現地気圧)。右端は山田による値(海面更正気圧)。

東京	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均	山田, 1965
月平均	1010.90	1010.87	1010.84	1009.58	1007.95	1004.82	1004.56	1006.38	1008.33	1012.49	1014.08	1013.33	1009.51	1012.43
1時	0.06	0.27	0.28	0.25	0.16	0.05	0.02	0.09	0.07	0.09	0.10	0.15	0.13	0.11
2時	0.17	0.19	0.08	0.07	-0.01	-0.11	-0.13	-0.04	-0.09	-0.08	0.03	0.23	0.03	-0.01
3時	0.03	0.00	-0.12	0.02	0.00	-0.12	-0.14	-0.09	-0.17	-0.21	-0.12	0.09	-0.07	-0.12
4時	-0.05	0.03	0.03	0.12	0.10	0.06	-0.01	-0.01	-0.12	-0.08	-0.11	-0.05	-0.01	-0.08
5時	0.12	0.27	0.39	0.41	0.40	0.34	0.27	0.26	0.09	0.19	0.09	0.14	0.25	0.15
6時	0.51	0.57	0.76	0.83	0.73	0.57	0.51	0.57	0.41	0.44	0.39	0.53	0.57	0.45
7時	0.86	0.99	1.17	1.12	0.99	0.80	0.76	0.75	0.65	0.84	0.85	0.89	0.89	0.79
8時	1.16	1.34	1.43	1.17	1.01	0.86	0.79	0.76	0.74	1.18	1.23	1.23	1.08	0.97
9時	1.39	1.33	1.43	1.13	0.88	0.66	0.69	0.80	0.90	1.15	1.25	1.48	1.09	1.04
10時	1.26	1.09	1.12	0.92	0.73	0.54	0.52	0.62	0.69	0.87	0.95	1.22	0.88	0.87
11時	0.47	0.54	0.54	0.39	0.37	0.29	0.22	0.19	0.17	0.35	0.25	0.31	0.34	0.40
12時	-0.63	-0.45	-0.20	-0.26	-0.12	-0.13	-0.19	-0.25	-0.32	-0.40	-0.68	-0.73	-0.36	-0.24
13時	-1.39	-1.34	-1.04	-0.82	-0.59	-0.53	-0.56	-0.65	-0.82	-1.09	-1.29	-1.38	-0.96	-0.81
14時	-1.65	-1.75	-1.58	-1.34	-1.01	-0.82	-0.85	-1.07	-1.18	-1.38	-1.52	-1.64	-1.31	-1.12
15時	-1.54	-1.71	-1.71	-1.70	-1.33	-1.04	-1.04	-1.29	-1.27	-1.31	-1.39	-1.47	-1.40	-1.21
16時	-1.21	-1.51	-1.64	-1.67	-1.38	-1.16	-1.12	-1.22	-1.15	-1.15	-1.09	-1.15	-1.29	-1.13
17時	-0.81	-1.10	-1.33	-1.44	-1.29	-1.12	-1.09	-1.10	-0.85	-0.85	-0.71	-0.74	-1.04	-0.93
18時	-0.29	-0.51	-0.86	-1.04	-0.93	-0.75	-0.73	-0.76	-0.56	-0.37	-0.20	-0.31	-0.61	-0.56
19時	0.04	-0.06	-0.36	-0.50	-0.45	-0.35	-0.34	-0.25	-0.01	0.05	0.12	0.02	-0.17	-0.17
20時	0.25	0.23	0.08	0.18	0.06	0.09	0.16	0.35	0.54	0.26	0.32	0.20	0.23	0.20
21時	0.37	0.44	0.38	0.52	0.48	0.54	0.61	0.65	0.67	0.45	0.48	0.30	0.49	0.44
22時	0.39	0.48	0.45	0.54	0.52	0.60	0.67	0.66	0.67	0.51	0.46	0.33	0.52	0.47
23時	0.34	0.39	0.38	0.57	0.45	0.48	0.58	0.62	0.56	0.34	0.38	0.27	0.45	0.39
24時	0.15	0.28	0.30	0.52	0.23	0.24	0.38	0.39	0.37	0.19	0.22	0.10	0.28	0.25

