

紀伊水道北部の風・波の予想*

長 久 昌 弘**

要旨: 紀伊水道北部海域は鳴門海峡及び紀淡海峡を包む特殊な地形と海流のはげしい所であり、沿岸海上の風と波の予想が困難な所でもある。台風接近時には海上を航行する船舶は殆んどなく、従って海難事故もなくなるが、事故発生は平均風速 5 m/sec から 20m/sec に集中しており、むしろ 10m/sec 前後の気象状態が重要であり、日常の沿岸海上予報の適確な精度向上が強く要求される。筆者は、この点の重要性を考え、この海域をよく知ることと、その特殊性を考慮に入れた海上の風・波の予報作業図を作成した。

1. はしがき

紀伊水道北部は阪神並びに瀬戸内海に出入りする船舶の航行が特に多い所である。そのうえ鳴門・紀淡海峡は潮流の急なうえ気象変化のはげしい所でもある。

このためこの海域はしばしば海難事故が起つている。

しかるに徳島地方気象台としては、この方面を含めた沿岸海上の風・波についての予想が仲々困難な問題を含んでいるため、日常ごく簡単に使える予報作業手順を作成する目的をもつて、本調査をこころみたまものである。

調査に使用した主な資料は南海汽船の小松島港→和歌山港に至る航路上の各3点における定期気象観測であり、また今までに調査研究された多くの資料を参考とし、波の理論的な点については Sverdrup-Munk, Neuman, Pierson……のものを参考文献とした。

2. 卓越風

風向の年変化は第1図の風配図で示したように沿岸の徳島・和歌山両気象台と相対的な関係を示しており、特

の走向をよく表わしたものと云える。別に松茂・和田島の自衛隊基地の風配図を比較して見ると風配図からわかるように徳島での SE に対し松茂・和田島では SSE~S-ly が卓越し、徳島の WNW に対しては和田島の NW が卓越している。即ち松茂・和田島と海上 A・B 点が類似している。

3. 陸上風向と海上風向との関係

徳島の平均風速 4m/sec 以上の場合について同時刻頃の海上3点の風向を比較したのが下表である。しかしこの海域で風が原因となる海難事故は S-ly 系か W~NW 系の風向である(但し台風時の場合は別である)。昭和34年に和歌山地方気象台がこの海域の調査を行つていのはほぼ同様の結果を得ている。徳島での風向をもとに海上の風向を予想するとすれば大体の傾向は下表のとおりとなつているので海上の風向推定ができる。しかし風速が 4 m/sec 以下の弱いときは地形のえいきようが大きく困難である。

