

日本沿岸の Lowest Astronomical Tide について[†]

佐藤 敏^{*1}, 熊谷 武^{*2}

On Lowest Astronomical Tide around Japanese Coasts[†]

Satoshi SATO^{*1} and Takeshi KUMAGAI^{*2}

Abstract

International Hydrographic Organization (IHO) resolved that Lowest Astronomical Tide be adopted as chart datum. The heights of LAT of 184 tide stations around Japanese Coasts are calculated with harmonic constants of 60 tidal constituents. As a result, the heights of LAT are lower than those of the present chart datum at every station, and the lowest value is more than 50 cm lower than chart datum. Furthermore, we find that it is probable that actual sea level often falls below chart datum along the coasts of Japan Sea, even if LAT is adopted as chart datum.

1 Lowest Astronomical Tide

国際水路機関 (IHO) では海図の基準面として Lowest Astronomical Tide (LAT) を採用することを決議している。LAT は平均的な気象条件の下で任意の天文学的条件の組み合わせによって予測される最低潮位として定義され、少なくとも1年間の観測から得られた調和定数による19年以上の潮汐推算から算出するか、あるいは、信頼できる結果が得られていると証明されている他の方法で算出することが求められている。地球の章動のうち最も大きなものが約18.6年周期であり、その周期で潮汐成分が変動することから、LATの算出にあたって19年以上の推算が必要である。

また、架橋等が上空に存在する場合の可航高の基準面として採用することが決議されている Highest Astronomical Tide (HAT) は、19年以上

の潮汐推算値の中での最高潮位として定義されている。

LAT は潮汐推算値の最も低い値として定義されるので、潮汐表からは負の推算値 (負潮位) が無くなり、全ての推算値がゼロまたは正の値となる。

LAT が考案されたのは英国であり、1964年から海図の基準面として導入が始まった。当時の英国の海図の基準面は、大潮平均低潮面 (Mean Low Water Springs) であったが、潮汐表で予報を行う標準港の多くで潮位予報の基準面 (つまり、海図の基準面) よりも1フィート (約30 cm) 以上下がる負潮位の予報値が掲載されており、場所によっては負潮位が3フィート (約90 cm) に達する場合もあった (Gordon, 1968)。このような状況において、負潮位現象が極力生じないように

[†] Received September 5, 2016; Accepted November 4, 2016

* 1 技術・国際課 Technology Planning and International Affairs Division

* 2 環境調査課 Environmental and Oceanographic Research Division

し、一方で、いたずらに低くならないように基準面を設定するために考案されたのが LAT である。

LAT を海図の基準面として IHO で採用することが決議されたのは 1997 年のことである。それ以前は、1919 年の第一回国際水路会議で決議された「潮汐がそれ以上にめったに下がらないような低い面」が海図の基準面の定義であった。LAT は上記のように潮汐表に掲載される推算値からは負の値が一掃されるが、気象条件等により実際の潮位が基準面よりも下がることは起こりうる。したがって、LAT を採用することは、以前に比べて「めったに下がらない」度合いが極めて低くなる高さに基準面を設定することになるとも言える。

LAT を海図の基準面として採用している国が何カ国であるかについての最近の資料はないが、2003 年の国際水路局 (IHB) の調査によると、その時点で 12 カ国が LAT を採用しており、8 カ国が採用を予定していると回答している (IHO-TC, 2004)。その後、その調査に回答していないドイツやベルギーが LAT を採用していることから、LAT を海図基準面として採用している国は少なくとも 20 カ国程度には達していると考えられる。

LAT を基準面とする海図が増加することは、航海者が海図記載水深は常に保証される水深であるとの認識を強くもつことになるため、海図記載水深よりも実際の水深が減ずることは以前より危険なことになると考えられる。その意味では、負潮位が生じると予測される場合には、注意喚起がより必要となる。例えば、東京湾水先人会が水先人を利用する船舶に配布している潮流潮汐表では、負となる潮汐予報値は赤字で記載して注意喚起している。

2 LAT の算出方法

冒頭に記したように、LAT は平均的な気象条件の下で少なくとも 1 年間の観測から得られた調和定数による 19 年以上の潮汐推算から算出するか、あるいは、信頼できる結果が得られていると証明されている他の方法で算出することとされて

いる。

海上保安庁刊行の潮汐表に掲載している潮汐予報は、験潮データから算出した 60 分潮 (Doodson, 1928) の潮汐調和定数を用いて推算している。潮汐表には標準港の LAT も掲載しているが、もちろん同じ 60 分潮の調和定数を用いて 19 年間の推算を行い、その中の最低値を LAT の値とし、最高値を HAT の値としている。

各国が潮汐予報に用いる調和定数の分潮数について確かな資料はないが、それぞれ使用する分潮数は異なっているものと思われる。例えば、米国海洋大気庁 (NOAA) では、非線形性の強い海域を除けば基本的に 37 分潮で潮汐予報を行っている (Parker, 2007)。したがって、LAT を算出するために用いられる分潮数も各国でそれぞれ異なることになる。

長期間の観測データから算出した調和定数の場合、不規則な気象擾乱による潮位変動の影響は小さくなるので、その調和定数による潮汐推算は平均的な気象条件の下での潮位変化となると一般的にみなされている。しかしながら、近年、平均的な気象条件を字義どおり解釈して、潮汐数値モデルで月平均の気圧や風応力を外力として与えて 19 年間分の計算を行い、LAT を算出する試みも行われている (Slobbe et al., 2013)。

また、調和定数の算出に 1 年間以上の観測データを必要とする条件は、K1 と S1 のように極めて近い周波数成分の分離を可能にするとともに、年周期成分 Sa 及び半年周期成分 Ssa の算出を可能にすることを目的としていると考えられるが、潮汐の年周期変動は天体の運動の作用を直接受けて生じるものではなく、水温の季節変動等の影響により生じるものであるため、LAT の算出に年周期成分を加えるかどうかについて地域水路委員会で議論されることもある (NSHC Tidal Working Group, 2015)。