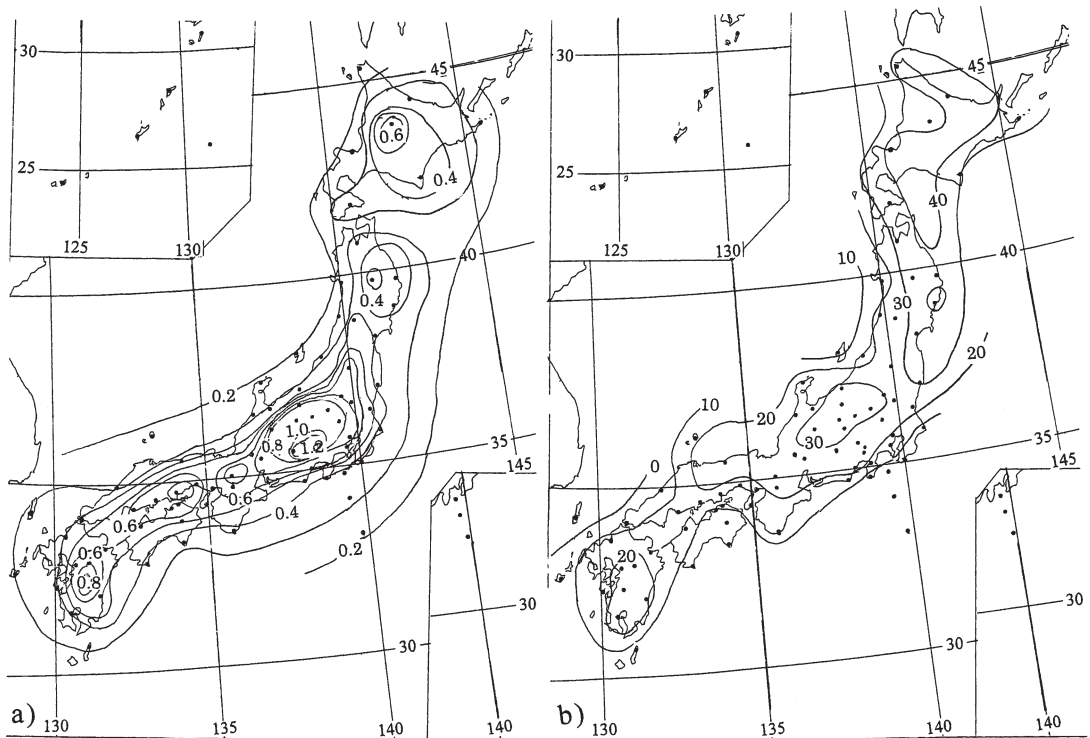
の太陽放射の吸収と夜間における放射冷却も重要な働きをしていると考えられる。これは山谷風や海陸風等

の1日周期の大気現象に対応するものであろう。

S_1 の位相(極大の地方平均太陽時)は3時から5

第3表 東京における毎正時(24個のデータ)と3時間間隔(8個のデータ)でとった S_1, S_2, S_3 の振幅と位相(かっこ内)の比較。

	3時間			毎時			3時間			毎時		
	S1振幅	S1振幅	毎時/3時間	S2振幅	S2振幅	毎時/3時間	S3振幅	S3振幅	毎時/3時間	S3振幅	S3振幅	毎時/3時間
1月	0.72 (24)	0.72 (24)	0.99	0.83 (192)	0.85 (187)	1.02	0.27 (21)	0.31 (15)	1.14			
2月	0.80 (24)	0.85 (24)	1.06	0.87 (184)	0.89 (183)	1.02	0.19 (12)	0.24 (11)	1.25			
3月	0.90 (14)	0.94 (16)	1.04	0.91 (177)	0.90 (177)	0.98	0.07 (24)	0.12 (20)	1.64			
4月	0.96 (24)	0.93 (22)	0.97	0.84 (172)	0.83 (172)	0.98	0.06 (184)	0.02 (201)	0.38			
5月	0.77 (19)	0.77 (18)	1.01	0.68 (173)	0.68 (172)	1.00	0.13 (215)	0.09 (204)	0.66			
6月	0.56 (24)	0.60 (22)	1.07	0.60 (173)	0.60 (172)	1.02	0.15 (198)	0.13 (192)	0.84			
7月	0.56 (31)	0.58 (27)	1.02	0.63 (171)	0.68 (171)	1.00	0.14 (181)	0.13 (180)	0.93			
8月	0.67 (31)	0.64 (31)	0.95	0.71 (173)	0.69 (173)	0.98	0.09 (195)	0.07 (201)	0.79			
9月	0.58 (34)	0.55 (37)	0.94	0.75 (178)	0.75 (178)	0.99	0.03 (-10)	0.03 (-10)	1.37			
10月	0.56 (23)	0.61 (24)	1.08	0.78 (185)	0.79 (185)	1.02	0.14 (33)	0.16 (26)	1.12			
11月	0.60 (32)	0.62 (30)	1.04	0.82 (191)	0.83 (190)	1.01	0.25 (33)	0.26 (29)	1.02			
12月	0.75 (21)	0.73 (23)	0.98	0.82 (195)	0.82 (190)	1.00	0.31 (27)	0.34 (22)	1.10			
上の平均	0.70 (25)	0.71 (25)	1.01	0.77 (180)	0.77 (179)	1.00	0.15 (93)	0.16 (91)	1.02			
年平均	0.70 (25)	0.71 (24)	1.01	0.76 (181)	0.77 (180)	1.00	0.06 (34)	0.08 (23)	1.47			