徳 島	SE	SSE	S	W	WNW	NW	NNW	N
A	SSE	SSE	S~SSE	WNW	NW	NNW	NW	弱
B	SSE	SSE	S~SSE	W~WNW	WNW	NW	NW	弱
C	S	S	S	WNW	WNW	NW	N	N

に A・B 点で寒候期は NW、暖候期は S~SSE であり、C 点では寒候期 NW~N、暖候期は S-ly が卓越していることがわかる。

これは夫々、鳴門海峡及び紀淡海峡を含む地形にえいきようされていると云える。また徳島での強風は SE~SSE であり、和歌山では SSE~SW であるのは海岸線

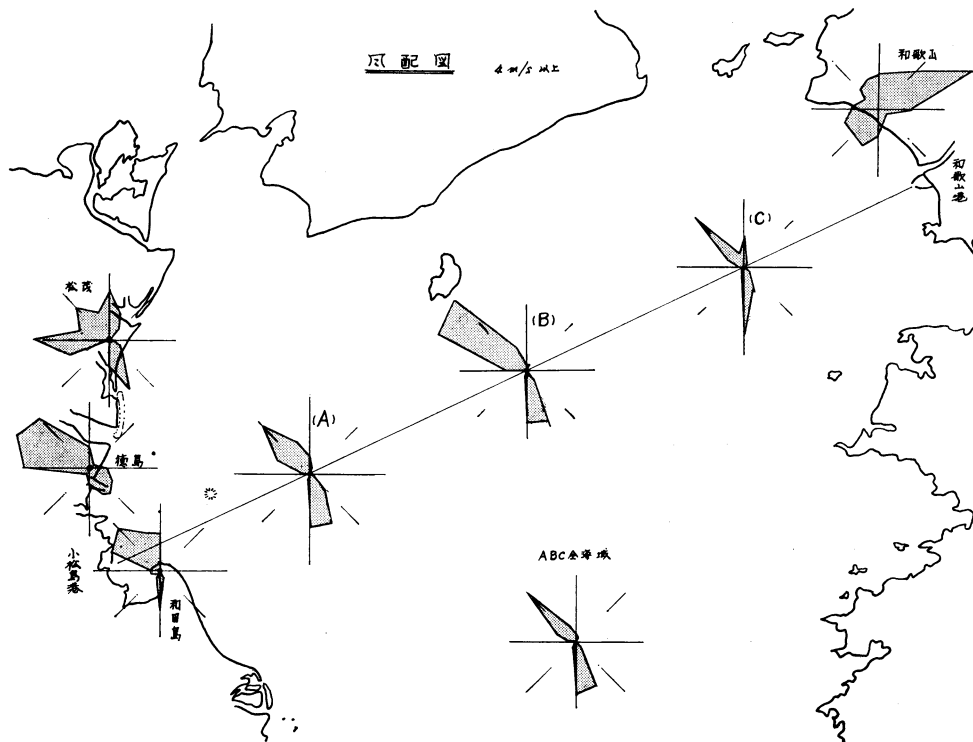
4. 陸上風速と海上風速との比較

徳島での平均風速が 4 m/sec 以上のとき、同時刻頃の海上3点の風速を比較し、その比率を算出したのが下表である。N 系とは寒候期の W~NW 卓越風であり、S

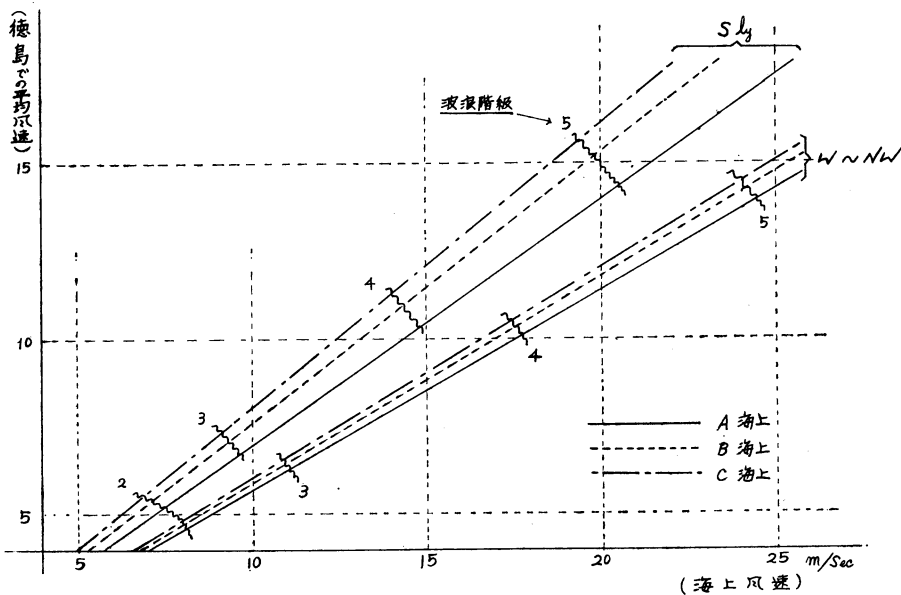
	N 系	S 系
A	1.75	1.43
B	1.69	1.33
C	1.66	1.23