以上のように、LAT の算出方法には自由度があり、各国の担当機関に委ねられている部分が多い。また、それは LAT 算出の基になる潮汐推算についても同様である。

さらに、調和定数の算出に用いる観測データの期間が異なると得られる調和定数も異なり、LATの値も異なる可能性がある。また、19年以上の期間の推算値の最小値がLATであるが、推算期間が異なると最小値が異なる可能性もある。

3 日本沿岸のLATとHATの特徴

Fig. 1 及び Table 1 に示した日本沿岸の184カ所の験潮所において60分潮の潮汐調和定数を用いて2007年から2025年までの19年間の潮汐推算を行い、それぞれの地点でのLATとHATを算出した。使用した調和定数は気象庁または海上保安庁が算出したものであり、その多くは2001年から2010年までの10年間のデータを用いているが、一部、3年以下の期間の験潮データから算出した定数も含まれている。なお、地域的特徴を見るために、184カ所の験潮所を4つの地域に区分している。日本海沿岸の験潮所を「日本海」、北海道オホーツク沿岸から房総半島までの太平洋岸の験潮所を「東岸」、本州南岸、四国南岸、九州東岸と西岸、南西諸島を「南岸」とし、3つの地域の遷移領域である津軽海峡及び対馬海峡付近の験潮所を「その他」の4つに区分した。

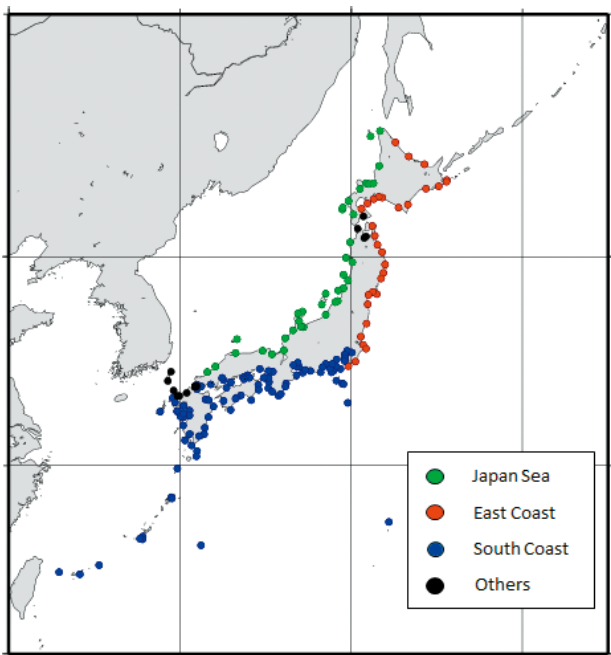


Fig. 1. Locations of tide stations.
図1. 験潮所の位置。

Fig. 2 に平均水面を基準とした場合のLATの高さを示した。184カ所の験潮所のうち、平均水面に対してLATが最も低くなるのは、有明海に位置する佐賀県の大浦で、LATの高さは平均水面下312cmである。一方、高いのは日本海に位置する北海道利尻島の杓形の平均水面下27cmである。日本海のLATは高く、日本海の38験潮所のLATの平均は平均水面下34cmである。一方、低いのは九州西岸や瀬戸内海中西部に位置する験潮所である。

Fig. 3 は各験潮所における現在の海図基準面とLATとの差を示したものである。全ての験潮所においてLATのほうが現在の基準面よりも低い。184カ所の験潮所の中で最も差が大きいのが、熊本県の本渡瀬戸の52cmとなっており、最も差が小さいのは北海道の日本海沿岸の江差の7cmとなっている。潮差の大きいところで現在の基準面とLATとの差は大きく、潮差の小さいところで基準面とLATとの差は小さい傾向にある。

一方で、潮差の小さい日本海において、基準面とLATとの差は値としては小さいものの、基準面とLATとの差を平均水面下の基準面の高さと比較すると、その比率は他の海域に比べてかなり大きな値となる。Fig. 4 に各験潮所における平均水面と海図基準面との差に対する海図基準面とLATとの差の比率を示したが、日本海においては、平均水面から見るとLATは基準面の2倍以上低くなる験潮所が現れる。日本海の38カ所の験潮所の海図基準面の平均は平均水面下20cmであり、LATは上記のとおり34cmであることから、日本海では平均1.7倍となる。

Fig. 5 に各験潮所の平均水面上のHATの高さを示した。当然のことであるが、LATが低い瀬戸内海や九州西岸でHATは高くなっている。184カ所の験潮所の中でHATが最も高いのは、LATが最も低い大浦で、HATの高さは平均水面上287cmとなっており、HATが最も低いのは北海道利尻島の奥尻の23cmである。

現在、水路業務法施行令に基づき告示されている日本沿岸各地の最高水面の平均水面上の高さ

Table 1. Locations of tide stations. As shown in Fig.1, stations are divided into the following 4 regions. Japan Sea (No.1-38), East Coast (No.39-69), South Coast (No.70-167), Others (No.168-184).

表 1. 験潮所の位置. Fig.1 に示すように以下の 4 区域に区分した. 日本海 (No.1-38), 東岸 (No.39-69), 南岸 (No.70-167), その他 (No.168-184).

