

日本船舶振興会昭和41年度補助事業
〃船舶の経済性向上に関する調査研究〃

研究資料No.57-2

第91研究部会第2分科会

● 海象気象と船体性能との関連に関する 調査研究報告書

海象気象と船舶の速度低下との
関係に関する統計調査

昭和42年3月

社団法人
日本造船研究協会

は　し　が　き

本報告書は日本船舶振興会の昭和41年度補助事業「船舶の経済性向上に関する調査」の一部として日本造船研究協会が第91研究部会第2分科会においてとりまとめたものである。

第91研究部会第2分科会委員名簿（敬称略、五十音順）

部会長 山内保文（船舶技術研究所）

幹事	植田靖夫（船舶技術研究所）	地引穂真（日本鋼管）
〃	牛島秀利（浦賀重工）	西原博明（日本鋼管）
〃	宇野木早苗（東海大学）	福山正輝（新和海運）
〃	河村四朗（気象庁）	前田至孝（運輸省）
〃	庄司大太郎（海上保安庁）	山崎春一（日本郵船）
委員	安部光弘（三井造船）	鳥田光明（日本船主協会）
〃	岡本洋（川崎重工）	田島節夫（気象庁）
〃	小沢清（気象庁）	田宮真（東京大学生産技術研究所）
〃	神田太郎（気象庁）	堀越清（航海訓練所）
〃	久津間裕良（運輸省）	武藤輝夫（川崎汽船）
〃	柴田幸夫（ジャパンライン）	

討議参加者

倉品昭二（海上保安庁）	松岡信（日本船主協会）
平塚司郎（日本郵船）	横田皓二（川崎汽船）
舛田吉郎（日本海事協会）	

目 次

概 要	
1. 研究の目的	1
2. 研究調査の経緯	2
3. 統計解析の方法	2
3.1 資料の性質と問題点、その処理	2
3.1.1 船の分類の考え方	2
3.1.2 排水量(吃水)による分割航路の分類	5
3.1.3 海象、気象のパラメータの選定	6
3.2 資料の内容	6
3.3 解析の準備	8
3.3.1 船の分類	8
3.3.2 海域およびコースの分類	12
3.3.3 風速の区分	14
3.3.4 船の進路に対する相対風向の区分	15
3.4 統計分類の実施	17
4. 統計結果	17
4.1 集計結果の表現	17
4.2 統計の精度、平均値の標準誤差	28
5. 統計結果の考察	31
5.1 相対風向と船速低下との関係	31
5.2 船種、船型の影響	32
5.3 計画航海速力の影響	52
5.4 船の長さの影響	53
5.5 航路の影響	40
5.6 載貨状態の影響	40
6. 成果の活用、今後の問題点	40
6.1 得られた成果の性質	40
6.2 成果の活用について	41
6.3 今後の問題点	43
7. むすび、謝辞	44
付録 引用文献	45

概要

一般船舶の通報にもとづく「海上気象資料」を用い、海象気象の悪化にともなう船舶の速度低下の実態を調査した。

「海上気象資料」の中には、気象観測時前3時間平均の船の速度および船の進路もあわせ報告されている。そこでこれらを利用し、海象気象を代表するものとして風速を選び、相対風向の各区分別に風速の階級ごとの船の速度の頻度分布を求めた。

使用した資料は1954～1960年の7年間84万枚にのぼる海上気象資料のIBMカードである。この間通報を行なつた船舶を、その用途、船型、建造年、垂線間長、設計速度等によつて34のグループに分類し、各グループごとに上記の統計を求めた。すなわちなるべく載荷状態が同じになるよう進路および海域によつて区分したいくつかの航路について各風速階級ごとに船の速度の分布を求める、さらにそれよりその風における速度の平均値および分散をも計算した。

なお、この解析には船底汚損、船体・機関の経年変化による性能低下は分離されていない。ただし、建造が1950年以前の船は除外したので経年変化の大きいものは除かれている。

風速の増大による船の速度の低下としてえられた結果は、船の運航の実態を示す具体的な資料で、構造設計、シー・マシンの推定、最適航路の設定等の基礎としてきわめて重要なものである。

1. 研究の目的

すでに昭和40年度第80研究部会(SR-80)においては、先に昭和38年度より調査部会船体分科会シー・マージン小委員会等が行なつておいた調査研究⁽¹⁾⁽²⁾をひきつぎ、一般船舶の観測通報による気象資料、いわゆる「海上気象資料」を統計分類して、主として北太平洋における風と波の性質を示し、船舶の合理的設計、経済的な運航に資することに努めてきた⁽³⁾。

これらは1954年～1963年の10年間の通報資料、すなわち気象庁海洋気象部保管のIBMパンチカード約150万枚を統計処理したもので、北太平洋全域を52の海区に分ち、各海区ごとに1～12月の各月ごとに風向、風速、波向、波高、波の周期の各種の組合せごとに発生頻度を求めたものである。これによりわが国の海運、造船にとって最も関連の深い海域の気象、海象を明らかにしようと努めたものである。

ある船が航海する特定の時期および航路が定まれば、その船の遭遇する波浪、風等の頻度分布は、これによつて推定できる。波浪、風等に対する船の抵抗増加、動搖、ストレス等の応答の特性を定めることができれば、その両者より応答の各種の統計的性質を推定することができよう。船の動搖、ストレス等の応答は船の速度が定まれば実験的あるいは理論的に求めることが可能である。

しかし一方、船は常に計画航海速力で航走しているわけではない。波浪や風の存在によつて動搖を生じ、抵抗増加、推進効率の減少をきたし、速度は低下する。あるいは大きな動搖にもとづく加速度のために積荷の荷崩れ損傷、海水打込み、甲板没水による甲板の凹損、ハッチの損傷、船底露出、船底衝撃による外板の損傷、あるいは推進器空転による主機の効率低下、または損傷等のおそれを生ずるために船長の判断により主機出力を絞り、意識的に速度を低下させていく。

すなわちこの速度低下も海象気象に対する船の応答の重要な1つのあらわれである。そして1航海中のストレスの短期分布とか、動搖のさまざまな期待値、あるいはシー・マージン等を推定し、最適航路を推定するためにはきわめて重要な1つの要素であつて無視するわけにはゆかない。

荒天中の速度低下には自然的な直接的な経過による場合と人為的(といつてももちろんその原因是自然的な外因よりもものではあるが、)な機関の操作を介してというように人為的な要因も含まれる場合があることは先に述べたとおりである。このうち前者の場合については船全体としての性能の問題として表われる場合が多いので、ある程度研究も進んでおり、理論的にまたは実験的に把握することもでき、原因や経過を数量的に表現することも可能である。しかしながら後者については、船の構造の局部の応力限界や、性能的にも安全航海にかかわことが多いので、数量的な算定もむずかしく、主として船長の知識と経験と勘による総合的な判断に頼つてゐる。もちろん将来、さらに研究が進めばこれも合理的に数量的に行なうくなるかも知れないが、現状ではその段階に達していない。したがつてこのような要素を含む速度低下の程度を把握するためには、今日では実船の就航実績に頼らざるをえない。あるいは実船の実績によつて求めたものがもつとも信頼すべき資料であるということができる。

そこでこの調査研究は、これを各船の通報した気象観測資料に含まれる航海の実績から統計的に求めようとするものである。

2. 研究調査の経緯

海象気象と速度低下との関係を各船の実績から求めるために、ログ・ブックの解析によつて行なおうとする試みもなされている。しかし、S R - 80、第2分科会の昨年度の調査^[4]によれば、現状ではログ・ブック記載の気象海象の記録は、気象業務法にもとづいて各船が通報する気象海象の観測値（海上気象資料）にくらべると、やや信頼度において劣つており、船の応答との同時性、関連の具体性においてやや欠けていることが判明している。一方気象業務法にもとづいて観測通報されている海上気象資料には、船の速度および船の進路の項が含まれており、気象観測を行なつた時間の3時間前からの船の速度および進路の平均値が報告されている。これらの値は、海象気象と最も密接に結びついたきわめて信頼度の高い値であつて、より同時性において優れていると思われる。

そこで S R - 80 で用いた海上気象資料をそのまま利用して解析を行なうこととした。すなわち S R - 80 の風、波の統計解析のため、1954年～1963年の10年間の IBM カード約 150 万枚を磁気テープ化してあつたので、それをそのまま活用することとした。ただし残念なことには、IBM パンチカードは 1961 年に WMO Code にしたがつて Code を改正し、WMO の基準に合わせて穿孔することになつた際、義務づけられなかつた船速と船の進路との穿孔を取止めてしまつている。したがつて 1954 年～1963 年の資料を検索したが、実際に用いられたのは 1954 年～1960 年の 7 年分約 8.4 万枚である。

海象による速度低下の模様を始めて数量的に運航の算定に活用したのはアメリカの R. James 等^[5] が、いわゆる最適航路設定法の提案を行なつた時である。また E. V. Lewis^[6] らはヴィクトリー型船のログ・ブックの解析によつて始めて1つの表現法を確立している。このような速度低下の型を実船の実績によつて確認しようとするのも本調査のねらいであつた。

