

徳島市で32年ぶりに震度4を記録した地震について

許斐 直・近藤 和男

ON THE EARTHQUAKE FELT WITH JMA INTENSITY SCALE 4 IN TOKUSHIMA CITY AFTER AN INTERVAL OF 32 YEARS

By *Tadashi* KONOMI and *Kazuo* KONDO

Synopsis

Many people felt the earth shake strongly in Tokushima city on June 13, 1994.

Consequently the elevators in buildings stopped automatically, and the transportation facilities were inspected for safe. Shallow earthquake with magnitude 4.1 occurred just under the city area.

The earthquake accompanied one small foreshock and 25 aftershocks in about 3 days.

We examined the precise location and focal mechanism solution of this earthquake by taking use of high sensitive seismogram and strong motion seismogram.

1. はじめに

1994年6月13日11時13分徳島市中心部で強い地震動が感じられた。この影響でビルのエレベーターが自動的にストップした。又、鉄道・高速道路・空港では安全点検を行って異常の無い事を確認した上で正常復帰した。徳島地方気象台の計測震度計は最大加速度97.1 gal, 震度4を観測した。徳島市で中震(震度4)を記録したのは1962年1月4日に和歌山県田辺市沖で発生したマグニチュード6.4(深さ40 km)の地震以来32年振りであり、又1963年から後の年間有感地震回数は平均して5回程度と少ない事もあって突き上げる様な揺れに市民は大きな驚きを示した。幸い震源近くの強震観測データを入手出来たので、これまで不明であった震源決定の精度なども明らかにする事が出来た。

2. 震源位置

大阪管区気象台によればこの地震の震源は $134^{\circ}36.7' E$, $34^{\circ}4.6' N$, 深さ10 kmに求められ震央は吉野川河口付近に位置する。又発震時刻は11時13分37.43秒, マグニチュードは4.1である。一方微小地震観測網の観測値に徳島気象台の値を加えて求めた震源はFig. 1のA ($134^{\circ}35'52'' E$, $34^{\circ}5'12'' N$)の位置, 深さ7.7 kmで発震時は37.53秒である。これらの震源はほぼ一致していると見て良い。徳島気象台(TKS)から見ていずれの震源も第1象限にあるが、ここの59型地震計初動は西・南・引きで明らかに矛盾している。又徳島気象台より約10 km西にある徳島観測所(石井ISI)でもその初動の方位からは東方・やや南側と推定される。

この初動方向と震源位置の矛盾を解決するため利用可能なデータを捜した所、徳島市津田町(Fig. 1 TSUD)の港湾建設局のERS-G型強震計が明瞭な波形を記録していた。(Fig. 2)この記録は時刻精度が