No.	Place	Latitude (degree)	Longitude (degree)	No.	Place	Latitude (degree)	Longitude (degree)	No.	Place	Latitude (degree)	Longitude (degree)
1	稚内	45.40	141.68	63	相馬	37.83	140.97	125	佐世保	33.15	129.72
2	江差	41.87	140.13	64	小名浜	36.93	140.90	126	皇后	32.72	129.83
3	奥尻	42.08	139.48	65	大洗	36.32	140.57	127	長崎	32.73	129.87
4	奥尻港	42.17	139.52	66	鹿島	35.93	140.70	128	口之津	32.60	130.20
5	瀬棚	42.45	139.85	67	鮭子漁港	35.75	140.87	129	福江	32.70	128.85
6	岩内	42.98	140.52	68	上総勝浦	35.13	140.25	130	阿久根	32.02	130.18
7	忍路	43.22	140.87	69	布良	34.92	139.83	131	鹿児島	31.58	130.57
8	小樽	43.18	141.03	70	千葉灯標	35.57	140.05	132	枕崎	31.27	130.30
9	石狩新港	43.22	141.30	71	東京(晴海)	35.65	139.77	133	志布志	31.48	131.12
10	留萌	43.95	141.63	72	京浜港	35.47	139.63	134	大泊	31.02	130.68
11	沓形	45.18	141.13	73	横浜新港	35.45	139.65	135	西之表	30.73	131.00
12	深浦	40.65	139.93	74	横須賀	35.28	139.65	136	種子島	30.47	130.97
13	戸賀	39.95	139.70	75	岡田	34.78	139.38	137	中之島	29.85	129.85
14	秋田	39.75	140.07	76	神津島	34.22	139.13	138	名瀬	28.38	129.50
15	酒田	38.92	139.82	77	三宅島(阿古)	34.07	139.48	139	奄美	28.32	129.53
16	鼠ヶ関	38.57	139.55	78	三宅島(坪田)	34.05	139.55	140	中城湾口	26.33	127.83
17	飛島	39.18	139.55	79	八丈島(神湊)	33.13	139.80	141	知念-沖縄	26.18	127.82
18	新潟東港	37.98	139.22	80	父島	27.10	142.20	142	那覇	26.22	127.67
19	新潟西港	37.93	139.07	81	油壺	35.17	139.62	143	南大東島	25.87	131.23
20	柏崎	37.35	138.52	82	小田原	35.23	139.15	144	平良	24.82	125.28
21	佐渡	38.32	138.52	83	伊東	34.90	139.13	145	石垣	24.33	124.17
22	小木	37.82	138.28	84	下田	34.68	138.97	146	与那国	24.45	122.95
23	粟島	38.47	139.25	85	石廊崎	34.62	138.85	147	大阪	34.65	135.43
24	富山	36.77	137.22	86	田子	34.80	138.77	148	淡輪	34.33	135.18
25	新湊	36.78	137.12	87	三津	35.02	138.90	149	神戸	34.68	135.18
26	伏木	36.80	137.07	88	清水	35.02	138.52	150	姫路飾磨	34.78	134.67
27	七尾	37.05	136.97	89	焼津	34.87	138.33	151	洲本	34.35	134.90
28	能登	37.50	137.15	90	御前崎	34.62	138.22	152	宇野	34.48	133.95
29	輪島	37.40	136.90	91	舞阪	34.68	137.62	153	呉	34.23	132.55
30	金沢	36.62	136.60	92	赤羽根	34.60	137.18	154	広島	34.35	132.47
31	三国	36.25	136.15	93	豊橋	34.73	137.32	155	高松	34.35	134.05
32	敦賀	35.67	136.07	94	衣浦	34.88	136.95	156	与島	34.38	133.82
33	津居山	35.65	134.83	95	鬼崎	34.90	136.82	157	青木	34.37	133.68
34	舞鶴	35.48	135.38	96	名古屋	35.08	136.88	158	多度津	34.28	133.75
35	境	35.55	133.25	97	四日市	34.97	136.63	159	松山	33.87	132.72
36	浜田	34.90	132.07	98	鳥羽	34.48	136.82	160	来島航路	34.13	132.98
37	西郷	36.20	133.33	99	尾鷲	34.08	136.20	161	徳山	34.03	131.80
38	須佐	34.63	131.60	100	熊野	33.93	136.17	162	宇部	33.93	131.25
39	枝幸	44.93	142.58	101	和歌山	34.22	135.15	163	長府	34.02	131.00
40	紋別	44.35	143.37	102	海南	34.15	135.20	164	苅田	33.80	131.00
41	網走	44.02	144.28	103	御坊	33.85	135.17	165	青浜	33.95	131.02
42	根室	43.35	145.58	104	白浜	33.68	135.38	166	別府	33.30	131.50
43	花咲	43.28	145.57	105	串本	33.48	135.77	167	大分	33.27	131.68
44	霧多布	43.08	145.12	106	浦神	33.57	135.90	168	函館	41.78	140.72
45	釧路	42.98	144.37	107	小松島	34.02	134.58	169	浅虫	40.90	140.87
46	十勝	42.30	143.32	108	阿波由岐	33.77	134.60	170	青森	40.83	140.77
47	浦河	42.17	142.77	109	室戸岬	33.27	134.17	171	竜飛	41.25	140.38
48	苫小牧東	42.60	141.82	110	高知	33.50	133.57	172	博多	33.62	130.40
49	苫小牧西	42.63	141.62	111	須崎	33.38	133.30	173	唐津	33.47	129.97
50	白老	42.53	141.32	112	久礼	33.33	133.25	174	仮屋	33.47	129.85
51	室蘭	42.35	140.95	113	土佐清水	32.78	132.97	175	厳原	34.20	129.30
52	森	42.12	140.60	114	宇和島	33.23	132.55	176	比田勝	34.65	129.48
53	八戸	40.53	141.53	115	佐伯	32.95	131.97	177	郷ノ浦	33.73	129.63
54	むつ小川原	40.93	141.38	116	細島	32.43	131.67	178	弟子待	33.93	130.93
55	下北	41.37	141.23	117	宮崎	31.90	131.45	179	田ノ首	33.92	130.92
56	久慈	40.20	141.80	118	油津	31.58	131.42	180	大山の鼻	33.92	130.90
57	宮古	39.65	141.98	119	熊本	32.75	130.57	181	南風泊	33.95	130.88
58	釜石	39.27	141.88	120	八代	32.52	130.57	182	門司西海岸	33.95	130.97
59	大船渡	39.02	141.75	121	本渡瀬戸	32.43	130.22	183	砂津	33.90	130.88
60	鮎川	38.30	141.50	122	苓北	32.47	130.03	184	日明	33.92	130.88
61	石巻	38.40	141.27	123	大浦	32.98	130.22				
62	仙台	38.27	141.02	124	田平	33.37	129.58				