3. 統計解析の方法

3.1 資料の性質と問題点、その処理

海上気象資料から速度低下の実態を見いだそうとする場合いくつかの問題がある。まず第1に船をいかに分類するかであり、またたとえ同じ船であつても排水量、載荷状態によつて性能が大きく変化するであろうと思われるのに、この資料には排水量の情報が全く含まれていないことをどう処理するかである。

また船の速度が 3 kt づつの階級に区分されていて、刻みがかなり大きいことも1つの問題である。また海象気象の程度を示すのに波浪を用いるが、風速を用いるかの問題がある。これらをいかに処理するかはこの統計がよい成果をもたらすためにも、また使い易い形の統計を得るためにもきわめて重要である。

3.1.1 船の分類の考え方

使用された資料はすでに述べたように 1954 年～1960 年の 7 年分の海上気象資料約 8.4 万枚の IBM カードである。この 7 年間の各年に通報を行なつた船舶の隻数は Table 3.1 のとおり延べ 2,678 隻に上るが、重複するものが多いので、それを除くと約 1,100 隻である。これらの船舶を調査するため、まず気象庁の原簿^[7]により各船の船名を識別し、それをもとに各年度の船舶明細書^[8]によつて建造年、用途（種別）、

船型、船の主要目等を調査した。船名を判別しつて、各必要項目のそろつて判明したのは 853 隻であつた。

これらを耐航性を主眼として分類する場合、考慮すべき要素として種々のものが考えられる。たとえば船の用途、船の長さ(L)、速度(V)、速度長比(V/\sqrt{L})、排水量(Δ)、肥満係数(C_B)、(C_D)、排水量・長比($\Delta / (\frac{L}{100})^3$)、船型、フリーポートの大小、主機の種別、主機馬力等などである。分類によつてグループの数をあまり大きくし、1 グループ当たりの資料の数が小さくなり過ぎると、統計値のバラつきが大きくなつて信頼度が減ずる。またグループの

数を制限しすぎて耐航性の上で大きな差のあるものが1つのグループとしてまとめられると、統計のバラつきが大きくなつてくるであろう。そこで最小のグループの数、いいかえれば上記のパラメータの最小の数で、耐航性の点では、はつきりと分割できるような分類法が望まれる訳である。

種々考慮の結果、この解析では次の五つのパラメータによることとした。このうち(V)の竣工年による制限は、船型の時代の経過によるバラつきと、経年変化による大きな性能低下を分離するため、1950 年以前を除外することによつて行なつた。

- (I) 船の用途(種別)
- (II) 水線上の船型
- (III) 船の長さ(L)
- (IV) 設計速度(V)
- (V) 建造(竣工)年度

これらのうち(I)～(IV)の各々の項目についてその具体的方法を述べることとする。

(I) 船の用途(種別)

この項目を用いたのは客船、一般貨物船、バラ積貨物船、鉱石船、木材運搬船、油槽船、ケミカル・タンカ、漁船、逓送漁船……等の用途、種別によつて水線上および水線下の船型に差があると思われたからである。これらのうち、客船、漁船等は数が少く、他と一緒にするには船型が異り過ぎると思われたので調査の対象外とした。そして油槽船と鉱石運搬船とを1つの船種にまとめ、他のグループを1まとめに考えた。

(II) 船の水線上の船型

水線上の船型には遮浪甲板船、長船首樓付平甲板船、平甲板船、三島型船、凹甲板船等が考えられるが、船長の機関出力低下の判断の基準となると思われる海水打込の難易はフリーポートの大小によると思われる所以、Fig. 3.1 に示すように有効乾舷の異なる3種に分類することとした。

(III) 船の長さ(L)

船の大きさは耐航性に大いに関係があるが、排水量は船の長さによつてかなりよく表わされ、次に示す項目

Table 3.1 気象観測船舶

年	隻数
1954	120
55	171
56	208
57	346
58	531
59	608
60	598
計	2,678

有効乾舷 (Effective Freeboard)		
	[F_0 + 1.5]	遮浪甲板船 (Shelter Decker)
	[F_0 + 0.5α]	長船首樓付平甲板船 (Flash Decker with long Funnel)
	[F_0]	平甲板 (Flash Decker) 三島船 (3-Islander) 凹甲板 (Well Decker)

Fig. 3.1 Classification of Types by Freeboard

の船の速度(V)との組合せによつて表現すれば、船の L/\sqrt{V} による区別も自らなされ、また肥満係数等も自ら分離されてきて耐航性の上では、 L と V との併用は L/\sqrt{V} 、 $\Delta/(L/100)^3$ 、 C_B 、 C_p 等のきわめてよい分離の結果をもたらすものと思われた。そこで長さの分類として

$$L < 100m, \quad 100 \leq L < 125, \quad 125 \leq L < 150, \quad 150 \leq L < 175 \\ 175 \leq L < 200, \quad 200 \leq L$$

の6種とした。

IV 船の速度(V)

船の速度(V)は長さ(L)と併用することによつて耐航性の上で船を分類するのに都合がよい。そこで速度(V)を分類のパラメータの1つに選んだ。ただし船舶明細書に出されている満載航海速力は、要目として報告を提出する船舶会社によつてシー・マージンを含んだものも含まないものもあり、その他の基準もまちまちであるので、むしろ信頼性の大きい明細書記載の試運転最高速力から一定の基準で換算して、ピューフォート0に対応する満載速力を次のように定めた。

満載速力(MCRの8.5%において)

$= C \times (\text{試運転最高速力})$

$C \dots \dots \text{油槽船の場合} \quad 0.96$

$\text{貨物船} \quad // \quad 0.865$

これは油槽船の試運転は満載状態MCR、また貨物船の試運転は $\frac{1}{2}$ もしくは $\frac{1}{3}$ 載荷、MCRで行なわれる場

合が多く、ピューフォート0の場合の満載速力としては満載、Normal Service 出力(MCRの85%)をとるべきであると考えられたからである。このCの値としては、在来の資料より一般貨物船についてはTable 3.2のごとく推定されたので大さに無関係に0.865をとることとし、油槽船については同じく0.96をとることとした。速度の分類は

$1.1 < v \leq 1.25$, $1.25 < v \leq 1.4$

$1.4 < v \leq 1.55$, $1.55 < v \leq 1.7$

$1.7 < v \leq 1.85$

の5グループとした。

Table 3.2 C の 値

L (m)	v (kt)	C
$L < 100$		0.85
$100 \leq L < 125$		0.85
$125 \leq L < 150$	$1.25 < v \leq 1.4$	0.88
	$1.4 < v \leq 1.55$	0.86
	$1.55 < v \leq 1.7$	0.85
	$1.7 < v \leq 1.85$	0.86
$150 \leq L < 175$	$1.25 < v \leq 1.4$	0.86
	$1.4 < v \leq 1.55$	0.86
$175 \leq L < 200$		0.88
$200 \leq L$		0.88

3.1.2 排水量(吃水)による分割、航路の分類

たとえ同種、同型、同じ大きさの船であつても、その載荷状態、吃水によつて耐航性にかなり相違があると思われるのに、この「海上気象資料」には吃水または排水量の情報は何も含まれていない。ただし、その中には気象観測地点と、そのときの平均進路とが示されているので、海域と進路とによつて次のように区分することにより、排水量による相違を分割しようと努めた。

(イ) 東経140°以東の海域にあるものを北米、カナダ向け太平洋航路とする。

(ロ) 船の進路は8分割法によつて示されているので太平洋航路では

N E, E, S E を 東航(往航)と考え

N W, W, S W を 西航(復航)と考えた。

すなわち東航はバラスト状態、西航は満載に近いと推定した。

(ハ) 北航Nと、南航Sとは太平洋航路ではどちらに入れてよいかはつきりと定まらないで、上記の2状態の統計からは除くこととした。ただしその海域の全航路平均の統計には包含した。

(二) 東経140°以西の海域にあるものはフィリピン、ペルシヤ湾、その他アジア、アラビア、アフリカ、ヨーロッパ航路が多いと考え南方航路とした。

(ツ) この場合北航Nは日本に帰るもの、南航Sは日本より出るものが多いと考え、前者は東航に、後者は西航に含めた。

すなわち N, N E, E, S E を東航(復航)、

N W, W, S W, S を西航(往航)とした。

(ハ) 太平洋航路、南方航路のいずれについても全進路と一緒にしたものと、それぞれ一つの分類と考えたもの

についても統計を行なつた。

3.1.3 海象気象のパラメータの選定

船の速度低下と海象気象との関連を示すためには、波と風のどちらの観測資料を用うるべきか問題になる。

風速は同じであつても連吹時間と、吹送距離とが異れば、存在する波浪は大きく異つてくる。そして船の速度低下には船の動搖が大きく影響するから風よりも波浪の方が直接影響すると思われる。しかしながら一方、波は現在すべて乗組員の目視観測に頼つて取られており、波の向きはほとんど風向をそのままとつているので、精度が必ずしも十分とはいえない。