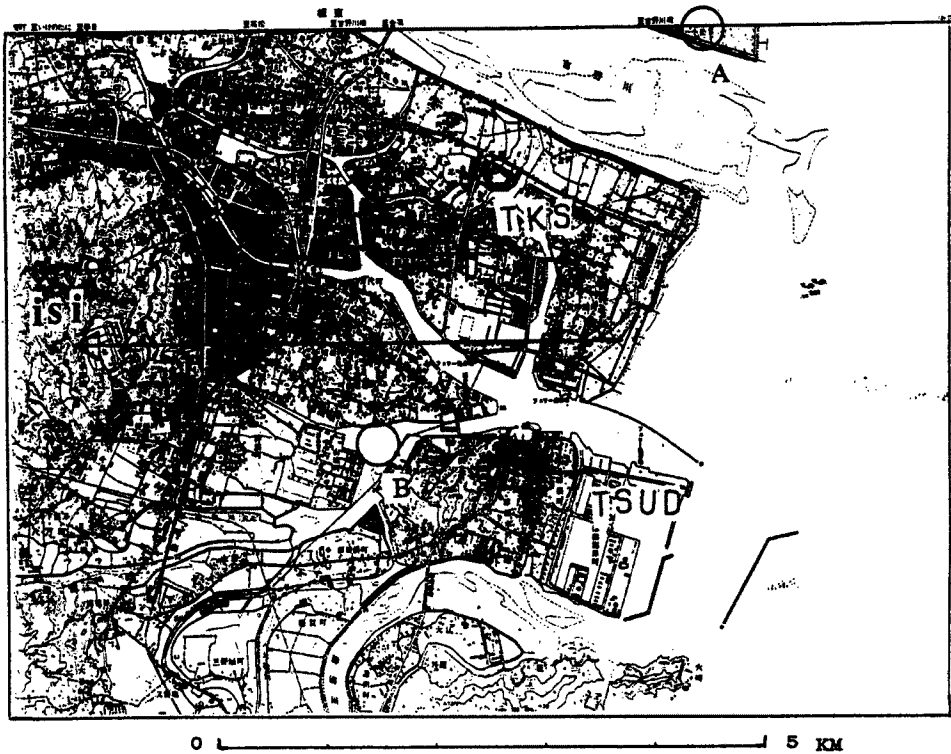


Fig. 1. Location map of epicenter and observation station. A is the epicenter by wide spreading network and B is by local network. TKS is the point of Tokushima meteorological agency and TSUD is of Construction office of harbor (Tsuda). ISI is located in the direction of an arrow.

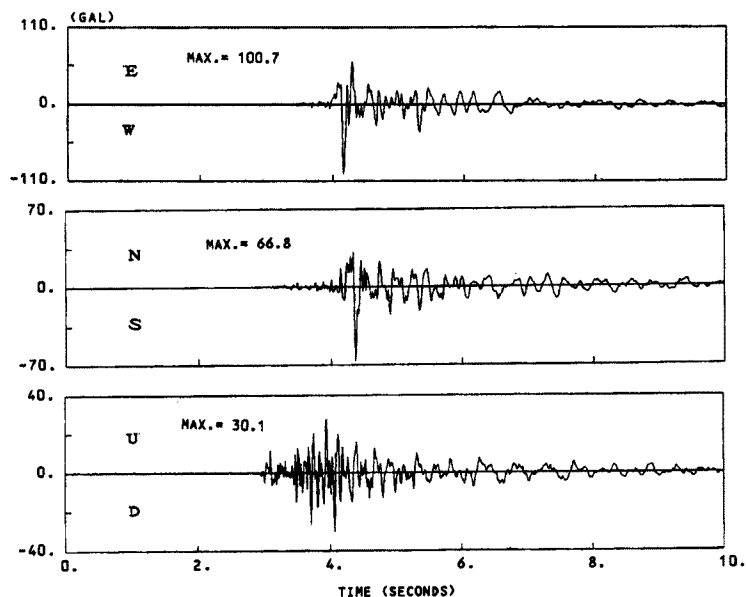


Fig. 2. Strong motion seismogram of ERS-G seismometer controlled by Construction office of harbor. (situated in Tsuda cho) First P motion is detected as dilatational wave and clear S wave is read by E-W component.

悪いのでP時刻は使えないが上下動の立ち上がり(引き),及びPS時1.00秒を得る事が出来る。この値及び徳島気象台のPS時1.00秒及び石井のPS時1.85秒(前震の値)を用い大森定数 $K=8.0\text{ km/s}$ を仮定して作図によって求めた震源がFig. 1 B ($134^{\circ}33'55''\text{ E}$, $34^{\circ}02'56''\text{ N}$ 深さ7.5 km)である。広域の観測網で求めた震源Aから約5 km 南西の地点となった。

3. メカニズム解

震源が浅く地震の規模もそれ程大きくなかったが,多くの観測点でのP波初動の押し引きのデータが得られた。Fig. 3にこれらの初動分布を白丸を引き,黒丸を押しとしてプロットした。図には筆者等が定常的な震源決定に於いて主に用いている微小地震観測点の名称を記入してある。南の海側の点が少ないが東西の領域に引き,南北の領域に押しの点が分布するストライクスリップ型である事が明らかである。

ここに求められた約60個の押し引きデータを用いて先の震源に対して震源球解を求めた。仮定したP波の速度構造は5.5 km/s層が厚さ5 km, 6.1 km/s層を厚さ15 km, 6.7 km/s層を厚さ15 km, としモホ面を深さ35 kmとしてこれ以下を7.8 km/sと仮定した。

計算及び図示の方法は許斐他(1992)¹⁾に述べられている。Fig. 4にこの結果を示した。P軸は東西方向より反時計まわりに 5° 又水平より 10° 東上りの方位となった。一方T軸は南北より 8° 反時計まわりそして水平より 15° 北上りに偏っている。