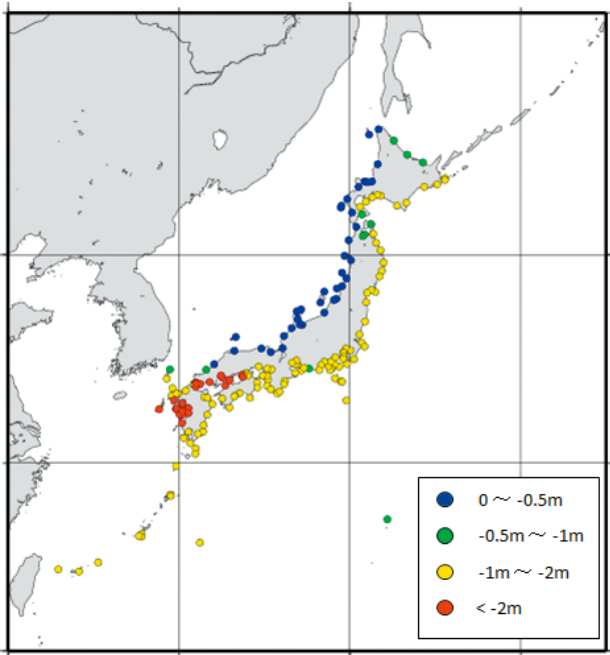


Fig. 2. Heights of LAT refer to mean sea level (MSL).
Blue: 0–0.5 m below MSL, green: 0.5–1 m below MSL, yellow: 1–2 m below MSL, red: more than 2 m below MSL.

図2. LATの高さ(平均水面基準). 青:平均水面下0–0.5 m, 緑:平均水面下0.5–1 m, 黄:平均水面下1–2 m, 赤:平均水面下2 m超.

は、海図基準面上の平均水面の高さと同じとなっている。上述のとおり、LATは全ての験潮所において海図基準面よりも低い、HATはどこでも最高水面よりも高くなるわけではない。Fig. 6に最高水面とHATのいずれが高いかを示した。オホーツク海、日本海、東シナ海沿岸ではHATのほうが最高水面よりも高い傾向にあるが、太平洋沿岸験潮所のほとんどは最高水面のほうがHATよりも高くなっており、特に東京湾内ではいずれの験潮所においても最高水面はHATよりも20 cm以上高い。

つまり、現在の太平洋沿岸の最高水面はかなり高いレベルに設定されていることになる。また、IHOでは陸上の高さの基準としてHW (High Water)を採用することを決議しており、HWの例として、HAT、大潮期の高潮の平均の高さである大潮平均高潮面 (MHWS: Mean High Water Spring), 1日2回ある高潮のうち高いほうの高潮の高さの平均である平均高高潮面 (MHHW:

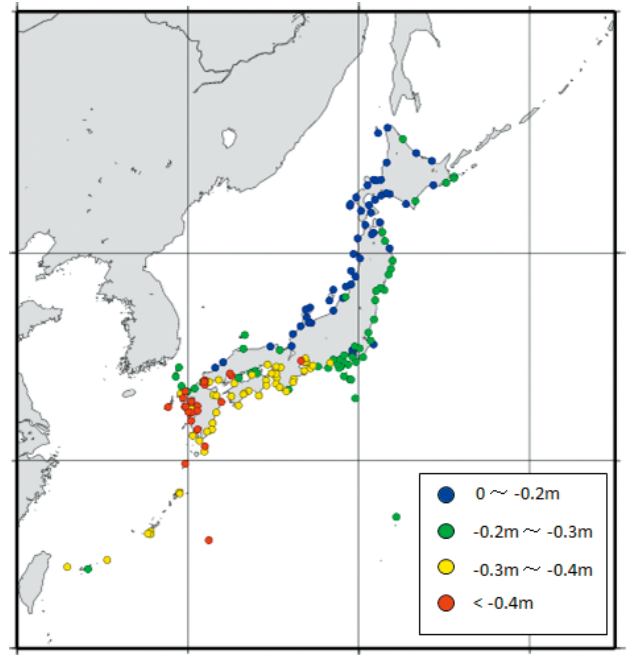


Fig. 3. Heights of LAT refer to chart datum (CD).
Blue: 0–0.2 m below CD, green: 0.2–0.3 m below CD, yellow: 0.3–0.4 m below CD, red: more than 0.4 m below CD.

図3. LATの高さ(海図基準面下). 青:基準面下0–0.2 m, 緑:基準面下0.2–0.3 m, 黄:基準面下0.3–0.4 m, 赤:基準面下0.4 m超.

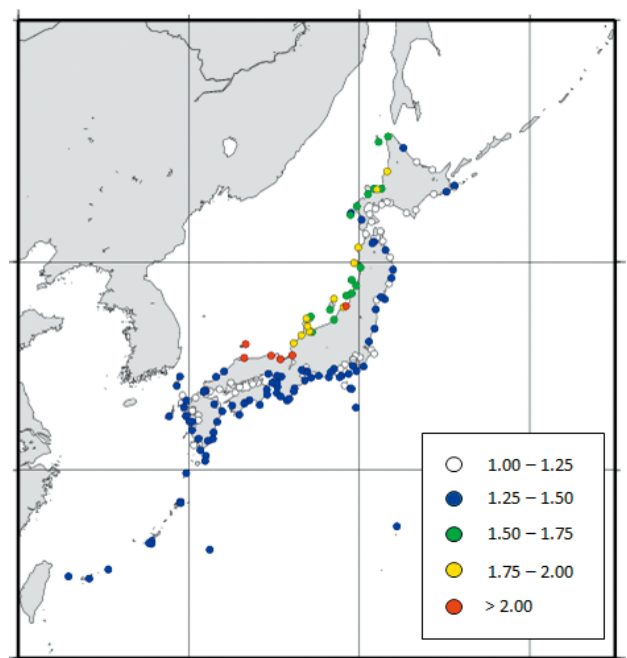


Fig. 4. Ratios of heights of LAT to heights of chart datum refer to mean sea level.

図4. 平均水面下の海図基準面の高さに対するLATの高さの比.