* Forecast of Wind and Wave in Northern Kii Channel

** M. Tyokyu, 徳島地方気象台
—1967年10月9日受理—

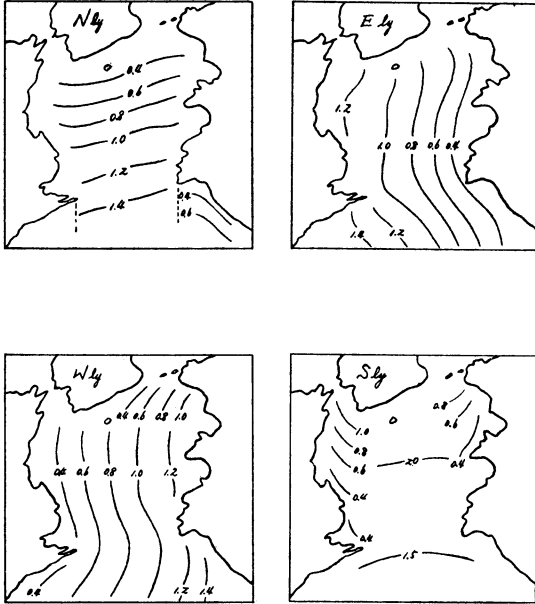


第 1 図



第 2 図 海上風速と陸上風速との比較及び相当波浪階級

系とは暖候期の S~SE を指している。ただ E-ly についての統計は省略してあるが、これは暖候期に海陸風によるものが多く、風速の弱いため、E-ly の強風となるのは台風接近時に限られ、その折には海上観測がないので比較できなかったためである。



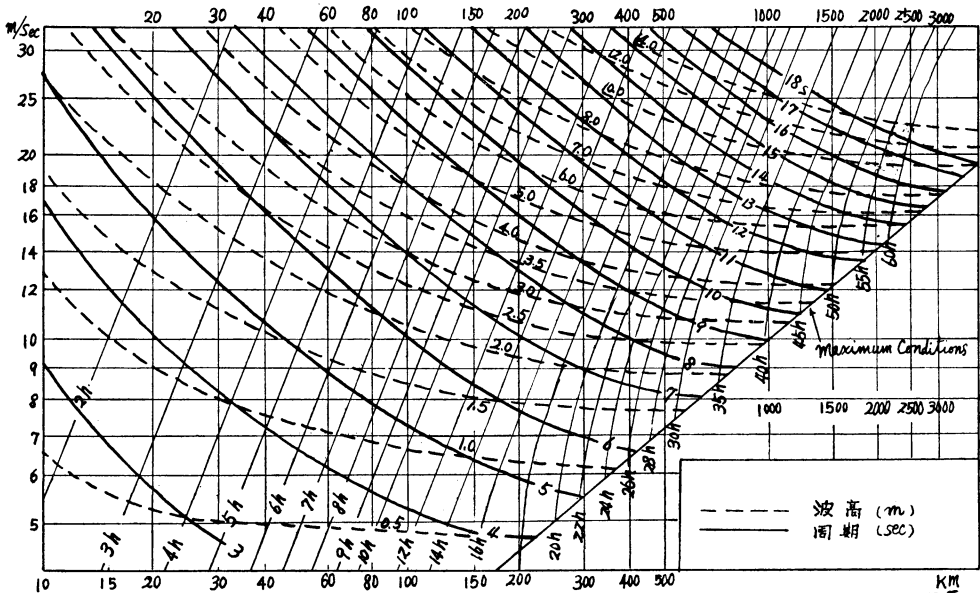
第3図 (矢吹氏) 有義波高 (平均風速 15m/sec)

即ち S 系の卓越風が徳島地方気象台で観測されるとき海上 3 点においては A・B・C の順に弱目に出ており、徳島での風速に対し 1.2~1.4 倍程度の風速となっている。また N 系の卓越風では海上 3 点とも大差はなく 1.6~1.7 倍となっており、S 系に比べ風速が非常に強く出ている点に注意したい。この関係をグラフにしたのが第 2 図である。