第2図 a) 日本の年平均 S_1 の振幅分布。単位はhPa。等値線の間隔は0.1hPa。b) 同位相分布。単位は経度補正した角度。

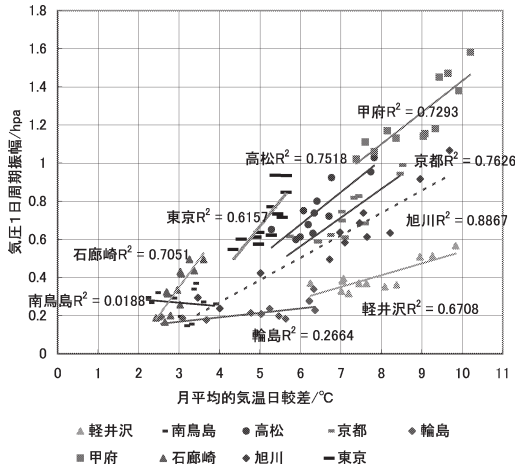
時にかけてのものが多く、これはアメリカでの多くが7時である (Mass *et al.* 1991) のとかなり異なっ

ている。一方山岳測候所での位相は平地とは大きく違い、富士山頂では15:47、剣山では13:08、伊吹山では08:49、阿蘇山では06:22、日光では00:55である。

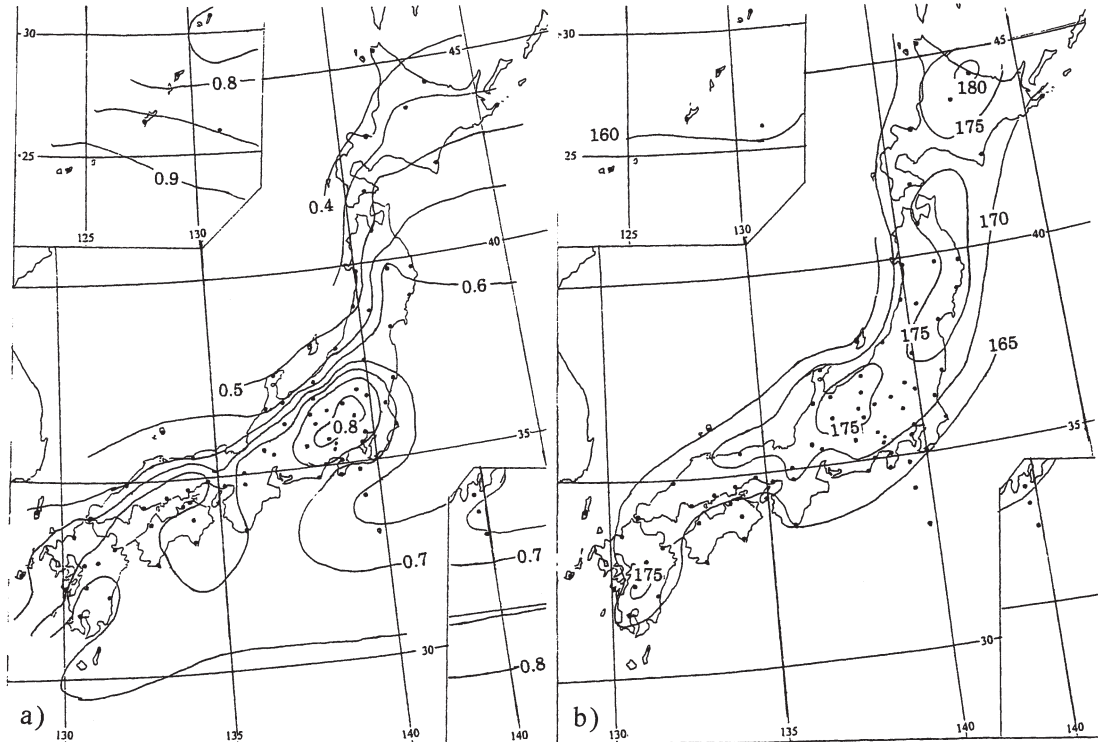
4.2 S₂の年平均の振幅と位相

第1表 a, b には S₂の年平均の振幅と位相も示している。第4図 a, b に日本付近の S₂の振幅と位相の等値線図を示す。なお、ここでは海拔1000メートルを超える地点での値は除いている。S₂の年平均振幅は緯度が高くなると小さくなる傾向があるが関東地方から中部山岳の地点では他の同一緯度の地点と比べて大きくなっており、地形の影響を受けているように見える。位相は経度補正をして、地方平均太陽時に換算している。全体的に見ると Haurwitz (1956) (Lindzen 1990による) が示したように165°の等値線で囲まれているが、内陸部で大きい(極大時刻が早くなる)。