ここに得られた解は徳島気象台(TKS)を除く62点の押し引きデータより求めたものでTKSの白丸(引き)は後でその位置に図示した。須鎗等(1972)²⁾によれば徳島気象台付近での沖積層の厚さは30~35 mであるがこの下の洪積層(北島層)の基底は不明である。又坂出・一字爆破による三波川帯の地下構造は表層に1 km程度の薄い4.8 km/sの層がありその下に5.9 km/s層が分布しているものが考えられている³⁾。一方木村等⁴⁾は三波川結晶片岩層でのP波速度を5.5 km/sとして深さ3 km程度から5.9 km/s層の地震発生層(花崗質層)が存在すると考えている。いずれにしても成層をなす広域のP波の速度構造に対して明らかに矛盾するTKSの引き波であるが観測点直下の局所的な構造を考慮すれば解決可能である

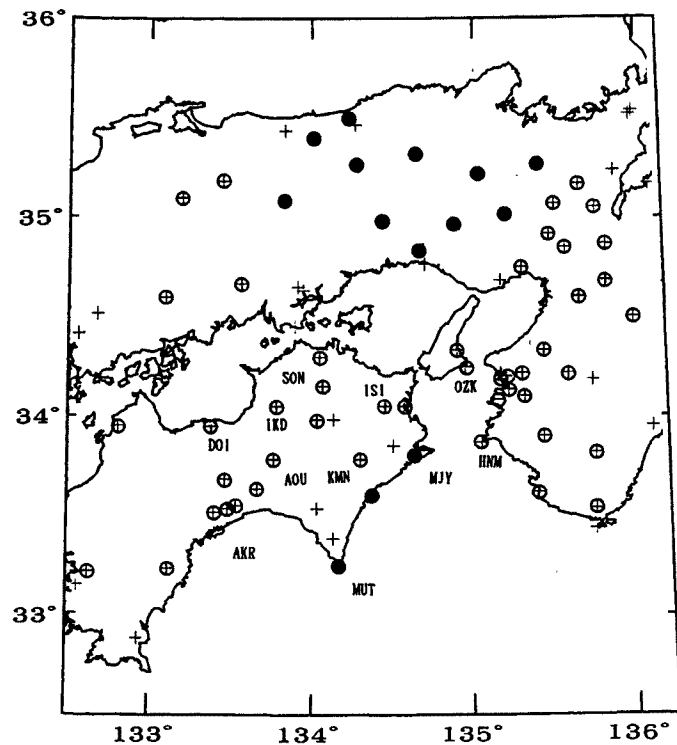


Fig. 3. Push and pull distribution of P first motion. Open circles are dilatational and solid ones compressional, respectively. Named stations are used for hypocentral determination usually. The polarity of TKS station is contradictory to the solution, but it may be possible that the contradiction is explained by refraction through discontinuity of inclinational P wave structure.

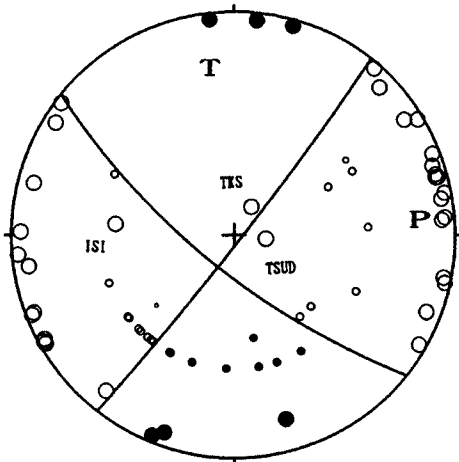


Fig. 4. Focal mechanism solution. (projected on upper hemisphere of Wulff's net) Names of local observation station are entried. Parameters of solution are, P (A, D=85°, 10°), T (A, D=352°, 15°), N (A, D=207°, 72°), N1 (A, D=39°, 72°) and N2 (A, D=308°, 86°).