5. 波

波は風の運動エネルギーを受けて発達するものであり、風速と吹走距離に比例して発達が続く、しかし波速が風速をこえるようになると逆に発達がおさえられる。

波に関する研究は Munk, Neuman, Walden……によつて理論的にわかっており、また紀伊水道北部海域の波高については矢吹氏が波浪図を作成しているが、それによると S-ly 15m/sec で有義波高は 2m となっている(第3図参照)。しかるに本調査の資料である南海汽船の観測結果では A・B・C 各点とも波高は全般にこれより高くなっている。勿論、波と云つても「風波」と「うねり」があるが、風波とは風が吹いているために発生し、また発達しつつある波であり、うねりはその風的作用が止み、(或いは弱くなつて)、波が風域を出て減衰しつつある波のことであることは云うまでもない。観測された波の中には「風波」と「うねり」が混同されている場合もあると思われるが、波が「風波」であつても「うねり」



第4図 風波予報曲線

であつても次の関係がある。

$$\frac{H^{1/10}}{H^{1/3}} = 1.29 \quad \frac{H^{1/3}}{H_{mean}} = 1.57 \quad \frac{H_{max}}{H^{1/3}} = 1.87$$

$$\frac{T^{1/3}}{T_m} = 1.0 \sim 1.26 \quad T_m: \text{平均波の週期}$$

$$T^{1/3}: 1/3 \text{ 最大波の週期}$$

即ち波が発生した初期の状態に近いときは 1.26 であり、十分発達したときは 1.0 に近くなる。一般に $T^{1/3}$ は T_m の約 1.1 倍くらいであると云はれている。

昭和35年に徳島地方気象台でA点附近を調査した結果によると

徳島 (S-ly) = 波浪階級 = 風力階級

徳島 (S-ly 以外) = 波浪階級 = 風力階級 - 1

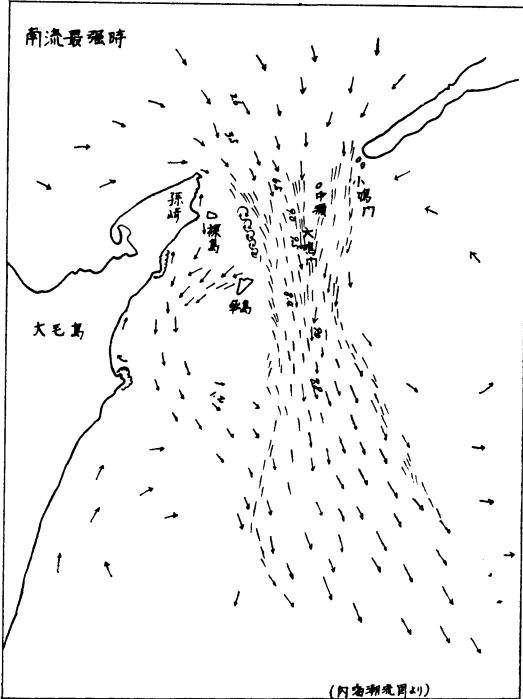
が目安として示されているが、矢吹氏の波浪図から得たものより推定波高はやはり高目である。紀伊水道北部では SI-y 以外は吹走距離が短いので波高は大して発達しないが、實際上、鳴門海峡筋で観測される波高は有義波高の 2.0m(15m/sec)より高く、約 1.5 倍乃至 2.0 倍の 3 m をこえている。今、SI-y の風について観測された波高に合った吹走距離を求めると第 4 図の風波予報曲線 (Sverdrupmunk-Bretschneider) より 80km となる。A・B・C 点に対する最大波高をもたらす主風向は吹走距離の長くなる SSE・S・SSW が最も危険と云える。また

W-ly~NW 方向の第 4 図の風波予報曲線より相当波高に対する吹走距離は W-ly の場合 60km となる。従つて第 3 図の有義波高算出の徳島沿岸を起点と考えるのは実測波高から云へば無理であり、風向別に瀬戸内より求められる吹走距離をとらねばならないと考える。この場合、鳴門海峡が 1 つの防波堤と考え、瀬戸内海で発達・発生した波が紀伊水道北部海域に進入し、再び発達したものと考えたい。今、鳴門海峡について、この波の進入を考えて見る。(鳴門海峡において回折現象を起しているものとする。) 鳴門海峡の最強潮流巾は約 60m であるから、波長 30m の波の回折角は第 7 図のとおりである。海峡における複雑な海底の状態とか潮流の影響もあるが、外側で発達した風波とか、うねりは難なく通過していると云える。勿論、潮流とか、地形・海底状態による波、そのものの性質が変つて来ることは云うまでもない。