第5図に太平洋側と日本海側(東シナ海側を含む)に分けた S₂の年平均の緯度分布を示す。太平洋側、日本海側とも緯度が高くなるにつれて S₂はほぼ直線



第3図 日本の9地点における月平均的な気温日較差と月平均 S₁の相関図。



第4図 a) 日本の年平均 S₂の振幅分布。単位は hPa。等値線の間隔は0.05 hPa。b) 同位相分布。単位は経度補正した角度。

的に減少しているが両者には系統的なずれがあり、同緯度なら太平洋側の方が大きい。この理由はよくわからないが、 S_2 も地球規模での大気潮汐波の上に地形の影響が重なっているものと思われる。第6図 a, b にほぼ同緯度にある太平洋側の宮古、内陸部の盛岡、日本海側の秋田での月毎の S_2 の振幅と位相（極大になる地方視太陽時）を示す。宮古の振幅は秋田のそれより常に大きい。3月から10月にかけては内陸部の盛岡の振幅が宮古のそれより少し大きくなっており、地

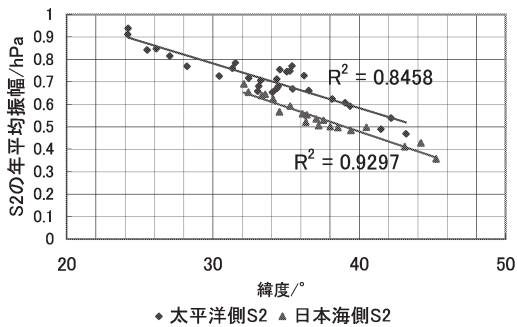
形の影響を受けるものと考えられる。位相は宮古から盛岡、秋田と順に遅れている。宮古と秋田の経度差から平均的な位相速度を求めると4度/時程度で、太陽に同期した速度である15度/時に比べるとかなり小さくなっている。

Spar (1952) はアメリカ合衆国の100地点での年平均の S_2 の振幅と位相を決めた。それによると、振幅の等値線はほぼ緯度線に沿っているものの、東海岸から100-200マイル内陸に入った線にそって相対的に大きいところがあり、最も小さな地点は西海岸沿いであることを示した。さらに大陸分水界（ロッキー山脈）の地点では同緯度に比べて大きくなることを示した。日本列島とアメリカ大陸では東西方向の距離に隔たりがあるが、米国でも東部の方が西部に比べて大きく、 S_2 にも日本と同様に地形の影響が現れている。

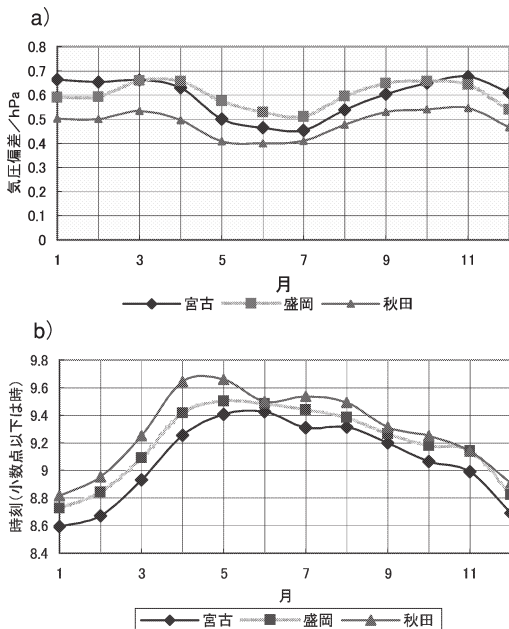
第7図に南鳥島と石垣島の経度差と位相差から算出した月毎の S_2 の位相速度（経度差/時）を示す。12月1月には15度/時に近いが夏期は12度/時である。これはおそらく、ここで求めた S_2 は太陽に同期したものだけでなく、停滞している項や東進する項なども含まれているためと思われる。

日本での S_2 の極大時刻（地方平均太陽時）は9時から9時45分（石垣島）の間にあるが大部分は9時30分より早く、全平均は9時22分である。九州南部から沖縄にかけての西南日本で遅くなっている。また1000メートルを超える地点では位相が遅れる傾向が見られる（伊吹山09:40、富士山09:36、剣山09:51、阿蘇山09:40）。しかし、 S_1 のように他地点と大きく異なることはない。