列を示した。本震及び18日2時47分、20日3時47分の地震を中心に間歇的に地震が発生して21日の4時には完全に終息した。Fig. 5には極く小さな余震を含めてS-P時間の範囲(1.7~2.2秒)を示したが実際には1.85~2.2秒と考えて良い。即ち大森定数を8.0 km/sとすると2.4 km程度の広がりである。尚震源決定の際、石井に対しては前震のPS時間を用いたが明神山と石井のP時刻の差(P:Mjy-Isi)から判断して妥当な事が分かる。

かどうかは、大森定数kを8.0 km/sと仮定して行った今の震源位置が妥当であるかどうかの検討を含めて行う必要があるのでこの項ではこれ以上立ち入らない事とする。

4. 地震系列

この地震は12分前に1個の小さな前震を伴った。又約3日間に25個の余震が発生した。多くのは石井観測点の煤書きモニター記録にだけ記録されただけの小さなものであったが、この内の主なものをTable 1に示す。4点以上で震源の求められた地震(MAEQ処理)は20日3時47分のみであった。Fig. 5にこれらの時系

Table 1. List of earthquakes with magnitude over 1.0. S-P time spread mainly within 0.25 sec.

NO.	D	H	M	V	N	E	PS	MG	Mjy-Isi
01	17	11	01	-I 4.2	-I	+I	1.85	1.4	3.28
02		11	13	-I S.0.	-I	+I		4.0	3.27
03		11	14	-I S.0.		+I	1.87	1.1	
04		11	17	-I 4.5	-I	+I	1.90	1.4	
05		12	14	-I 5.1	-I	+I	1.90	1.5	
06		12	49	-I 4.9	-I	+I	1.90	1.5	
07		13	27	-I 2.3	-I	+I	2.00	1.1	
08	18	01	38	+I 0.3		-I	1.80	1.0	
09		02	09	-I 2.6	-I	+I	2.15	1.2	
10		02	47	-I 8.2	-I	+I	1.90	1.9	
11	19	13	18	-I 3.6	-I	+I	1.90	1.4	
12	20	02	07	-I 4.2	-I	+I	2.05	1.6	
13		02	16	-I 0.6	+I	+I	1.90	1.0	
14		03	47	-I 15.2	-I	+I	2.05	1.9	3.22
15		07	06	-I 1.8	-I	+I	2.20	1.1	

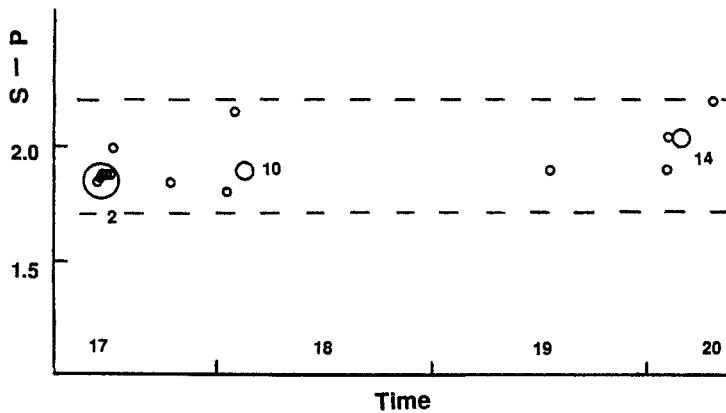


Fig. 5. The time series plotted for S-P time. NO. 2 (main shock), NO. 10 and NO. 14 are the earthquakes of the center of each burst.

5. 最近の浅発地震の分布

最近の四国地方の浅発地震の活動はかなり低調である⁹⁾。Fig. 6に1988年の半ばから6年間に筆者等が観測した地震の震央分布図を示したが徳島県の内陸部の地震でマグニチュード4以上は今回の地震だけであり (Table 2) 近年では稀な地震であった事が分かる。

図中では今回の地震をAで示し、震源位置は広域観測網による結果をそのままプロットしてある。同じ円内には直後の余震1個と8月15日に本震の位置に発生したM1.8の地震もプロットされている。又Hとしたのは日の岬沖地震群であり相変わらず活発な活動を続けている。前回報告⁹⁾以降震央分布の空隙は徐々に埋められているが吉野川中流域・讃岐山脈部分の中央構造線に広大な空白領域が存在する事は従来通りで注目に値する。又北部紀伊水道では従来ほとんど地震の発生が見られない⁷⁾がこの期間 ('94年2月及び7月) 沼島西南に2ヶの浅い地震 (N) が観測されている。いずれもM2程度の小さな地震であるが非常に珍しい地震である。