これに対して風速、風向は上記のような欠点があるが、その観測は気象業務法によつて設備を義務づけられた計器によつて行われ、また計器は気象庁によつて検定されている。したがつて精度の上では信頼度はきわめて高い。そこで風速、風向を海象気象を示すパラメータとして選んだ。もし波との関係を求めたい時には、昨年度、一昨年度の調査⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾によつてすでに求められている風と波との関係を用いて換算すればよい。またすでに述べたように今まで発表されたもの⁽⁵⁾⁽⁶⁾にて風速に対して速度低下を示したものがあるので、比較に便のためにも風速を用いることとした。

以上によつてこの資料の持つ欠点を補い統計調査を進めることとした。ただし船の速度の通報の刻みが3ktで大き過ぎる点については、なるべく資料の数を大きくして、このための誤差を小さくするよう努める他はなかつた。この刻みの大きさと資料の数から平均値として求めた値の信頼度は統計的に計算することが可能である。その点については解析結果の検討の項で再び論ずることとする。

3.2 資料の内容

先に述べたように1954年～1960年の7年間の資料を用いたが、1観測ごとに1枚のIBMパンチカードに穿孔されていることは、先のSR-80、第1分科会の報告⁽³⁾で述べたとおりである。各年ごとのカード枚数はTable 3.3 のとおり、総計約84万枚である。パンチカードの内容のうち、今回統計に使用したもののはTable 3.4 のようなものである。

Table 3.3 各年度海上気象資料数

年	カード数	船舶隻数
1954	31,604	120
55	52,164	171
56	69,108	208
57	108,316	346
58	163,738	531
59	194,400	608
60	218,722	694
計	838,052枚	2,678隻

Table 3.4 調査に用いた要素

コラム No.	符 号	内 容 、 表 現 法
3～7		船舶番号
15	Q	地球のオクタント(0～3、ただし4は除く)
19～21	LoLoLo	経度、度の10位、1位および秒位(ただし $100^{\circ} \sim 180^{\circ}$ に対しては100を省略)
25～26	dd	風向、度の10位、および1位(00～56)
27～28	ff	風速、kt の10位および1位
44	Ds	船の進路(観測時前3時間の観測点から現在の観測点までの方位)(0～8)
45	Vs	観測時前3時間を通じての船の平均速度(観測時前3時間の観測点と現在の観測点の距離(s.mile)を3で割つたもの)(0～9)

なお船舶番号は気象庁船舶番号で5桁の数字であり、1隻の船でも毎年異つた固有番号をもつ。最初の2桁は年度を示す。1960の後は60×××、またddの表現はTable 3.5 のようになつている。

Table 3.5 風 向 の 表 現

dd	風 向	dd	風 向
00	静 懈	32	$315^{\circ} \sim 324^{\circ}$
01	$5^{\circ} \sim 14^{\circ}$	33	$325^{\circ} \sim 334^{\circ}$
02	$15^{\circ} \sim 24^{\circ}$	34	$335^{\circ} \sim 344^{\circ}$
03	$25^{\circ} \sim 34^{\circ}$	35	$345^{\circ} \sim 354^{\circ}$
...		36	$355^{\circ} \sim 4^{\circ}$
...		99	風向変化多く定め難い

この場合方向は磁気方位ではなく真方位によつてある。そして風向が 360° (North)の場合はdd=36となり00とはなつていない。

船が測器を持たぬときにはピューフォート風力階級によつて報じられている。すなわち風力階級をktに換算してf₁に報じている。

Table 3.6 風力の表現

風力	$f_f (kt)$	風力	$f_f (kt)$
0	1未満	7	2.8~3.3
1	1~3	8	3.4~4.0
2	4~6	9	4.1~4.7
3	7~10	10	4.8~5.5
4	11~16	11	5.6~6.3
5	17~22	12	6.4以上
6	22~27		

また同じく Table 3.4 の D_s 、 V_s は Table 3.7 のように Code 化されている。

Table 3.7 D_s , V_s の Code

Code	D_s	Code	V_s
0	位置は変わらない	0	0
1	N E	1	1~3 kt
2	E	2	4~6
3	S E	3	7~9
4	S	4	10~12
5	S W	5	13~15
6	W	6	16~18
7	N W	7	19~21
8	N	8	22~24
9	不明	9	25 kt 以上

風速が 1 kt 未満のときには $d d f f = 0000$ とし、風向が変化多く、定めがない場合は $d d = 99$ となつて いる。また f_f には 9 kt までの風速はそのまま示され 100~199 kt の場合には $d d$ に 50 を加えて表 現してある。たとえば $d d = 04$ で風速 108 kt のときには $d d f f = 5408$ と表現してある。

3.3 解析の準備

3.3.1 船の分類

すでに 3.1.1 で述べたように 1954 年~1960 年の 7 年間に通報を行なつた約 1,100 隻の船舶につい て、運輸省船舶登録番号、竣工年、船種、船型、その他主要目を調査した。

そして先に決定したパラメータ、すなわち竣工年、船種、船型、船の長さ (L)、設計速度 (V) 等によつ て分類するため船舶ごとの IBM カードを作成して行なつた。前述のようにこれが可能であつたのは 853

隻であった。

(I) 船種、船型のコード化

まず IBM カード化のため船種、船型を Table 3.8 のようにコード化した。

Table 3.8 船種、船型のコード化

Code	船種(Purpose)	船型(Type)
0	客船	—
1	一般貨物船	造浪甲板船
2	バラ積貨物船	長船首樓付平甲板船
3	鉱石船	船首樓付平甲板船
4	木材運搬船	長船尾樓付平甲板船
5	油槽船	平甲板船
6	ケミカルタンカー	三島型
7	漁船	凹甲板船
8	運搬漁船	船尾機関型
9	その他	

(II) 船舶カードの作成

これら 853 隻の船舶をグループに分けるに便なるように Table 3.9 の項目について各船舶ごとの IBM カードを穿孔作製した。

Table 3.9 船舶分類用カード

コラム No.	表 示	内 容 (桁 数)		
1~6	Ship No. (Reg.)	船舶登録番号	6 桁	× × × × × ×
◦ 7, 8	Year compl.	竣工年	1951	2 桁
◦ 9	Purpose of Ship	船種	0~9	1 桁
◦ 10	Type //	船型	0~9	1 桁
11	Class			
12~14				
15~20	Gross Tonnage	総トン数	5 桁	× × × × ×
◦ 21~25	Length L	垂線間長	5 桁	× × × ×
26~29	Breadth B	型幅	4 桁	× × ×
30~33	Depth D	型深	4 桁	× × ×
34~37	Draft d	吃水(満載)	4 桁	× × ×
38~43	Displacement	排水量()	6 桁	× × × × ×

コラム No.	表 示	内 容 (格 数)
4 4～4 7	Max Speed V	試運転速力 4格 ×××
◦ 4 8～5 1	MCR Speed	V × Const // ×××
5 2～5 4	SHP or BHP	機関出力 × 1/100 3格 ××
5 5	Sort of Eng.	機関種別
5 6～5 7	Propeller	
5 8～5 9	Rudder	
◦ 6 0～6 2	Ship No. 1954	気象庁番号 1954 3格 <u>54000</u>
◦ 6 3～6 5	D② 1955	// 1955
◦ 6 6～6 8	D② 1956	// 1956
◦ 6 9～7 1	D② 1957	// 1957
◦ 7 2～7 4	D② 1958	// 1958
◦ 7 5～7 7	D② 1959	// 1959
◦ 7 8～8 0	D② 1960	// 1960

実際に今回船舶分類に用いた項目は◦印のついたもののみである。Card Design は Table 310
に示すときものである。

Table 3:0 船舶カードのデザイン

Ship Name (Africa Maru: 例)	Dimensions	Ship No. for Met. Obs.
Year Comp'l	Ship No. (Reg.)	1960
Ship Kind	Cross Tonnage	1959
Class Type	Breadth	1958
Class Soc.	Length	1957
Gross Tonnage	Draft (Full)	1956
L	Max. Speed	1955
B	MGR Speed	1954
D	SHP (MGR) HP	1953
E	Sort of Eng.	1952
V	Prop.	1951
V	Rudder	1950
A	No. Tor	1949
V		1948
V		1947
V		1946
V		1945
V		1944
V		1943
V		1942
V		1941
V		1940
V		1939
V		1938
V		1937
V		1936
V		1935
V		1934
V		1933
V		1932
V		1931
V		1930
V		1929
V		1928
V		1927
V		1926
V		1925
V		1924
V		1923
V		1922
V		1921
V		1920
V		1919
V		1918
V		1917
V		1916
V		1915
V		1914
V		1913
V		1912
V		1911
V		1910
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907
V		1906
V		1905
V		1904
V		1903
V		1902
V		1901
V		1900
V		1909
V		1908
V		1907