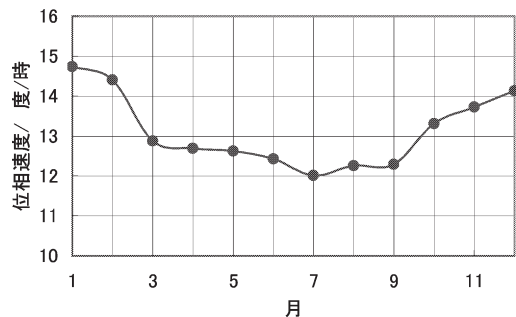
Hamilton (1980) は、日本での極大時刻が異常に早いと述べている。ここでの結果も普通よく言われる



第5図 太平洋側と日本海側（東シナ海，オホーツク海を含む）の S_2 の緯度分布。



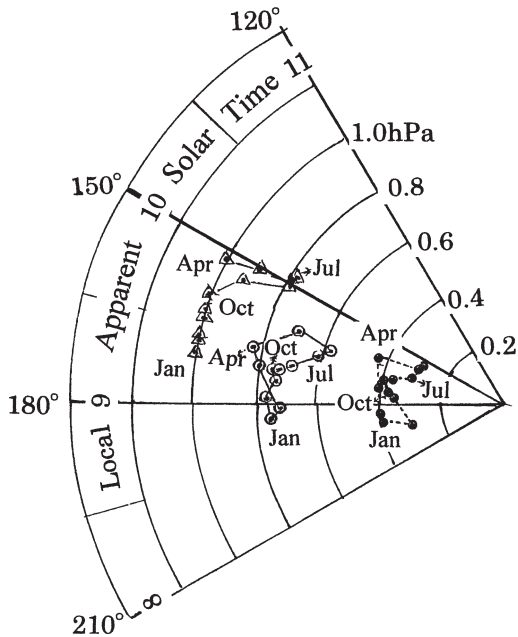
第6図 a) ほぼ同緯度にある宮古，盛岡，秋田における S_2 の振幅。b) 同位相（極大時刻）



第7図 南鳥島と石垣島の S_2 の位相と経度差から求めた S_2 の月平均位相速度。

10時頃に極大があること（例えば、澤田 1979；加藤 1988）と違って、9時台前半であり、Hamilton (1980) とよく合っている。なお、島田 (1994) の本では山田 (1965) を引用して極大が9時頃であることを述べている。

第8図に観測点最北の稚内、日本のほぼ中心に近い京都および南西端の石垣島の各月毎の S_2 のハーモニックダイヤル（振幅と位相（極大の時刻））を示す。なお、ここでの時刻は均時差補正をした地方視太陽時（Local Apparent Solar Time）である。稚内、京都での12月1月では極大時刻は9時より早い。3地点とも6月、7月の夏季に振幅は小さくなっており、極大時刻も遅くなっている。この傾向は日本中どこでも同様の傾向がある。松本でのハーモニックダイヤルは岩井・宮下 (2005) に示されている^{††}。石垣島では10月から4月にかけて位相は変化するが振幅は約1 hPaではほぼ一定である。また石垣島では夏季には通常よく言われる10時頃に極大になっている。



第8図 稚内、京都、石垣島における S_2 のハーモニックダイヤル。位相は地方視太陽時。△：石垣島、○：京都 ●：稚内

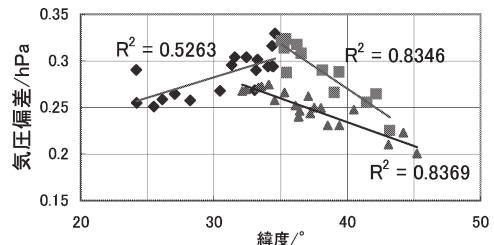
^{††} 松本でのハーモニックダイヤルでLocal Mean Solar Timeとなっているのは誤りでLocal Apparent Solar Timeであるのでこの場で訂正しておく。

4.3 S_3 の12月、1月の平均の振幅と位相および年変化

第1表 a, b には S_3 の12月、1月およびその平均の振幅を示す。 S_3 も甲府や前橋が大きいのが分かる。第9図に太平洋側と日本海側における S_3 の12月、1月の平均振幅の緯度別分布を示す。太平洋側は北緯35度以南と以北に分けて示している。日本海側では低緯度の地点があまりないがこの範囲で緯度が高くなるにつれて S_3 の振幅は減少している。太平洋側では北緯35度付近に極大があり、これより以南では低緯度ほど小さくなっており、以北では高緯度ほど小さくなっていく。

S_3 の振幅の緯度変化については詳しい研究はあまりないが、最近Ray and Poulou (2005) はアメリカ合衆国での180地点で S_3 の振幅を決めた。それによると、冬期には30°から35°付近にかけて0.3 hPaの極大があり、それより高緯度と低緯度側で減少していることを示している。