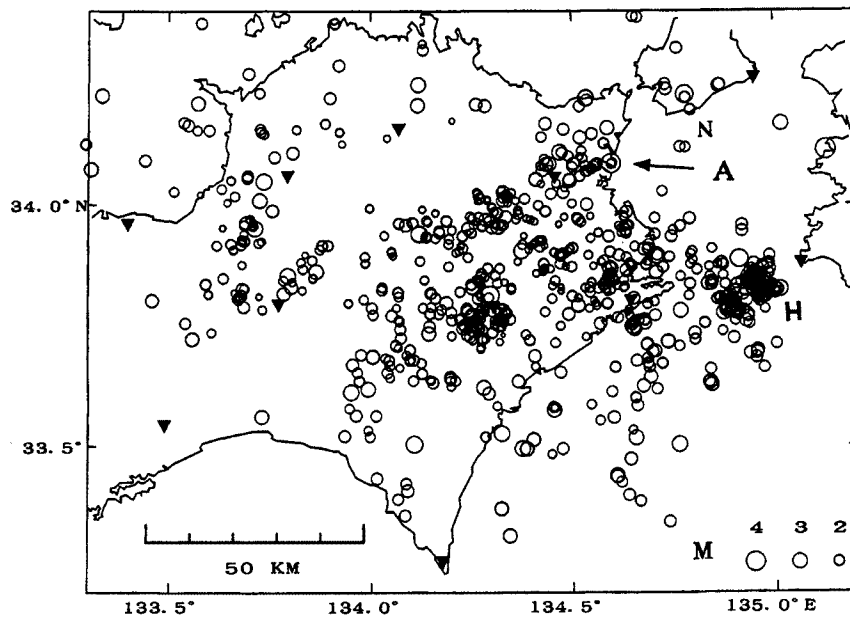


Fig. 6. Distribution of epicenters in the crust ($H < 23$ km, 1988. 8-1994. 8). A, H and N denote earthquakes of Tokushima city, off Hinomisaki and near Nushima, respectively.

Table 2. List of earthquakes with magnitude above 4.0 in the period from August 1988 to August 1994. The center of coordinate is the cross point of 134° E and 34° N lines.

Y	M	D	H	M	S	X	Y	Z	M	Region
91	03	10	15	01	40.11	87.4	-16.4	3.5	4.1	Off Hinomisaki
91	08	20	22	23	17.73	89.4	-20.1	13.4	4.0	Off Hinomisaki
93	08	16	06	44	33.40	104.2	13.1	22.0	4.2	Wakayama Pref.
94	05	08	17	02	0.50	104.5	12.6	18.2	4.8	Wakayama Pref.
94	06	17	11	13	37.53	52.2	5.4	7.5	4.1	Tokushima City

6. まとめと今後の課題

地質帯として三波川帯に属する地域の上部地殻では深さ約 3 km から 10 km に地震が分布する⁹⁾。今回の地震はこの地震発生層の中で起こったが、震源が極めて浅かったため震央付近で強い地震動があった。震源決定に強震計から得られた S-P 時を用い大森定数 k を 8.0 km/s と仮定したが、この値は極く近い震源に対してはかなり大きすぎるようである。石井観測点で観測される地震の S-P 時の最小値は 0.6 秒程度であるが地震層の上面を深さ 3 km とすると k は 5 km/s となる。沖積層・洪積層の上にある徳島気象台及び三波川結晶片岩が近くに露出している津田、そして震央距離約 10 km の石井のそれぞれに対する k の値の選び方によって震源はさらに浅くなり水平方向にも若干移動する可能性がある。この地震の震源決定の結果、従来から求めて来た広域の観測網による位置は場所により少なくとも 5 km 程度の誤差を伴う事が分かった。これをより正しい値にするためには方位による速度構造の相違を考慮して行かなければならない。