(iii) 分類の実施

前項に述べたような IBM パンチカードを電子計算機にかけて分類を行なつた。その結果 5 つのパラメータのうちいずれの 1 つでも調査範囲をはずれたものは除外されるのはもちろんである。建造年以外の 4 つのパラメータの Table 3.1.1 に示すような組合せごとにグループ No. を 1 ~ 34 と付けた。パラメータの個々は調査範囲にあつていても組合せが、この表に示す範囲にないものは同じく機械的に除外された。かくしてこの調査の対象となつたのは 454 隻であつた。

3.3.2 海域およびコースの分類

すでに 3.1.2 で述べたように、排水量(吃水)状態の情報を含まないこの資料を用いて、排水量による耐航性の相違にもとづく統計値のバラつきを防ぐため、太平洋航路の東航、西航、南方航路の西航、東航に分つたが、これは具体的には観測点の位置を示すオクタントの数⑨と経度 LoLoLo と、船の進路を示す Ds (Table 3.7) との組合せによつて Table 3.1.2 のように行なわれ船の航路として同じ表の示すように Code 化されたこの内容については、すでに 3.1.2 で明らかである。

Table 3.1.1 船舶のグループの内容

Purpose	Type	L	V	Group No.
1, 2, 4	1	$L \leq 100$		1
		$100 < L \leq 125$	$1.1 < V \leq 1.25$	2
			$1.25 < V \leq 1.4$	3
		$125 < L \leq 150$	$1.25 < V \leq 1.4$	4
			$1.4 < V \leq 1.55$	5
			$1.55 < V \leq 1.7$	6
			$1.7 < V \leq 1.85$	7
3, 4, 5	2	D^C		8
		D^C		9
		D^C		10
		D^C		11
		$150 < L \leq 175$	$1.25 < V \leq 1.4$	21
			$1.4 < V \leq 1.55$	22
				23
6, 7	1, 2	$L \leq 100$		24
		$100 < L \leq 125$	$1.1 < V \leq 1.25$	25
			$1.25 < V \leq 1.4$	26
		$125 < L \leq 150$	$1.25 < V \leq 1.4$	27
			$1.4 < V \leq 1.55$	28
			$1.55 < V \leq 1.7$	29
			$1.7 < V \leq 1.85$	30
3, 5	1 ~ 8	$150 < L \leq 175$	$1.25 < V \leq 1.4$	31
		$175 < L \leq 200$	$1.4 < V \leq 1.55$	32
		$200 < L$	$1.55 < V \leq 1.7$	33
			$1.55 < V \leq 1.7$	34

Table 3.1.2 航路のコード化

Code	航路の名称	Octant Q	LoLoLo	Ds
1	太平洋東航	1		
		2	$40.0 \leq$	1, 2, 3
2	太平洋西航	1		
		2	$40.0 \leq$	5, 6, 7
3	太平洋全航	1		
		2	$40.0 \leq$	1 ~ 8
4	南方航路東航	2	<40.0	1, 2, 3, 8
5	南方航路西航	2	<40.0	4, 5, 6, 7
6	南方航路全航	2	<40.0	1 ~ 8

(註) LoLoLo は経度の 10 位、1 の位、% の位の 3 桁で示し、100 の桁は除いている。

Octant 1 は ($0^\circ \sim 90^\circ N$, $90^\circ W \sim 180^\circ W$)

2 は ($0^\circ \sim 90^\circ N$, $180^\circ E \sim 90^\circ E$) の範囲である。

3.3.3 風速の区分

風速の区分をこの調査では Table 3.1.3 のように 1 code 化した。

Table 3.1.3 風速の区分

Code	Beaufort Scale	ff
1	0 ~ 3	0.0.1 ~ 1.0
2	4	1.1.1.2 ~ 1.6
3	5	1.7 ~ 2.1
4	6	2.2 ~ 2.7
5	7	2.8 ~ 3.3
6	8	3.4 ~ 4.0
7	9	4.1 ~ 4.7
8	10 ~	4.8 ~ (5.5)

3.3.4 船の進路に対する相対風向角の区分

すでにTable 3.7で示すごとく船の進路はFig. 3.2のようにNEより 45° ごとの8方位法により1~8にCodeされており、風向はTable 3.5のごとく $5^\circ \sim 14^\circ$ 、 $15^\circ \sim 24^\circ$ 、……を 0.1° 、 0.2° のよう 1.0° ごとに36方位で示している。そこで風と船の進路との相対的な方向としてTable 3.14のようなHead, Bow, Beam, Quarter, Followの5つに分類した。

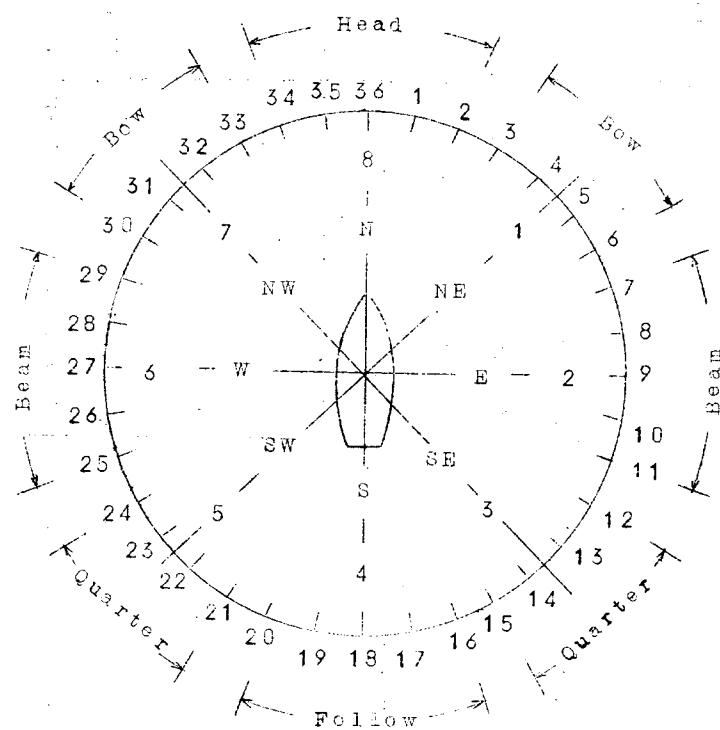


Fig. 3.2 Class of Wind Direction

Table 3.14 相対風向の区分

Code	1	2	3	4	5	6	Code
相対方向	Head	Bow	Beam	Quarter	Pollution	Total	相対方向
船の進路 Ds	風向 (dd)	風向 (dd)	風向 (dd)	風向 (dd)	風向 (dd)	風向 (dd)	船の進路 Ds
8	34 35 36 01 02	3 4 5 6 ;30 31 32 33	7 8 9 10 11;25 26 27 28 29	12 13 14 15 ;21 22 23 24	16 17 18 19 20	16 17 18 19 20	8
1	03 04 05 06	7 8 9 10 11;34 35 36 1 2	12 13 14 15 ;30 31 32 33	16 17 18 19 20;25 26 27 28 29	21 22 23 24	21 22 23 24	1
2	7 8 9 10 11	12 13 14 15 ;3 4 5 6	16 17 18 19 20;34 35 36 1 2	21 22 23 24 ;30 31 32 33	25 26 27 28 29	25 26 27 28 29	2
3	12 13 14 15	16 17 18 19 20;7 8 9 10 11	21 22 23 24 ;3 4 5 6	25 26 27 28 29;34 35 36 1 2	30 31 32 33	30 31 32 33	3
4	16 17 18 19 20	21 22 23 24 ;12 13 14 15	25 26 27 28 29;7 8 9 10 11	30 31 32 33 ;3 4 5 6	34 35 36 1 2	34 35 36 1 2	4
5	21 22 23 24	25 26 27 28 29;16 17 18 19 20	30 31 32 33 ;12 13 14 15	34 35 36 1 ;2;7 8 9 10 11	34 35 36 1 2	34 35 36 1 2	5
6	25 26 27 28 29	30 31 32 33 ;21 22 23 24	34 35 36 1 ;2;6 17 18 19 20	3 4 5 6 ;12 13 14 15	7 8 9 10 11	7 8 9 10 11	6
7	30 31 32 33	34 35 36 1 2;25 26 27 28 29	3 4 5 6 ;21 22 23 24	7 8 9 10 11;16 17 18 19 20	12 13 14 15	12 13 14 15	7
一般式	(Ds × 4.5) - 2 ~(Ds × 4.5) + 2	(Ds × 4.5) + 3 ; (Ds × 4.5) - 6 ~(Ds × 4.5) + 6	(Ds × 4.5) - 7 ; (Ds × 4.5) - 11 ~(Ds × 4.5) - 5 ~(Ds × 4.5) + 5	(Ds × 4.5) - 11 ; (Ds × 4.5) - 15 ~(Ds × 4.5) + 15 ~(Ds × 4.5) - 7	(Ds × 4.5) + 12 ; (Ds × 4.5) + 16 ~(Ds × 4.5) + 12 ~ (Ds × 4.5) - 12 ~ (Ds × 4.5) + 20	(Ds × 4.5) + 16 ~(Ds × 4.5) + 20	一般式

(註) ただし、いづれも 1 ~ 36 の整数(36 以上の数となつたときは 36 を満じたもの)