S_3 の年変化については岩井 (2007) が述べたが、次節で示す第3表の S_3 からわかるように、4月、9月では振幅が小さく、この月を境に位相が急変しており、夏期と冬期では位相が逆転している。各月の気圧偏差を12ヶ月平均して調和解析すると年平均の S_3 が求められるが日本全体で0.04~0.08 hPaと大変小さい。これは前述のように夏期と冬期で位相が逆転するために1年を通すと互いに相殺するためである。完全に相殺しないのは冬期の方が夏期より振幅が大きいことと、期間も冬期は10月から3月までの6ヶ月に対し夏期は5月から8月までの4ヶ月で冬期の方が長いことである。各月で決めた S_3 の年平均は前述の年平均の S_3 よりかなり大きい。これは、振幅だけを見るとすべて正の値であるため、相殺しないからである。



◆ 太平洋側35度以南 ■ 35度以北 ▲ 日本海側 S_3

第9図 太平洋側と日本海側（東シナ海、オホーツク海を含む）の S_3 の緯度分布。

4.4 毎時と3時間毎のデータの調和解析の比較

本論文では毎時のデータを用いて調和解析をしたが過去の論文では3時間毎の1日8個のデータの調和解析例がある(例えばDai and Wang 1999; Kong 1995; Mass *et al.* 1991の現地気圧データ)。

ここでは第2表に示す毎時の東京のデータを用いて、3時間毎(3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24時を抽出)との比較を試みた。第3表に3時間毎と毎時の各月の S_1 , S_2 , S_3 を示す。振幅の後のかっこ内は位相を角度(度)で表している。 S_1 , S_2 については振幅の各月の違いは最大で8%であり、位相はよく合っているが S_3 は月により、最大70%近く異なっている。このことから、3時間間隔のデータから S_1 , S_2 をきめることにはあまり問題はないが、 S_3 を決めるのには問題がある。DWは1日と半日成分だけに限っている。Kong (1995) のオーストラリアでの S_3 の季節変化はもう一度見直す必要があると思われる。

4.5 過去の文献による

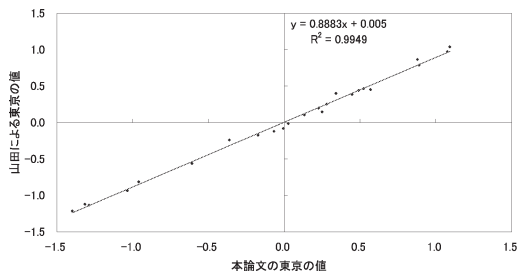
日本のいくつかの地点の S_1 , S_2 と本論文の結果の比較

第4表にHamilton (1980) による函館他5地点, Chapman and Westfold (1956) による札幌他3地点, Ray (1998) による硫黄島およびOkada (1931) による那覇他8地点における S_1 , S_2 を示す(Okadaによる東京の S_2 の振幅と位相はそれぞれ0.80 hPa, 151°16' (09時57分) となっているが、他地点とかなり違っているため表記違いと思われるので元の気圧データを用いて再計算して訂正した)。位相の時刻は(1)式を用い、筆者らが(時, 分)の単位に直した。 S_2 は熊本, 那覇で0.1 hPa, 長野, 東京で0.06~0.07 hPaほど本論文の値の方が大きくなっている。第10図に第2表に示

したOkada (1931) (山田 1965による)と本論文の東京の気圧偏差値の散布図を示す(山田の本では気圧の単位にmmHgが使われているがhPaに換算している)。図からわかるように両者の相関は非常によいが回帰直線の勾配が1になっておらず本論文の値の方がわずかに大きい。山田の本にはOkada (1931)の値が引用されているが、前述のように S_2 の振幅, 位相の計算に表記違いがあると思われるので、計算し直した S_1 , S_2 , S_3 の振幅と第2表の年平均値から決めた S_1 , S_2 , S_3 を次に示す。はじめの S_1 , S_2 , S_3 は振幅(hPa)で後の方が位相(角度, 経度補正はしていない)である。かっこ内の数字ははじめが山田, 次が本論文の値である。 S_1 (0.600, 0.707), S_2 (0.706, 0.766), S_3 (0.083, 0.084), S_1 (20.3, 23.9), S_2 (176.9, 179.8), S_3 (24.8, 22.7)。位相はかなりよく合っているが S_1 , S_2 の振幅は本論文の方が少し大きい。本論文および過去の論文において、振幅や位相の誤差について論じられていない。したがって、上記