7. 謝 辞

この地震の験震あるいは波形資料を以下の観測所、機関の方より提供戴いた。東京大学地震研究所和歌山地震観測所、高知大学理学部高知地震観測所、京都大学防災研究所阿武山観測所・鳥取観測所、岡山大学理学部地学科、大阪管区気象台、徳島地方気象台、運輸省港湾技術研究所。又奈良気象協会松本久氏には徳島気象台の 59 型地震計初動と広域観測網による震源位置の矛盾について指摘下さり、研究を促進させるきっかけを与えて下さった。ここに記して感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 許斐 直・渡辺 晃・伊藤 潔・近藤和男：四国東部および周辺地域における地震の発震機構，京都大学防災研究所年報，第 35 号，B-1，1992，pp.333-346.
- 2) 須鎗和巳・阿子島功：四国東部および淡路島の海岸平野の原形，地質学論集，第 7 号，1972，pp.161-170.
- 3) 井上 公・浅野周三・吉井敏尅・松村一男・村上寛史・佐々木嘉三・多田 堯：1980 年坂出・一字爆破地震動観測による四国北東部の地殻構造，地震第 2 輯，第 37 巻，1984，pp.163-183.
- 4) 木村昌三・岡野健之助：四国地方の下部地殻とモホロヴィッチ不連続面，高知大学学術研究報告，第 4 巻，自然科学分冊，1991，pp.49-61.
- 5) 高知大学理学部高知地震観測所：地震予知観測の成果(3)一近畿・中国・四国・九州・沖縄地域一，地震予知連絡会地域部会報告，第 6 巻，1994，pp.72-73.
- 6) 許斐 直・近藤和男：徳島観測所の新旧観測システムの震源決定能力の比較，京都大学防災研究所年報，第 34 号，B-1，1991，pp.253-262.
- 7) 岡野健之助・木村昌三・許斐 直・中村正夫：四国及び周辺地域の震源分布，地震第 2 輯，第 38 巻，1985，pp.93-103.
- 8) 岡野健之助・木村昌三・許斐 直：四国地方の震源分布と地質構造線との関連，地震第 2 輯，第 36 巻，1983，pp.23-29.

Appendix : List of stations and phase data.