3.4 統計分類の実施

今まで述べてきたような考え方にもとづき、前項で述べた準備を行なつた上でこの統計分類を実施した。その計算機作業は伊藤忠電子計算機サービス㈱に依頼し、CDC 3600/3200 計算機によつて行なつた。

結果は1～34の船のグループ別に船の航路(計6)のそれぞれにつき、相対風向ごとに、1枚のアウトプット表にプリントさせるようにした。

1枚のアウトプットには各風速の階級ごとに船の速度の各階級の現われる数を示し、また1つの風速階級ごとにその速度の発現の総数に対する%を示した。またこの結果から各船速階級の中央値を用いて、風速階級ごとの船の速度の平均値と分散とを計算して表の中に示すようにした。

また一見して統計結果の傾向がわかるようにプリンタによつて上述の%を符号で図示できるようにした。

4. 統 計 結 果

4.1 集計結果の表現

前項3.4で述べたようにアウトプットをプリントさせたが、1～34の船のグループのうち、グループ1、2に該当する船はなかつたので32のグループについて行なつたことになる。航路の数が6、相対風向が6種であるから、アウトプットのシートの数としては

$$32 \times 6 \times 6 = 1152 \text{枚}$$

がえられた。その数例をTable 4.1～Table 4.4に示す。一番上部の表には各風速階級ごとの平均船速(Mean)および分散(Stand.Dev.)もプリントされている。

シートの最下部には※印1つで10%を表すことにして、横軸の風速スケール上風速階級の中央値に該当する位置に引いた縦線を基線とし、各風速階級ごとの船の速度の頻度分布の形がヒストグラムの形で示されている。

同じ縦線上にMで示す位置は平均船速を示している。このような表現法から風力の増大に伴なう船速低下の様子を直観的に読みとることができよう。これをさらにふつうのヒストグラムおよび平均値のみの関係の形で示したもののがFig. 4.1～Fig. 4.6である。

この船速低下が通常定義されているシー・マージンすなわち船底汚損、風波、操舵等が惹起する馬力増加に相当するものとは若干相違し、風波による船速低下の他に主機出力の必然的あるいは人為的な低下をも含んでいることはすでに述べた所である。

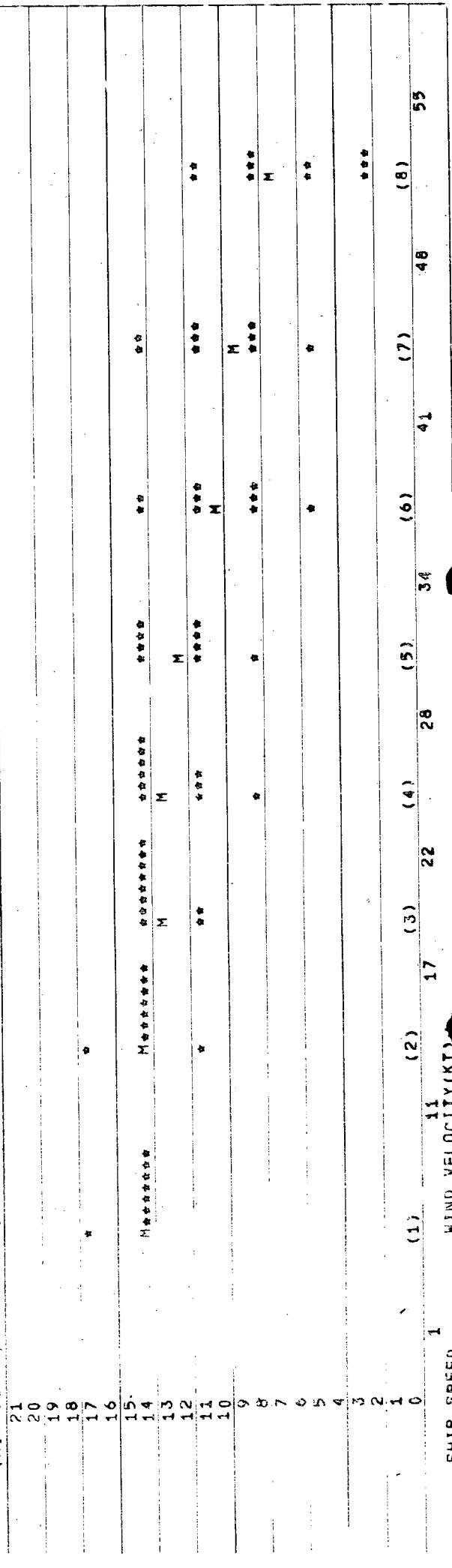
Table 4.1 ア ヴ ト ブ シ ハ 1

SHIP GROUP 29 KIND CARGO SHIP , BULK CARRIER , LUMBER CARRIER
 TYPE
 ROUTE 2 OCTANT 1,2 (90W=180W,180E=90E) SHIP COURSE SW,W,NW
 WIND DIRECTION 1 HEAD

(NO. OF OCCURRENCE)		1	2	3	4	5	6	7	8	TOTAL
SHIP SPEED *	WIND VEL.	0-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	41-47	48-*	
7 19- KT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 16-18	92	81	24	20	6	1	0	1	1	225
5 13-15	658	569	489	353	179	61	7	0	0	2316
4 10-12	35	67	116	173	186	89	14	5	5	685
3 7-9	2	5	11	30	59	82	14	7	7	210
2 4-6	0	2	0	0	8	28	6	4	4	48
1 1-3	1	0	0	1	3	4	2	8	8	19
TOTAL	786	724	640	577	491	265	43	25	25	3503
MEAN(KT)	14.19	13.99	13.47	12.67	11.73	10.02	9.26	6.56	6.56	13.06
STAND.DEV.	1.30	1.52	1.52	1.96	2.45	3.01	3.18	3.99	3.99	2.35

(PERCENT)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	11.68	11.19	3.75	3.47	1.36	0.38	0.00	4.00	4.00	6.42
5	83.50	78.59	76.41	61.18	40.59	23.02	16.28	0.00	0.00	66.11
4	4.44	9.25	18.13	29.98	42.18	33.50	32.56	20.00	20.00	19.55
3	0.25	0.69	1.72	5.20	13.38	30.94	32.56	28.00	28.00	5.99
2	0.00	0.26	0.00	0.00	1.81	4.57	13.95	16.00	16.00	1.37
1	0.13	0.00	0.00	0.17	0.68	1.51	4.65	32.00	32.00	0.54
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

(HISTOGRAM) (*#10 PERCENTS , MEAN)



SHIP SPEED

WIND VELOCITY(KT)

Table A
KIND CARGO SHIP , BULK CARRIER , LUMBER CARRIER
TYPE
ROUTE 2 OCTANT 1,2 (90W-180W,180E-90E) SHIP COURSE SW,W,NW

WIND DIRECTION 6 TOTAL

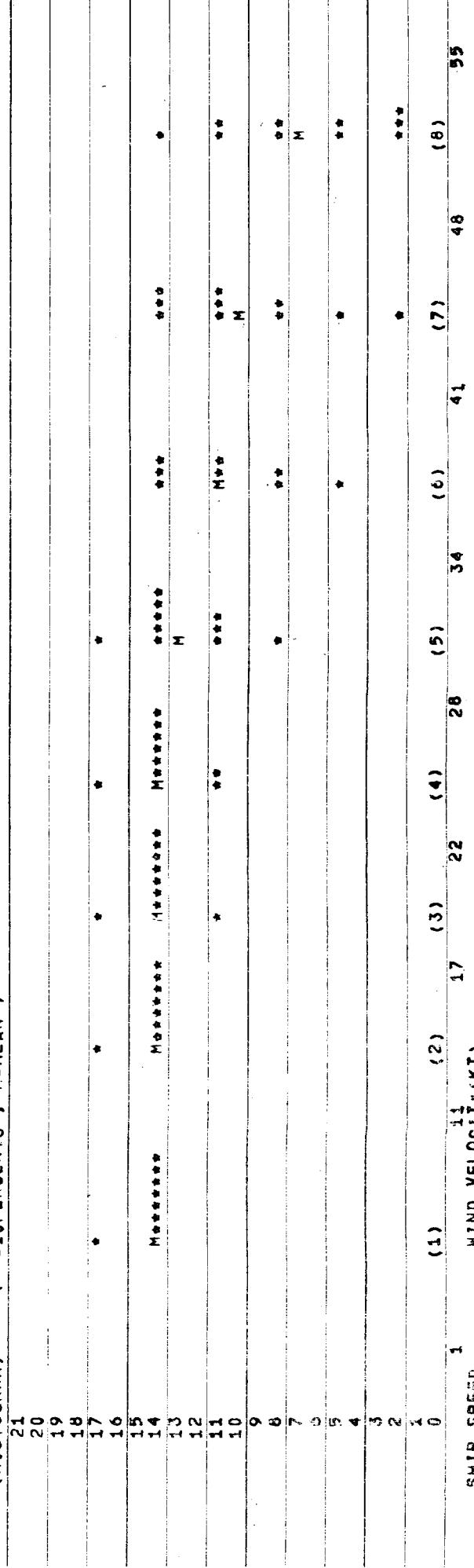
(NO. OF OCCURENCE)