第4表 過去の論文, 報告集による日本の各地点における S_1 , S_2 の値

Hamilton (1980)							
観測点	緯度	経度	Record (yr)	S_1 振幅 (hPa)	S_1 位相 (h : m)	S_2 振幅 (hPa)	S_2 (h : m)
Hakodate	41.8°N	140.7°E	5	0.376	2 : 53	0.434	9 : 13
Hiroshima	34.4	132.4	5	0.677	4 : 34	0.682	9 : 22
Matsuyama	33.8	132.8	5	0.49	4 : 46	0.62	9 : 28
Nagano	36.6	138.2	5	0.733	4 : 16	0.657	9 : 09
Nemuro	43.3	145.6	5	0.292	3 : 37	0.431	9 : 13
Wakayama	34.2	135.2	5	0.572	4 : 49	0.633	9 : 35
Chapman and Westfold (1956)						S_2 振幅 (hPa)	S_2 (h : m)
Sapporo	43.1 N	141.4 E	40			0.407	9 : 07
Tokyo	35.7	139.8	43			0.71	9 : 22
Kumamoto	32.8	130.7	37			0.633	9 : 33
Naha	26.2	127.6	33			0.749	9 : 44
Ray (1998)							S_2 (h : m)
Iwo jima	24.5	141.3	4	0.244	4 : 00	0.815	9 : 58
Okada (1931)				S_1 振幅 (hPa)	S_1 位相 (h, m)	S_2 振幅 (hPa)	S_2 (h, m)
Naha	26.2 N	127.7 E		0.240	4.42	0.728	9.45
Nagasaki	32.7	129.9		0.339	5.14	0.593	9.36
Hiroshima	34.4	132.4		0.635	4.46	0.671	9.24
Kobe	34.7	135.2		0.505	4.49	0.628	9.29
Nagoya	35.2	137.0		0.617	4.34	0.649	9.29
Tokyo	35.7	139.8		0.600	4.58	0.706	9.25
Niigata	37.9	139.1		0.271	4.48	0.492	9.20
Sapporo	43.1	141.3		0.345	3.13	0.404	9.06
Nemuro	43.3	145.6		0.255	3.29	0.409	9.21



第10図 第2表に示した本論文と山田による東京での年平均の毎正時の気圧偏差の相関図。

の東京の例で本論文と岡田の結果の違いが誤差の範囲であるのか、統計をとった年代等の違いによるのか明瞭ではない。気圧の日変化を出す上で最も大きい誤差の生じる原因は発達した低気圧の通過による気圧の擾乱である。特に1日以内に数10hPaも変化する低気圧が通過した場合は月平均の日変化は大きく乱れる。本論文ではそのような擾乱は統計から除いた。統計から除く基準は必ずしも明確ではないが、毎正時の気圧の一月分の標準偏差が時刻毎に大きく異なる場合はその原因となる擾乱の1日分あるいは2日分を統計からのぞいて、各正時の標準偏差がほぼ一定になるようにした。地域的には東北地方から北海道にかけて特に冬期に擾乱が通過することが多く誤差が大きいと考えられる。年による違いもあるが、統計年数を多くとることにより、日変化の最確値に近づくとと思われる。しかし、本論文では数値的に誤差の範囲を示すことができない。その他、Cooper (1984) が指摘するように、気圧計を交換することにより大気潮汐値に20パーセント近く変化があるとのことで、その影響がでている可能性もあるがはっきりとはわからない。

5. まとめ

日本の85の地点で1992年から2003年までの12年間のデータを用いて、月毎の毎時の現地気圧の平均値を算出した。これを基に日平均値からの偏差を調和解析して1日周期成分 (S_1)、半日周期成分 (S_2)、1/3日周期成分 (S_3) の振幅、位相の値を決めた。 S_1 、 S_2 については主として年平均について、 S_3 については12月、1月の平均について論じた。まとめると次のとおりである。数値は第1表に載せている。

- ① S_1 の振幅は内陸部、特に盆地にある地点で大きく、年平均で S_2 より大きい地点があった。最も

大きかった地点は甲府で4月には約1.6 hPaに達し、年間の平均で1.2 hPaであった。

- ② S_1 の振幅は瀬戸内海地方を除いて、島を含め海辺にある地点では比較的小さい傾向があった。月平均的な気温日較差と相関があるが、回帰直線の勾配は地点により異なる。南鳥島では相関はなかった。
- ③ S_1 の位相は3時から5時にかけて極大になる地点が多く、北米大陸の7時頃になる結果と異なっていた。
- ④ S_2 の振幅は緯度が高くなるにつれてほぼ直線的に減少するが、太平洋側と日本海側では系統的に違い、同緯度なら太平洋側の方が大きかった。関東地方から中部地方にかけて内陸部では同程度の緯度の場所に比べてやや大きくなっている。
- ⑤ S_2 の位相は、Haurwitz (1956) が示したように、 165° の等位相線が日本列島を取り囲んでいるが、内陸部では約 175° (極大時刻は09:10分) を示す地点が多かった。これはこれまでよく言われているヨーロッパやアメリカでの10時頃に極大があることとかなり異なる。
- ⑥ 12月、1月の平均の S_3 の振幅は太平洋側では 35° N 付近に極大があり0.33 hPaであるが、日本海側 (オホーツク海、東シナ海を含む) では、 S_2 の振幅と同様、系統的に小さく、緯度と共に減少していた。稚内では0.2 hPaであった。
- ⑦ S_3 の振幅の年平均は0.04 hPa-0.08 hPaで大変小さい。これは S_3 の位相が夏期と冬期で逆転するためである。