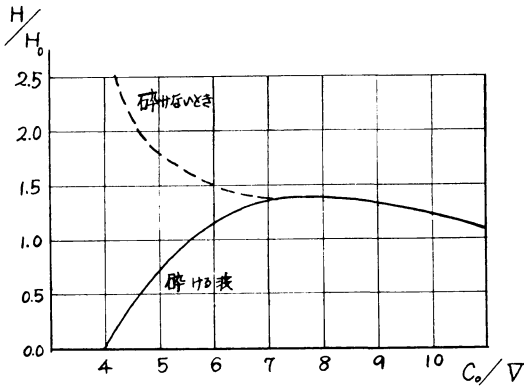
即ち、紀伊水道北部海域における波高の推定をする場合、W-ly~NW についても S-ly 系と同じように風向による吹走距離は開口湾と考へるべきである。

W-ly~NW の風の場合、観測された波高に相当する吹走距離は前にのべたとおり 60km であるが実際には A 点より C 点で発達があると考えられるが、同程度の波高が観測されており、また B 点では他より弱くなつている。故にこの海域に関する限り、吹走距離だけで解決できない問題を含んでおり、潮流とか地形及び海底勾配が、その時々風向・風速に複雑な変化をおこしているものとする。これを裏書きする 1 例としては鳴門海峡で潮流が南流(引潮)のときに、この海域で発生する異常波があげられる。また地形の影響で最も顕著に現はれるものに第 10 図 d 海域での「ナギ」場があげられる。これは W~NW の強風時に必ずある現象である。以上波が海峡を通過し回折現象をおこしていると考えて見たが、はげしい潮流と波の向きについても考慮する必要がある。

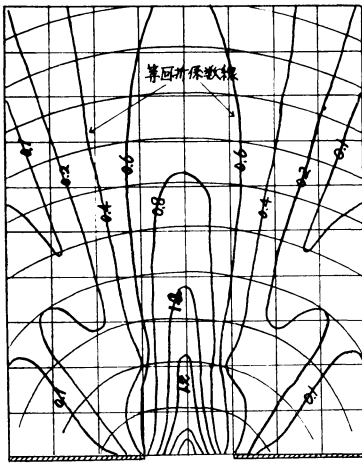
即ち、流れについては第 6 図のとおり実験により波高変化図が導びかれている。横軸に流速 V と波速 C_0 の比、従軸に流れによつて変化した波長 L (波高 H) と流れのないときの波長 L_0 (波高 H_0) との比を取つてある。 V/C_0 が正のときは流れと波の向きが一致しているとき、負のときは流れと向きが反対であることを示している。波高は碎ける極限のとき、つまり $V/C_0 = 0.25$ で極となるから第 6 図の実線で示すように碎けてなくなつてしまうことが多い。即ち $H/H_0 = 1.3$ のとき極値である。流れにぶつかる波はその波高に約 1.3 倍くらいの波



第 5 図 潮流図



第6図 波高変化



$$\text{等回折係数} = \frac{\text{回折波高}}{\text{入射波高}}$$

第7図 波の回折

高変化があると考えられる。鳴門・紀淡海峡及び吉野川河口附近の流れに対し、波の向きによつてその性質が変わることがわかる。波の進む方向と流れの方向が一致している場合には、波の周期は常に一定で変らないから、その波長は長くなり、波高が低くなる。また反対に流れの方向と波の進む方向が逆の場合は波長が短く、波高は高くなる。そうしてこの場合、流れの速さが波の進行速度の約1/4ぐらいになる流れのときが波高の極限となり、その後は碎けるようになる。鳴門海峡附近の潮流は第5図の潮流図に示してあるが、南流最強時には4m/sec以上の流れをもっている。そうしてこの流れは速度を弱め乍ら沼島沖まで達する主流となつている。今、周期3secの波の波速は深海で4.7m/secであり、周期