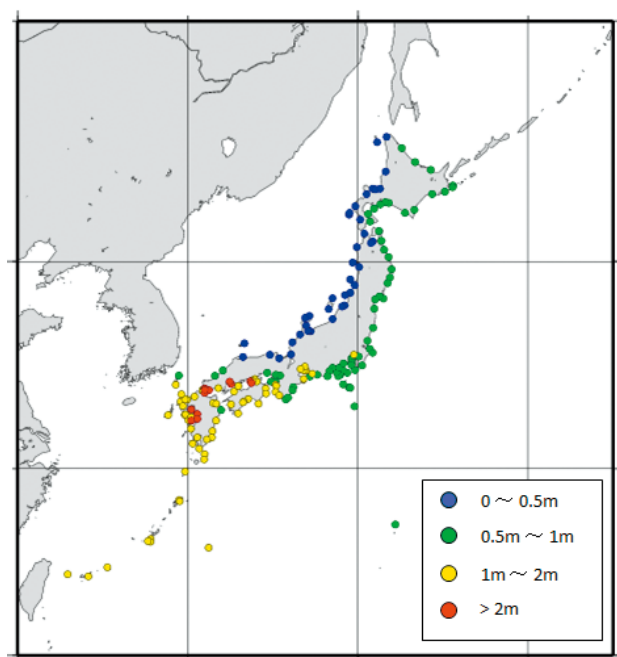


Fig. 5. Heights of HAT refer to mean sea level (MSL). Blue: 0-0.5m above MSL, green: 0.5-1 m above MSL, yellow: 1-2 m above MSL, red: more than 2 m above MSL.

図5. HATの高さ(平均水面基準). 青:平均水面上0-0.5m, 緑:平均水面上0.5-1m, 黄:平均水面上1-2m, 赤:平均水面上2m超.

Mean Higher High Water)の3つがあげられている(IHO, 2016). HWが地面と接するところが海岸線となるが, 日本では最高水面と地面が接するところを海岸線としている. 諸外国ではHATまたはそれよりも低い高さが海岸線となっていると考えられるのに対し, 太平洋岸の海岸線はHATよりもさらに高く, 極めて高いレベルに設定されていることになる.

LATは海図基準面よりも低いのに, HATは必ずしも最高水面よりも高くないということは, 平均水面とLATとの差のほうがHATと平均水面との差よりも大きいことを意味している. Fig. 7は鹿児島県大隅半島の大泊における2015年1月の実測潮位を示している. 1日2回ずつある高低潮のうち, 2回の高潮の高さはほぼ同じであるが, 低潮の高さには大きな違いがある. 太平洋沿岸等の潮汐にあるこのような特徴, つまり, 1日2回の高潮の高さに差がなく, 低潮に日潮不

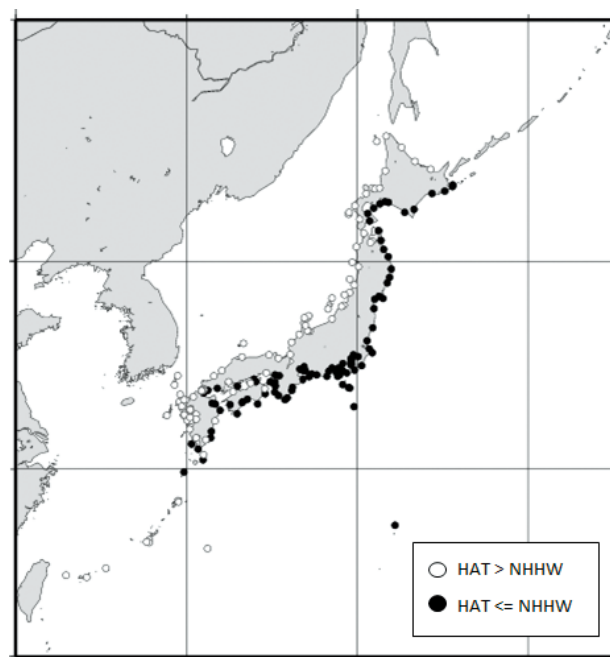


Fig. 6. Comparisons of heights of LAT and NHHW (Nearly Highest High Water). A white mark denotes that HAT is higher than NHHW, and a black mark denotes that NHHW is not lower than HAT.

図6. HATと最高水面(NHHW: Nearly Highest High Water)の高さの比較. 白丸はHATが高いことを示し. 黒丸は最高水面が高いか同じ高さであることを示す.

等が現れ, 2回の低潮の高さに差があるという特徴が, HATと平均水面との高さの差よりも平均水面とLATとの差大きくする要因となっている.

潮候測定心得(水路部, 1899)に, 陸上の高さの基準を現在の最高水面の定義に相当する高さ(大高潮平均水面: 平均水面に主要4分潮の振幅を加えた高さ)とすると記載されている. この潮候測定心得はG.H. Darwinの著作の一部を和訳して, 最短15昼夜の潮汐データから主要4分潮を算出する方法を示し, 平均水面からその主要4分潮の振幅の和の高さだけ下げた面(Indian spring low-water mark)を海図の基準面とした文書であるが, その中で, あわせて, 陸上の高さの基準も定義されているものである.

当時, 陸地測量部においては常設験潮場を設置して平均水面の監視を行っていたものの, 水路部が管理する常設験潮所はなく, 日本沿岸の潮汐の

特性を把握することは困難だったと思われる。このため、Fig.7に示すような特徴が日本沿岸の潮汐にあることを水路部は知らず、平均水面から上下に同じだけ離れた高さを、特段の根拠もなくそれぞれ水深の基準となる高さとして陸上の基準となる高さとしたのではないかと考えられる。そして、その基準が現在も引き継がれて、場所によっては通常の気象条件では海面が達しないような高さに海岸線が定義されていることになる。

ちなみに、大高潮平均水面の「大高潮」は大潮の高潮を意味する。つまり、大高潮平均水面とは大潮の高潮の平均の高さであり、これを英訳すると、Mean High Water Spring となり、一定期間の潮位観測により算出されるべき、大潮期の高潮の水位の平均値である。明治時代に日本は英国から海図の作成法を学び、英国にならって大潮の低潮の平均値を海図基準面とし、陸上の高さの基準を大潮の高潮の平均値と定義した。ただし、算出方法については最短15昼夜の観測で計算できるように、日本で独自に決めたものである(佐藤, 2010)。

なお、前のセクションで、19年の推算期間が異なるとLATの値に影響を与える可能性があるとして書いた。184カ所の験潮所において同じ調和定数で2026年から2044年までの19年間の推算を行いLATの算出を行った。2007年から2025年までの期間で算出したLATと比較したところ、最大でも2cmの差で大きな違いは生じなかった。推算期間の違いによって大きな差は生じないようである。