これらのことから、 S_1 は地形の違いによる地表面付近の熱的影響を強く受けるのに対し、 S_2 、 S_3 はかなり規則正しく変化する気圧波として振る舞っている。しかし、 S_2 、 S_3 も地形の影響をうけて、太平洋側とオホーツク海、東シナ海を含めた日本海側で振幅が小さくなることが明らかとなった。

謝辞

元気象大学校 (現在名古屋地方気象台) の三田昭吉氏からは山田氏による気象大学校の古いテキストの一部をコピーして送って頂いた。感謝いたします。

参考文献

Chapman, S. and K. C. Westfold, 1956: A comparison of the annual mean solar and lunar atmospheric tides in

- barometric pressure, as regards their worldwide distribution of amplitude and phase. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **8**, 1-23.
- Cooper, N., 1984 : Errors in atmospheric tidal determination from surface pressure observations. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **110**, 1053-1059.
- Dai, A. and J. Wang, 1999 : Diurnal and semi-diurnal tides in global surface pressure fields. *J. Atmos. Sci.*, **56**, 3874-3891.
- Hamilton, K., 1980 : The geographical distribution of the solar semidiurnal surface pressure oscillation. *J. Geophys. Res.*, **85**, 1945-1949.
- Haurwitz, B., 1956 : The geographical distribution of the solar semidiurnal pressure oscillation. *Meteor. Pap., New York Univ.*, **2** (5), 1-36. (Lindzen 1990による)
- Haurwitz, B. and A. D. Cowley, 1973 : The diurnal and semidiurnal barometric pressure oscillations : Global distribution and annual variation. *Pure Appl. Geophys.*, **102**, 193-222.
- 岩井邦中, 2007 : 日本の低緯度の島, 山岳測候所, および中部地方の諸地点における気圧 1 / 3 日周期成分の振幅と位相. *天気*, **54**, 169-174.
- 岩井邦中, 宮下恵美子, 2005 : 中部山岳地域の諸地点における気圧日変化. *天気*, **52**, 831-836.
- 加藤 進, 1988 : 大気にもある潮汐. *気象のはなし I*, 技報堂出版 (光田 寧編著), 39-45.
- Kobayashi, K., 1893 : *The Climate of Japan*. Central Meteorological Observatory, 40-49.
- Kong, C.-W., 1995 : Diurnal pressure variations over continental Australia. *Aust. Meteor. Mag.*, **44**, 165-175.
- Lindzen R.S., 1990 : *Dynamics in atmospheric physics*. Cambridge Univ. Press, 310 pp.
- Lindzen R. S. and S. Chapman, 1969 : Atmospheric Tides. *Space Sci. Rev.*, **10**, 3-188.
- Mass, C. F., W. J. Steenburgh and D. M. Schultz, 1991 : Diurnal surface-pressure variations over the continental United States and the influence of sea level reduction. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 2814-2830.
- Okada, T., 1931 : *The climate of Japan*. 103-106.
- Ray, R. D., 1998 : Diurnal oscillations in atmospheric pressure at twenty-five small oceanic islands. *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 3851-3854.
- Ray, R. D., 2001 : Comparisons of global analyses and station observations of the S₂ barometric tide. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, **63**, 1085-1097.
- Ray, R. D. and R. M. Ponte, 2003 : Barometric tides from ECMWF operational analyses. *Ann. Geophys.*, **21**, 1897-1910.
- Ray, R. D. and S. Poulou, 2005 : Terdiurnal surface-pressure oscillations over the continental United States. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 2526-2534.
- 澤田龍吉, 1979 : *超高層空間の謎*. 講談社, 180 pp.
- 島田守家, 1994 : *やさしい気象教室*. 東海大学出版会, 201 pp.
- Spar, J., 1952 : Characteristics of the semi-diurnal pressure wave in the United States. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **33**, 438-441.
- 山田国親, 1965 : 一般気象学 (II). *気象大学校*, 60-64.

Harmonic Analyses of Diurnal Pressure Oscillations at Eighty Five Stations over Japan

Kunimoto IWAI*, Chiaki SAKAINO** and Yuya SUGIYAMA***

* *Faculty of Education, Shinshu University.*

** *Yamanouchi junior high-school, Yamanouchi, Nagano Pref.*

*** *Yumenodai senior high school, Kobe, Hyogo Pref.*

(Received 11 September 2007 ; Accepted 12 March 2008)