6secの波速は9.4m/secの波速があるから、夫々、この波が流れにぶつかるとき、その最高波が現われ得る流れの速さは1.2m/sec及び2.3m/secの所と云える。鳴門海峡での最強潮流時では第9図a海域内であり、異常波の発生場所にあたっている。

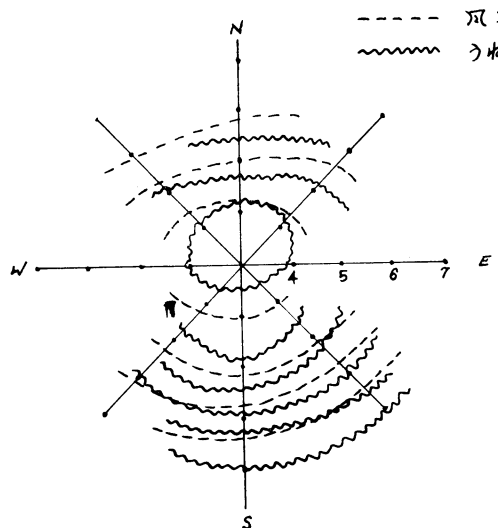
6. うねり

定期海上観測より得られたうねりは下表に示した方向のもののみで、夫々各水道に沿つた伝播をしていると見られる。しかし大抵の場合、風波と同時に観測されることが多く、風波の方向と多少角度の差をもつて進むものが多い。風波とうねりが同一方向のときは区別がたいうえ、うねりそのものが大して大きなものでなく、うねり階級3までであり、波長も60mくらいまでのようだ。台風発生に伴ううねりは波長が80m~120mのものを観測しているが、その場合、波高は2m程度であり、それ以上は観測がない。しかしこのよううねりで

数字は%

海上観測点	うねりの方向	SE	SSE	S	SSW	SW
A		44.8	34.3	20.0	0.9	0.0
B		5.1	15.4	67.4	11.1	0.9
C		0.0	3.3	26.7	48.3	21.7

も S-ly か W-ly~NW の強風時と鳴門海峡の南流時が一致すると海面状態は更に悪く航海には危険となる。なお、観測されたうねりは階級3以下のものであるが、これは荒天時の定期航路が欠航するため、荒天時のもよ



第8図 友ヶ島付近の風向風力と風波・うねり

うがわからないが、塩田氏が友ヶ島燈台の観測資料を元に調査したものがあつた。これによると荒天時の模様が或る程度推定できる。第8図でわかるように、階級7(波高4m以上)のものがS~SEより進入し、又、多少弱いNからも進入している。従つてこの北部海域で荒天時の観測資料がないが、この海域にもSlyのうねりの他に、瀬戸内海及び大阪湾で発達したうねりが鳴門海峡と紀淡海峡から進入しているものと思われる。

7. 紀伊水道北部海域で発達する異常波

鳴門・紀淡海峡で1日2回の南流をおこなすが、孫崎と門崎を結ぶ1線を通過すると流速を増し、巾約60mの帯状となつて激流となり、小鳴門から来る支流と合流して流速を増し、巾は次第に広くなつて約100mに達し、6kmの遠くまで達している。普通の流速は4m/sec以下であるが最強時には、その流速が4m/secをこえる。前章でも述べたが、この流れのあるとき南から進む風波とうねりがぶつかる海域に異常波が見られる。即ち、異常波発生の最大原因は海峡筋の強い南流であり、更に強風に伴う風波とうねりが加わつて、波の屈折・回折現象が特殊な地形構造に作用して起つているものと考えられる。ただ本報告は紀伊水道北部海域において、異常と考えられる波の発生とその発生場所を示した。