STATION	Long.	Lat.	H	P-time	pl.	S-time	Remarks
KMN Kaminaka	134 18 20.7	33 47 11.4	280	13 45.05	-	50.55	Tokushima Obs.
IKD Ikeda	133 47 34.2	34 3 34.8	340	13 49.75	-		
SON Shionoe	134 4 13.2	34 9 23.0	286	13 46.13	-	52.32	
ISI Ishii	134 27 29.0	34 3 26.4	27	13 40.09	-		S-P (1.85)
MJY Myojinyama	134 38 47.7	33 48 5.0	380	13 43.36	+	47.54	Wakayama Obs.
KZG Kozagawa	135 45 42.1	33 32 12.9	20	13 57.59	-		
OZK Oishizaki	134 57 9.1	34 15 52.3	112	13 44.29	-		
HNM Hinomisaki	135 3 59.6	33 52 55.8	189	13 45.89	-	51.77	
SHR Shirahama	135 24 39.0	33 37 47.0	170	13 53.13	-		
ARD Arida	135 09 42.0	34 05 07.0	41	13 45.61	-		
WKM Wakayama	135 10 02.0	34 11 27.0	5	13 46.11	-		
KKW Kainokawa	135 26 56.0	33 54 03.0	235	13 51.10	-		
HGU Hongu	135 45 53.4	33 49 21.8	185	13 55.74	-		
OIS Oishiyama	135 19 18.6	34 6 5.3	840	13 47.99	-		
HBR Haibara	135 59 36.0	34 30 10.0	390	13 59.76	-		
KRS Katsuragisan	135 26 36.0	34 20 40.0	830	13 51.25	-		
KIS Kishinomiya	135 18 00.0	34 13 19.0	75	13 48.11	-		
ONO Ononaka	135 13 50.0	34 08 42.0	50	13 46.78	-		
CWK Wakayama-jo	135 10 33.0	34 13 27.0	45	13 46.44	-		
OKZ Okazaki	135 12 44.0	34 12 36.0	10	13 46.89	-		
GT 9 Gotanda	134 22 42.7	33 36 50.9	20		+		
AOU Aou	133 46 14.3	33 47 32.3	470	13 51.29	-	00.67	Kochi Obs.
MUT Muroto	134 10 36.3	33 15 41.8	140	13 55.06	+	07.17	
AKR Asakura	133 29 19.3	33 32 37.6	0	13 57.81	-	02.48	
DOI Doi	133 23 51.0	33 57 39.1	120	13 55.96	-	09.71	
WMY Wakamiya	133 40 30.0	33 38 31.0	230	13 54.18	-		
IHR Ishihara	133 28 16.0	33 41 17.0	510	13 56.22	-		
KUB Kubokawa	133 07 07.0	33 14 08.0	250	14 04.54	-		
SAS Sasayama	133 24 01.4	33 31 20.7	310	13 58.95	-		
RKO Rokko	135 18 06.0	34 45 50.0	540	13 54.19	-		Abuyama Obs.
ABU Abuyama	135 34 25.0	34 51 36.0	138	13 59.74	-	12.93	
UJI Uji	135 49 37.0	34 52 00.0	290	14 01.52	-		
OHM Omihachiman	136 05 01.0	35 10 26.0	120	14 06.48	-		
BHO Bomura	135 52 22.0	35 14 41.0	380	14 06.02	-		
WTJ Wachi	135 24 05.0	35 16 57.0	172	14 02.45	+		
TNJ Tannan	135 12 49.0	35 01 53.0	310	13 57.26	+		
KTN Katano	135 42 18.9	34 46 17.9	250	13 58.35	-		
KGM Kamigamo	135 45 56.7	35 03 33.5	180	14 02.48	-		
YGI Yagi	135 30 42.8	35 04 05.2	180	14 01.19	-		
MYO Myoken	135 28 13.7	34 55 31.5	640	13 57.84	-		
KHK Keihoku	135 39 44.3	35 10 38.8	260	14 02.98	-		
HMT Hikami	135 02 37.0	35 13 36.0	250	14 04.91	+		Tottori Obs.
MZT Mikazuki	134 26 41.0	34 59 12.0	200	14 00.49	+		
QMT Kume	133 50 56.8	35 05 18.6	330	14 05.17	+		
TTT Tottori	134 14 16.0	35 30 52.9	10	14 09.46	+		
SNT Shikano	134 01 13.3	35 24 37.8	200	14 08.56	+		
CZT Chizu	134 17 36.8	35 16 10.1	300	14 05.03	+		
OYT Oya	134 39 56.8	35 19 18.5	230	14 06.25	+		
IZT Izumi	134 53 15.5	34 58 20.0	230	14 00.00	+		
TRT Tari	133 12 05.8	35 06 07.8	480	14 11.01	-		
HIM Himeji	134 40 24.0	34 50 12.0	39	13 51.8	+	01.6	JMA
TOK 2 Tokushima 2	134 02 54.0	33 59 0.0	180	13 46.3	-	53.2	
SMT Sumoto	134 54 30.0	34 20 06.0	110	13 44.5	-		
WKY 2 Wakayama 2	135 35 36.0	34 13 12.0	695	13 52.3	-	03.7	
TKS Tokushima	134 34 36.0	34 03 54.0	2	13 39.0	-	40.0	S-P (1.01)
KOC Kochi	133 32 12.0	33 33 12.0	17	13 57.1	-	09.5	
TKM Takamatsu	134 03 24.0	34 18 54.0	10	13 47.5	-	54.6	
TOTJ Tottori 2	134 16 18.0	35 28 42.0	27	14 03.4	-	21.9	
OWS Owase	136 11 42.0	34 04 00.0	17	14 02.1	-	18.9	
YONJ Yonago 2	133 27 48.0	35 11 18.0	320	14 03.5	-	22.6	
SHJ Shionomisaki	135 45 48.0	33 26 54.0	44	13 58.3	-	13.3	
TKU Takayasuyama	135 39 36.0	34 36 42.0	472	13 56.3	-		
MRT 2 Murotomisaki 2	134 08 36.0	33 23 12.0	0	13 53.1	-	03.0	
UWA 2 Uwajima 2	132 37 30.0	33 13 06.0	0	14 09.9	-	34.5	
TSUD Tsuda	134 35 13.5	34 02 48.6	2		-		S-P (1.00) C. O. of harbor
MHS Mihoshi	133 34 24.9	34 40 36.0	518		-		Okayama univ.
HJO Hojo	132 48 55.1	33 57 47.5	360	14 04.58	-		Shiraki Obs.
MKW Mikawa	133 06 26.0	34 36 40.0	320	14 01.92	-	19.68	