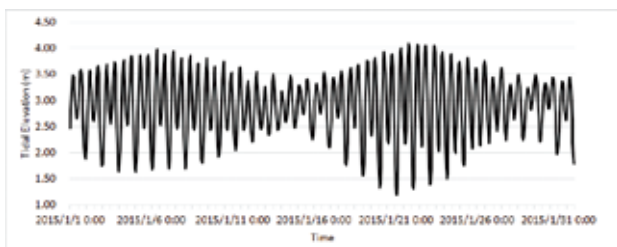


Fig. 7. Tidal curve at Odomari during January, 2015.
図 7. 2015 年 1 月の大泊の潮位曲線。

4 水位の季節変化と LAT 及び HAT

年周期成分 Sa を LAT の算出に加えるかどうか議論されることがあると述べたが、これは潮位の季節変化が年によって異なり予測することが困難なことに起因する。Fig.8 に大泊における 1991 年から 2000 年までと 2001 年から 2010 年までの 10 年間平均の月平均潮位を示した。

2001 年からの 10 年平均では 7 月の月平均潮位が 6 月のそれよりも下回るなど異なる特徴を持っている。それぞれの 10 年間の月平均潮位から年周期成分 Sa と半年周期成分 Ssa の振幅を計算すると、1991 年からの 10 年では Sa が 9.87 cm, Ssa が 1.78 cm であり、2001 年からの 10 年では、Sa が 7.66 cm, Ssa が 3.71 cm となる。さらに 1991 年からの 10 年間について毎年の月平均潮位から Sa と Ssa を算出すると、Sa の振幅の 10 年間の最大値は 1996 年の 10.19 cm で、最小値は 1995 年の 1.85 cm となり、Ssa の振幅では、最大値が 1998 年の 10.00 cm, 最小値が 1996 年の 2.28 cm と極めて大きな差がある。したがって、Sa や Ssa は算出に用いるデータの期間によりその値は大きく異なるため、LAT 及び HAT の計算にあたっては、Sa 及び Ssa を求める期間の選定を慎重に行う必要がある。

今回、隣接した新潟東港と新潟西港の LAT と HAT を算出している。海図基準面はいずれも平



Fig.8. 10-year averaged monthly mean sea level at Odomari (1991-2000 and 2001-2010).
図 8. 大泊の月平均水位の 10 年平均値 (1991-2000 及び 2001-2010)。

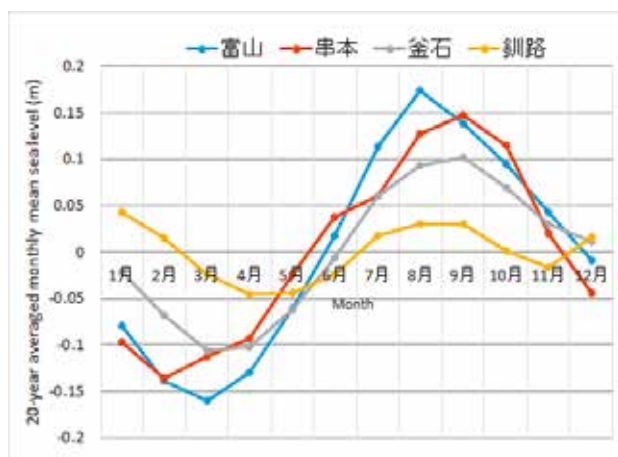


Fig.9. 20-year averaged monthly mean sea level at Toyama, Kushimoto, Kamaishi, and Kushiro during the period 1991-2010. Values in this graph are deviations from mean sea level.

図9. 富山, 串本, 釜石, 釧路の1991年から2010年までの月平均水位の20年平均値. 図中の水位値は, 平均水面からの偏差を示している.

均水面下 17 cm であるが, LAT は新潟東港で平均水面下 42 cm, 新潟西港で 33 cm となり, 9 cm の差が生じた. 新潟西港の調和定数は 2001 年から 2010 年までのデータから算出されたものであるが, 新潟東港の調和定数は昭和年代の数年間のデータから算出されたものである. Sa, Ssa 成分ともに異なっており, この 2 成分の差が LAT の算出に影響を与えたものと思われる.

この潮位の季節変化は上述のように年によって変化するが, 地域によっても異なる特徴を持つ. Fig. 9 は, Fig. 1 に示した「日本海」の区分に位置する富山, 「南岸」の串本, 「東岸」の釧路と釜石の 4 験潮所における月平均潮位の 1991 年から 2010 年までの 20 年間の平均値を示したものである.

串本では月平均潮位が最も下がるのは 2 月であるが, 富山では 3 月が最も低く, 釜石も 3 月が最も低いが, 4 月の値もあまり変わらない. そして釧路では, 4 月と 5 月が最も月平均水面が低くなるとともに, 月平均水位の極大が 8, 9 月頃と 12, 1 月頃の 2 回現れる. この北海道オホーツク海~太平洋沿岸では冬季と夏季の 2 回水位極大が現れる (寄高・工藤, 2011) ことが知られており,

12 月の HAT は冬季の水位極大期に発生しているものである. 冬季に水位極大が生じる原因は低塩分水の流入 (Itoh and Ohshima, 2000) とされている. 2014 年 12 月 17 日に発達した低気圧により北海道根室地方で高潮被害が発生しているが, これは 1 年を通じて水位が最も高い時期に高潮の被害が発生したものである.

以上のような潮位の季節変化の違いは LAT と HAT の発生時期に地域差をつくる要因のひとつとなっている. Fig. 10 に, 「日本海」, 「東岸」, 「南岸」の 3 区分の地域に位置する験潮所での LAT と HAT の発生月を示した. 「日本海」では LAT は 2~4 月に発生し, HAT の多くは 8 月となっている. 「南岸」では大多数の験潮所で LAT は 1 月に, HAT は 9 月に発生している. 一方, 「東岸」では LAT の多くは 5 月に発生し, HAT は 7 月から 12 月までの広い期間に現れている.