8. 風・波の予報作業

定期観測資料から得たものをまとめ予報作業図を作つ

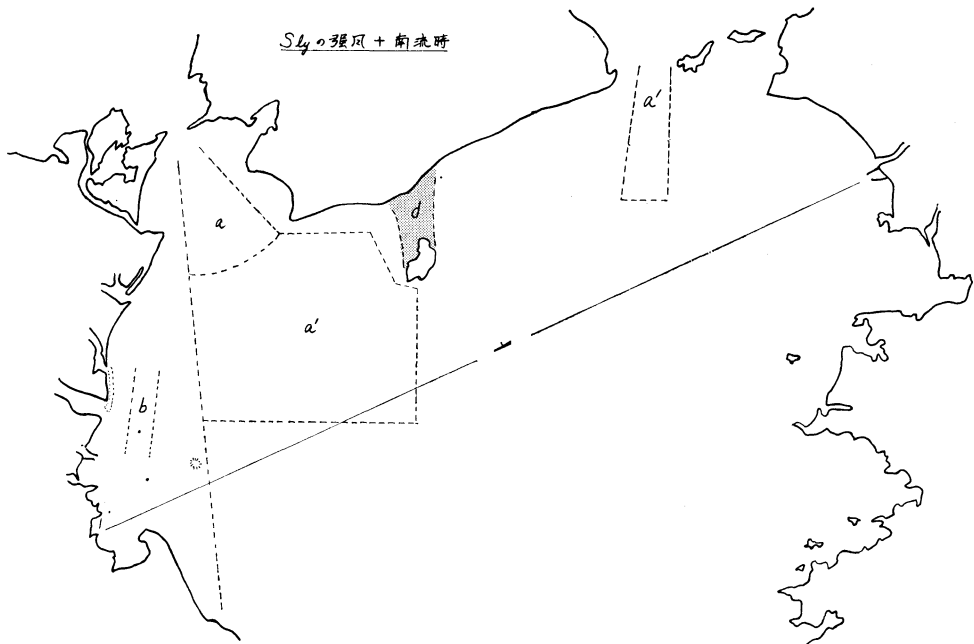
たのが第2図である。これに加え鳴門海峡での干満潮の時刻を考慮に入れてこの海域での最悪時刻(異常波出現時)を推定する。

先ず、徳島での平均風速が必要であるが、当日の松茂航空隊のゾンデ資料及び地上・高層解析から風速を予想することは云うまでもない。加えて徳島に於ける風の特異性を考慮に入れることを忘れてはならない。風速が決定すれば第2図を使い海上風速を算定する。なお注意する点は、気圧配置のうちで日本海を北東進する台風とか強い低気圧がある場合はこの第2図で求める海上風速より強く、徳島での平均風速の1.7倍が海上風速と考え、第2図より強く出るので注意すべきである。特にA点と小松島港の中間海域がその傾向が大きい。当日のチェックは松茂・和田島各自衛隊の風向・風速を参考に選び、海上航海中の南海定期汽船に電話して海上の風・波を監視すべきである。なお南方海域に台風が発生している場合、(特にN 20°, E 150°内に中心があるとき)必ず紀伊水道には“うねり”があるので注意したい。