SHIP SPEED *	WIND VEL.	0-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	41-47	48-	8	TOTAL
7 19- KT	6	8	4	1	0	1	1	0	0	0	20
6 16-18	915	667	365	225	85	22	3	1	1	2283	
5 13-15	5300	3800	2753	1798	846	269	43	7	14816		
4 10-12	151	204	322	482	431	255	41	12	1898		
3 7-9	23	61	50	75	158	171	34	11	583		
2 4-6	8	5	7	6	26	51	12	11	126		
1 1-3	3	2	4	1	5	9	9	15	48		
TOTAL	6406	4747	3505	2588	1551	778	142	57	19774		
MEAN(KT)	14.33	14.21	13.93	13.51	12.53	11.06	10.24	7.37	13.80		
STAND. DEV.	1.31	1.51	1.62	1.87	2.51	3.08	3.64	4.31	1.96		

(PERCENT)

7	0.09	0.17	0.11	0.04	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.10
6	14.28	14.05	10.41	8.69	5.48	2.83	2.11	1.75	1.55	
5	82.73	80.05	78.54	69.47	54.55	34.58	30.28	12.26	74.93	
4	2.36	4.30	9.19	18.62	27.79	32.78	28.87	21.05	9.60	
3	0.36	1.29	1.43	2.90	10.19	21.98	23.94	19.30	2.95	
2	0.12	0.11	0.20	0.23	1.68	6.56	8.45	19.30	0.64	
1	0.05	0.04	0.11	0.04	0.32	1.16	6.34	26.32	0.24	
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

(HISTOGRAM) (* = 10 PERCENTS , M = MEAN)



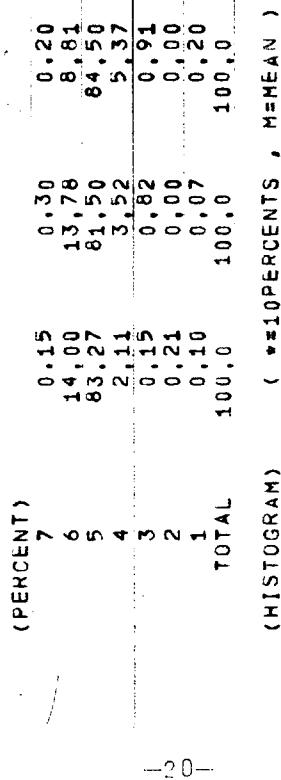
SHIP SPEED

1 WIND VELOCITY(KT)

1 0 (1) 11 (2) 17 (3) 22 (4) 28 (5) 34 (6) 41 (7) 48 (8) 55

Table 4.3 例
KIND CARGO SHIP , BULK CARRIER , LUMBER CARRIERS
TYPE

SHIP GROUP	ROUTE	WIND DIRECTION	29	2	3
------------	-------	----------------	----	---	---



卷之三

Ship Speed (kt)	Wind Velocity (kt)
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20

Table 4.4 アウトプットの1例

29 KIND CARGO SHIP , BULK CARRIER , LUMBER CARRIER
 TYPE OCTANT 1,2 (90W-180W,180E-90E) SHIP COURSE SW,W,NW

(HISTOGRAM) (*10 PERCENTS , MEAN)



(HISTOGRAM) { *10 PERCENTS , MEAN)

Ship Speed	Wind Velocity (KT)	Frequency (10% Pcts)
0	0	1
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10
11	11	11
12	12	12
13	13	13
14	14	14
15	15	15
16	16	16
17	17	17
18	18	18
19	19	19
20	20	20
21	21	21