潮汐の日周期及び半日周期成分の小さな日本海では海面が低下する時期に LAT が発生する. 一方, 日周期及び半日周期成分の大きなそれ以外の海域では, 1 日 2 回の低潮に大きな差が生じる日潮不等も LAT の発生月に影響を与えている. 日潮不等は春分や秋分の頃に小さいが, 夏冬に大きくなり, 1 日 2 回ある低潮のうち 1 回だけ水位が大きく下がることになる. 最も水位が下がる時季には日潮不等が小さいため LAT は発生せず, その前後の日潮不等が大きい時季に LAT が発生している. 2 月頃に早く水位の低くなる「南岸」では 1 月に LAT が算出され, 水位の低くなる時期が遅れる「東岸」では 5 月に LAT が算出されることになる.

一方, HAT については海面水位の高い時期に発生している. 「日本海」では 8 月に集中し, 「南岸」では 9 月に多い. 一方, 「東岸」では 12 月にも HAT が算出される験潮所が見られるが, これは, 上に示したように北海道オホーツク海~太平洋沿岸では 12 月から 1 月にかけて水位が最も高くなるのが影響している.

一般的に日本周辺では寒い時季に一番潮が引き, 暑い時季に一番潮が高くなると考えられてい

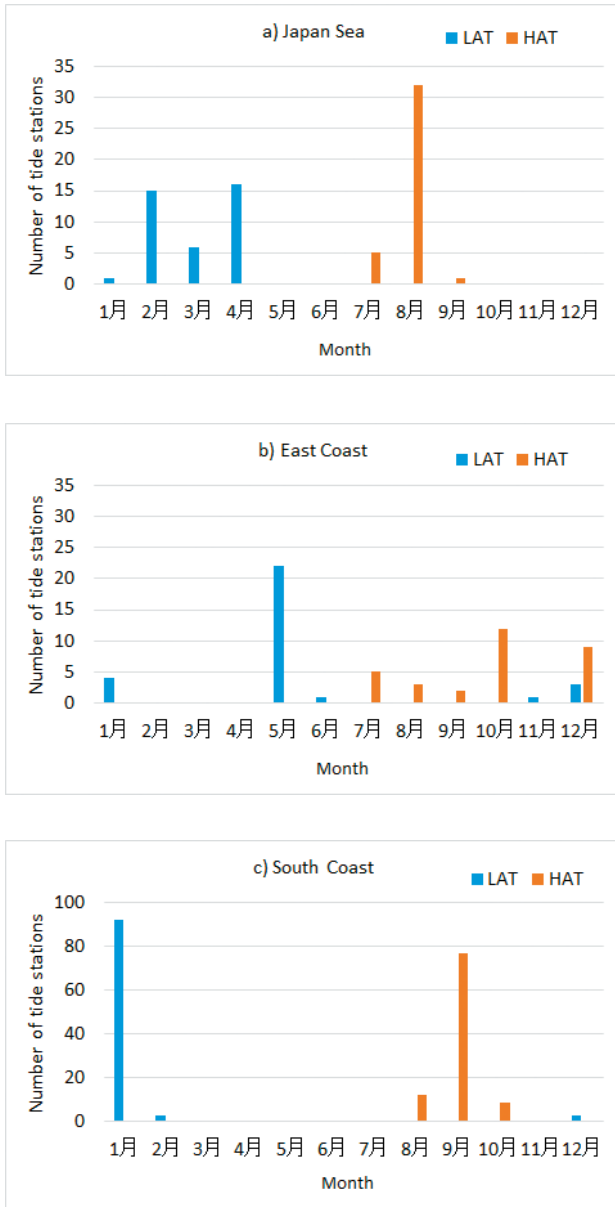


Fig. 10. Month when LAT and HAT occur at each tide station. a) Japan Sea, b) East Coast, c) South Coast.

図 10. 各験潮所での LAT と HAT の発生月. a) 日本海, b) 東岸, c) 南岸.

るのではないかと思うが、三陸や北海道では5月に最低潮位になり、12月に最高潮位になると計算される地域もある。

5 実際の水位と LAT

これまで記述したように、LATは潮汐推算値の中の最低値であり、実際の水位は気象海象条件によって LAT よりも下がる。このため、海図の

基準面を LAT よりも低く設定する国もある。例えば、ノルウェーは LAT を海図の基準面として採用しているが、スウェーデン寄りの潮差の小さな海域については、LAT よりも海面が下がることが度々生じるため、基準面を LAT よりも 20 cm または 30 cm 低く設定している（ノルウェー水路部, 2015）。

2016年6月7日付で海図基準面に関する IHO 決議の改訂の是非を問う回章が発出されているが、その改訂案では、実際の水位が LAT よりもしばしば下がる場合には、LAT 以外の水位を海図の基準面とすることを容認する規定となっている。

日本沿岸においても現在の算出方法で得られる LAT よりも実際の水位が下がることはあり得る。特に、日本海沿岸では主要4分潮の振幅に比べて水位の季節変化が大きいため、水位がたびたび水深基準面よりも下がることは古くから知られており、例えば、赤木（1966）は舞鶴の1960年と1961年の2年間の全ての低潮のうち約30%が水深基準面以下に下がることを示している。

以上のことから、潮差の小さい日本海の粟島と潮差の大きい九州西岸の佐世保の2カ所について、日本海洋データセンターが運用する NEAR-GOOS 遅延モードデータベースからそれぞれの験潮所における2011年から2015年までの30秒間隔の潮汐観測値をダウンロードして LAT との比較を行った。

粟島の現在の基準面の定義は平均水面下 20 cm であり、LAT はそれよりもさらに 13 cm 低い。佐世保の現在の基準面の定義は平均水面下 165 cm、LAT はそれよりもさらに 45 cm 低い。

現在の海図基準面の基準である平均水面の高さは将来的に変更される可能性があるため、比較にあたっては2011年から2015年までの5年間の平均水面を用いて、粟島ではその平均水面下 20 cm を海図基準面、平均水面下 33 cm を LAT とし、佐世保も同様に5年間の平均水面下 165 cm を海図基準面、平均水面下 210 cm を LAT としている。

Table 2 にそれぞれの験潮所の30秒間隔のデー

Table 2. Numbers of 30-second interval sea level data lower than chart datum and LAT at Sasebo and Awashima during the period 2011-2015.