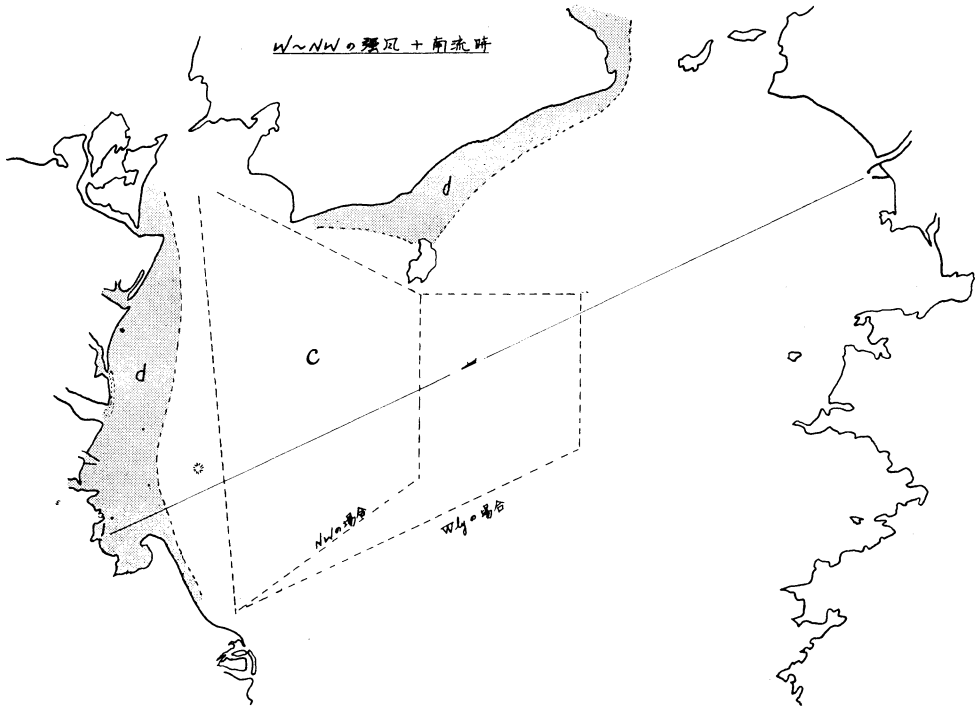
9. 経験則

この章はすべて、この海域に経験ある船長並びに船員の方々より入手したものをまとめたものである。

- (A) S-ly 10m/sec以上の風が吹き海峡で南流時。
 (i) 鳴門海峡で南流を起しているとき、第9図 a, a' 海域では他の海域より波が高くなつて、三



第9図



第 10 図

角波と思われる波を見るのは a 海域に多い。

- (ii) a, a' 海域の波も満潮（北流）になると他の海域程度の風波となる。
- (iii) 海上風速が S-ly 15m/sec 以上になると a, a' 海域の航海は危険であり、また北部海域全般に「しけもよう」となる。
- (iv) S-ly の強風時でも沼島の北側、淡路島よりでは多少おだやかな海面状態となつている。
- (v) 鳴門海峡の南流は小松島港の干潮時刻より約 3 時間の差がある。
- (vi) 第 9 図, b 海域で、吉野川が引潮ときに加え S-ly 10m/sec 以上の強風がそうと異常に高い波浪が起る。

(B) W-ly~NW 15m/sec 以上の風が吹き海峡が南流時

- (i) 第10図, c 海域で他の海域より波が高く、操船困難となるので注意が必要である。
- (ii) 第10図, d 海域では他の海域が「しけもよう」となつていても風波は少なく“ナギ”となつている。なお、紀伊水道北部海域での航海は S-ly で 15m/sec, W~NW で 20m/sec の強風となると、これが航海可能限界であり、海峡筋が南流（引潮）ときには注意が必要

である。また小型漁船では S-ly 10m/sec, W~NW 15 m/sec がその限界と思われる。

10. むすび

以上のとおり各資料をもとにまとめたが、北部海域の資料であるため、徳島沿岸の全般を予報するにはなお疑問がある。しかし、海上の風速を予報することが根本問題であるので、今後各地域に於ける地形を考慮に入れた風速の予想を調査する必要がある。

この調査に際し、資料の提供を載いた南海汽船株式会社始め、須磨丸、葛目孝亀船長に対し厚くお礼申し上げます。また始終ご意見、ご指導下さつた乙女丸岩崎駒尾船長並びに徳島大学土木部、三井宏助教授、大鷹千恵子氏に対し深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 井島武士：測量実務叢書海岸・港湾測量。
- 2) 土木学会：水理公式集。
- 3) 和歌山地方気象台防災業務課：昭和 34 年近畿地区研究会誌，紀阿航路上の風・波浪及びうねりについて。
- 4) 塩田輝也：昭和 33 年四国地区研究会誌，友ヶ島の風浪とうねりについて。
- 5) 徳島地方気象台技術課：昭和 35 年四国地区研究会誌，徳島沿岸の風と風浪，うねりの解析。