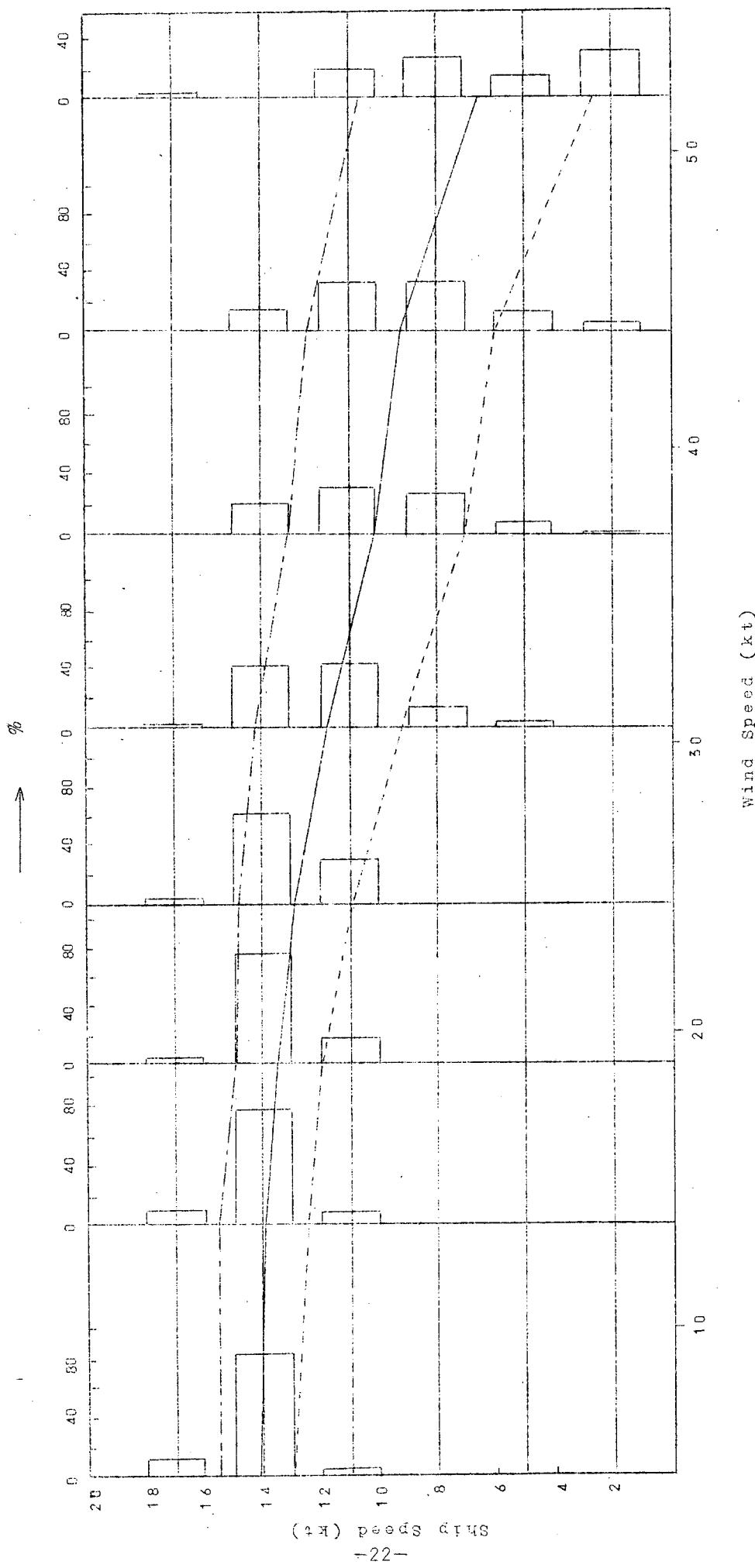


Fig. 4.1 Example of the Illustration of the Results

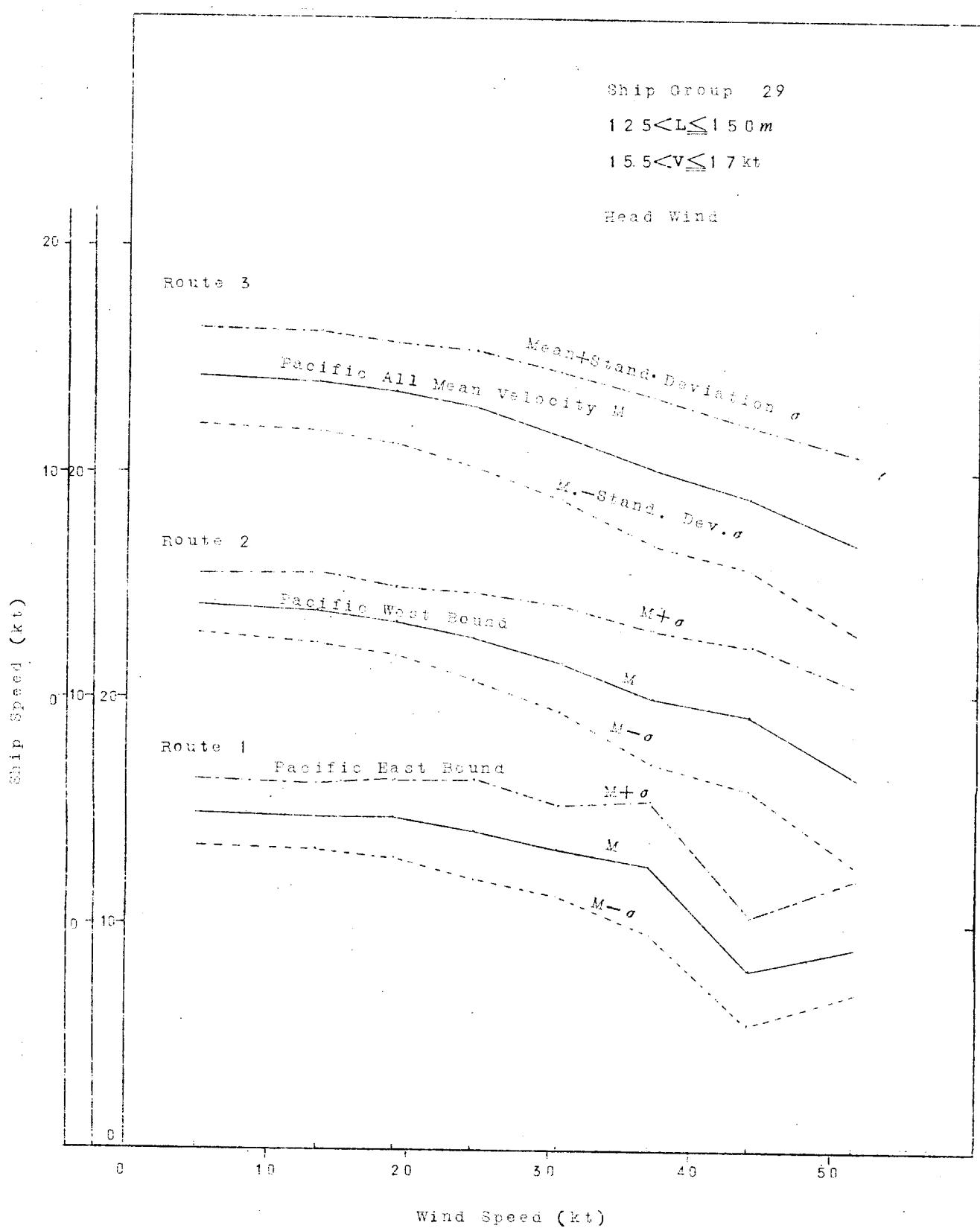


Fig. 4.2 Wind Speed vs Ship Speed

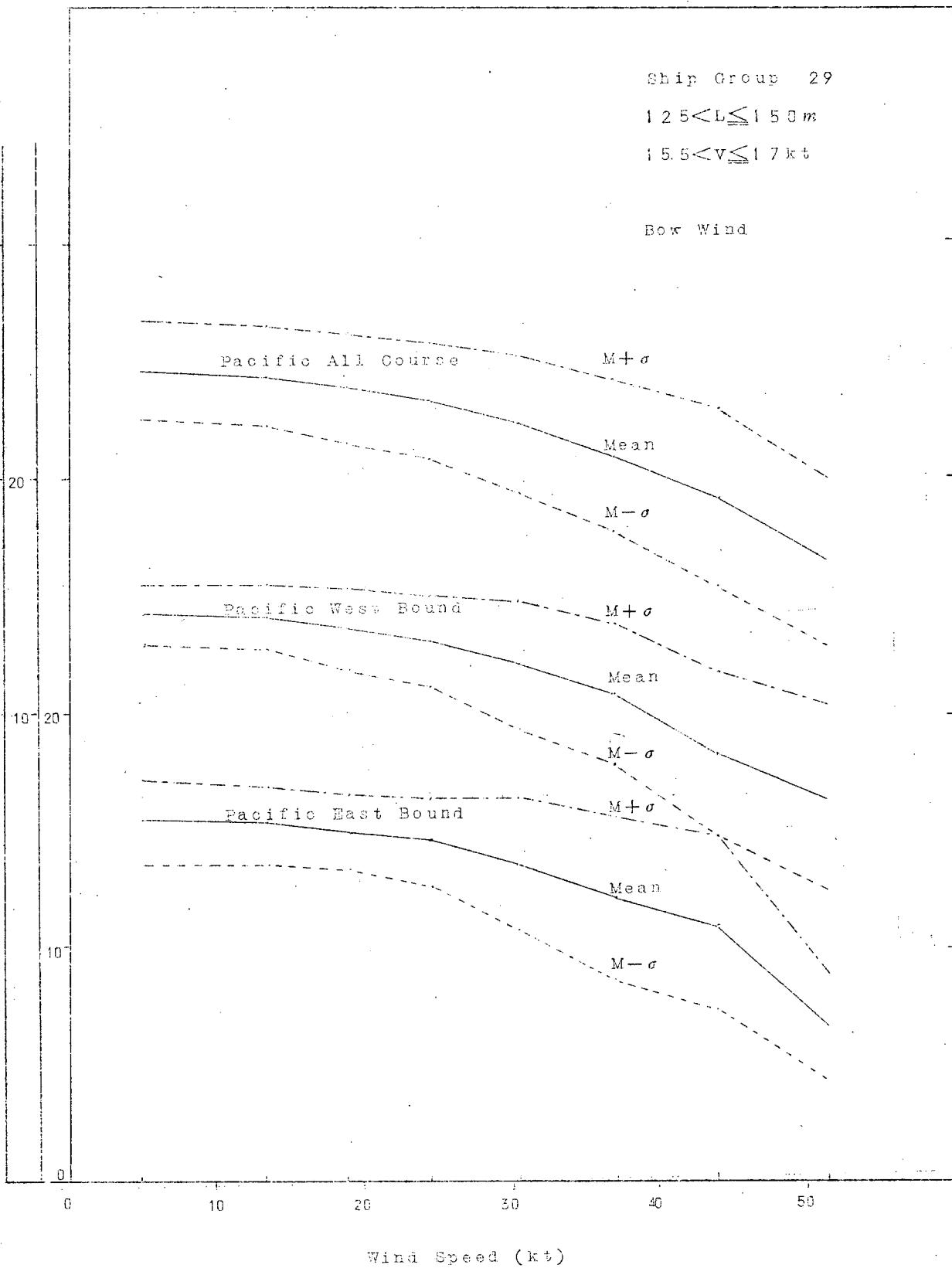


Fig. 4.3 Wind Speed vs Ship Speed

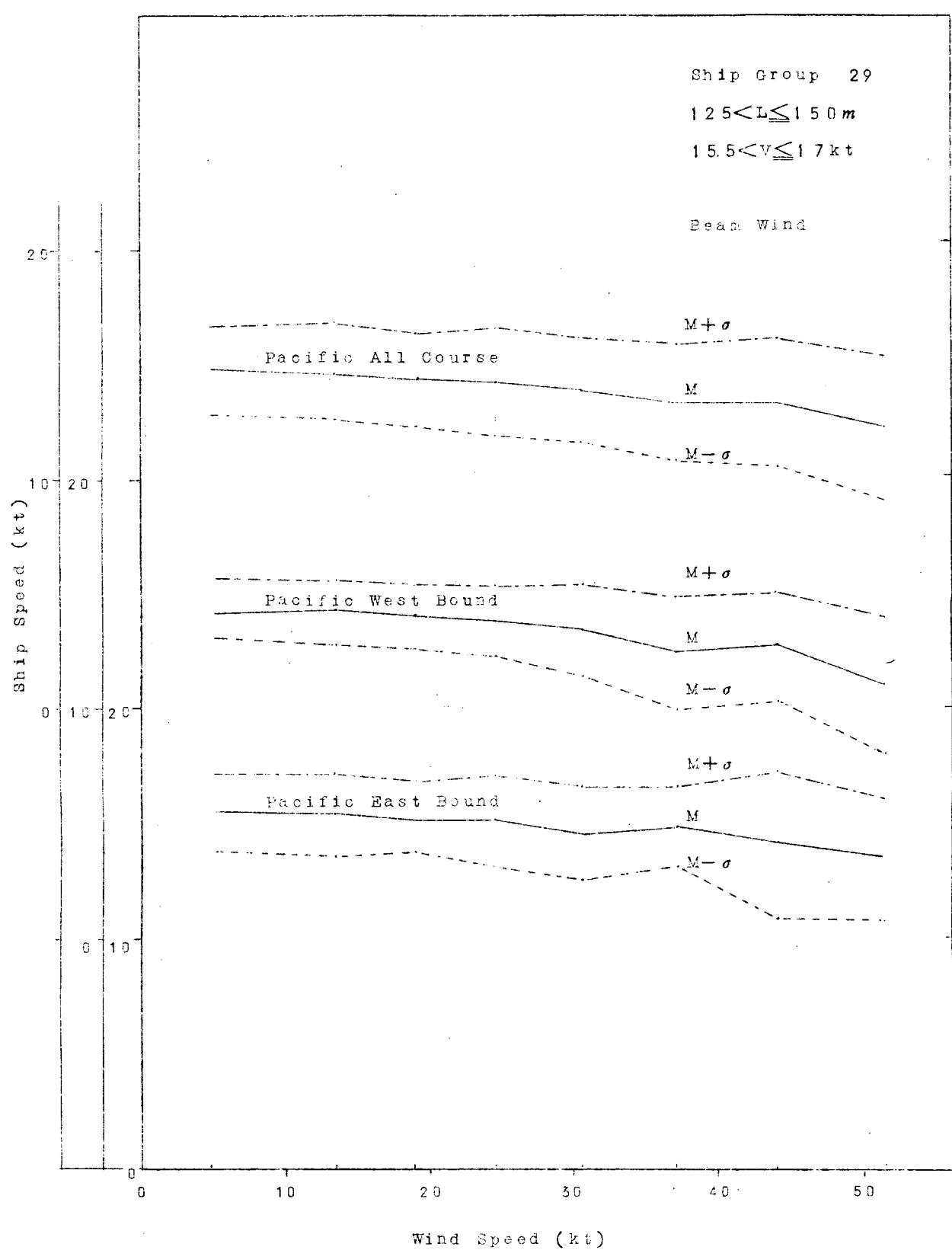