表 2. 佐世保と粟島における 2011 年から 2015 年までの 30 秒間隔験潮データのうち基準面及び LAT より低いデータ数.

	Number of all data	Sea level lower than chart datum	Sea level lower than LAT
佐世保	5,258,880	36,149	203
	(%)	0.69%	0.00%
粟島	5,258,880	477,199	53,958
	(%)	9.07%	1.02%

タと現在の基準面よりも低い水位となるデータ数と LAT よりも低くなるデータ数を示している。なお、30 秒間隔のデータには多数の欠測が見られるが、これらについては全て現在の水深基準面よりも高いものと仮定した。

潮差の大きい佐世保では現在の基準面よりも低い水位は 0.7 % に過ぎず、さらに LAT よりも低くなることは極めて稀で全データの 0.004 % に満たない。また、5 年間の最低水位は LAT よりも 7 cm 低い記録であった。

一方、潮差の小さい日本海の粟島では現在の基準面よりも低い水位は全体の 9 % もあり、LAT よりも低い水位も 1 % を超えている。佐世保において現在の基準面よりも低い水位が 1 % に満たないことを考えると、これは極めて高い割合だと言える。なお、5 年間の最低の水位は LAT よりも 20 cm 低い値であった。

今回、日本海での実測データと LAT との比較は 1 カ所で行っていないが、日本海の他の験潮所でもかなりの高率で実際の水位は LAT よりも下がる可能性は大きい。日本海の他の験潮所でも同様の結果が得られることが条件ではあるが、今後、わが国の海図の基準面を見直す機会があれば、その機会に日本海で LAT よりも低い水位を基準面として採用することは、航海安全の観点から改訂案が示されている IHO の技術決議の主旨に反するものではないと考えられる。

6 まとめ

北海では各国の海洋境界において海図の等深線が繋がらないことが問題となり、各国が採用する海図の基準面が異なることがその要因と考えられた。そのため、北海水路委員会では LAT を共通の基準面として採用することにした。そのため、21 世紀になり、異なる基準面を採用していたドイツ、オランダ等が海図の基準面を LAT に変更した。

しかし、各国が LAT を採用し、それぞれの管轄海域全域の LAT を定義したものの、それぞれの LAT の算出方法が異なるため、北海全域での共通の LAT 面を構築するための努力が続けられている。

一方、わが国は北海のような浅い海で外国と接していることはないので、隣接国と共同して周辺の LAT 面を構築する必要はなく、わが国独自の LAT 算出方法を採用して差し支えない。

本論文では、現在潮汐表で採用している方法で算出した日本周辺の LAT が地域的にどのような特徴を持つのかを示すとともに、現在の算出方法の課題を調べたものである。その結果、LAT には海面水位の季節変化の影響が大きい、それを表現する年周期成分及び半年周期成分は算出に使う験潮データの期間によって大きく異なることがあるので、算出に当たっては使用するデータの期間等に注意する必要があることと、潮差の小さい日本海では現在の算出方法による LAT を海図基準面として採用したとしても、相当の割合で実際の水位はそれよりも下がる可能性があることが明らかになった。

仮に将来の GNSS 測量を実現するために日本周辺海域全域の海図基準面を構築するような場合は、以上の課題を解決して全域で整合性のある海図基準面を構築する必要がある。

謝 辞

LAT と HAT の計算に必要な潮汐調和定数の多くは気象庁算出の調和定数を使わせていただきました。ここに感謝の意を表します。

日本海洋データセンターが運用する JODC オンラインデータ提供サービスと NEAR-GOOS 遅延モードデータベースの潮位データと国土地理院海岸昇降検知センター提供の月平均潮位を使わせていただいたことに感謝の意を表します。

最後に、第十一管区海上保安本部海洋情報調査課の石田雄三主任海洋調査官には原稿作成に多大な協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

文 献

- 赤木登 (1966) 海図の水深基準面と負潮位現象について, 水路要報, 81, 24-32.
- Doodson, A.T. (1928) The analysis of tidal observations, *Philosophical Transaction of the Royal Society of London*, 227, 223-279.
- Gordon, R.N. (1968) Rationalisation of chart datum in the British Isles, *International Hydrographic Review*, 45 (1), 55-65.
- International Hydrographic Organization (2016) Regulations of the IHO for International Charts and chart specifications of the IHO, Edition 4.6.0, International Hydrographic Bureau, Monaco.
- Itoh, M. and K.I. Ohshima (2000) Seasonal variations of water masses and sea level in the southwestern part of the Okhotsk Sea, *J. Oceanography*, 56, 643-654.
- ノルウェー水路部 (2015) Tidevannstabellar 2016, 89pp.
- NSHC Tidal Working Group (2015) Minutes of 20th NSHC Tidal Working Group meeting, 18pp.
- Parker, B.B. (2007) Tidal analysis and prediction, 378pp., NOAA Special Publication NOS CO-OPS 3.
- 佐藤敏 (2010) 明治の水路部の験潮, 海洋情報部研究報告, 46, 47-61.
- Slobbe, D.C., R. Klees, M. Verlaan, L.L. Dorst, and H. Gerritsen (2013) Lowest astronomical tide

in the North Sea derived from a vertically referenced shallow water model, and an assessment of its suggested sense of safety, *Marine Geodesy*, 36 (1), 31-71.

水路部 (1899) 潮候測定心得, 38pp., 水路部, 東京.

寄高博行・工藤宏之 (2011) 日本沿岸水位の季節変動, 海洋情報部研究報告, 47, 1-8.

要 旨

国際水路機関 (IHO) は Lowest Astronomical Tide (LAT) を海図基準面として採用することを決議している。その LAT を日本沿岸の 184 カ所の験潮所において 60 分潮による潮汐推算により算出した。その結果、いずれにおいても LAT は現在の海図基準面よりも低く、50 cm 以上低くなる場所もあった。さらに、日本海沿岸では LAT を海図基準面に採用したとしても、実際の水位はしばしばそれを下回る可能性のあることが分かった。