Fig. 4.4 Wind Speed vs Ship Speed

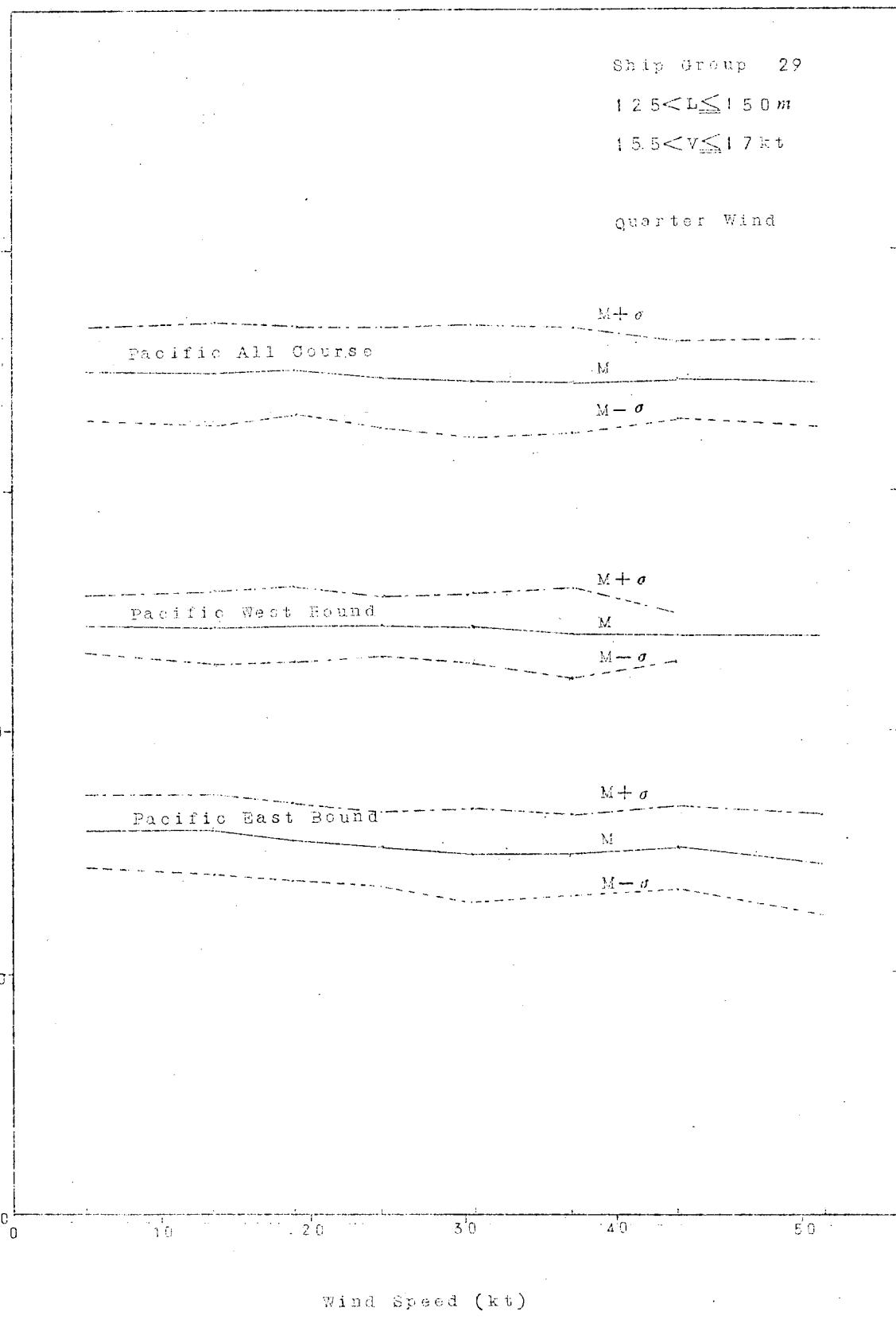


Fig. 4.5 Wind Speed vs Ship Speed

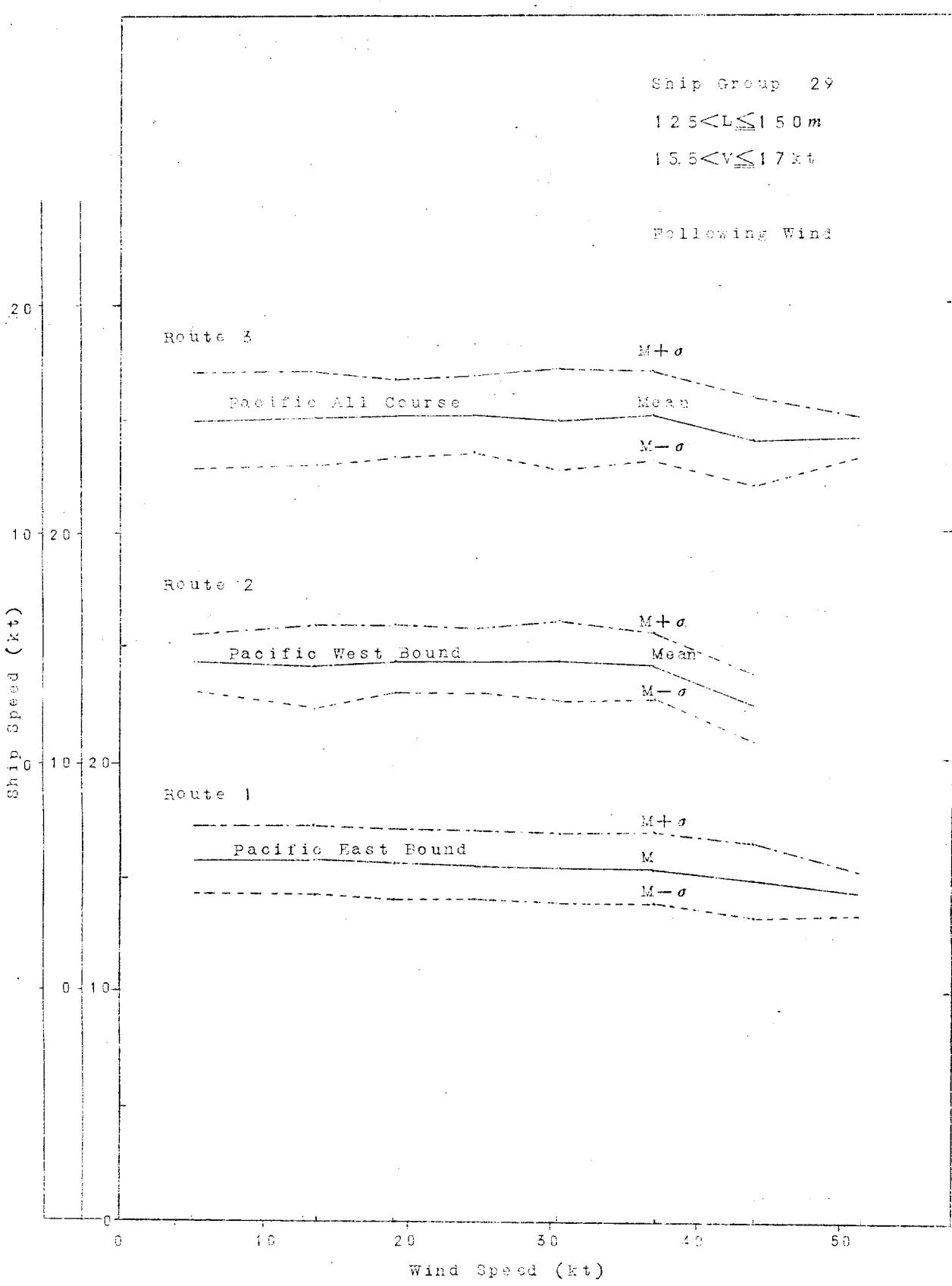


Fig. 4.6 Wind Speed vs Ship Mean Speed

このようにしてえられた成果は各グループに属する船の特性として一つ一つ独立に意味のあるものである。しかしまたそれらを相互に比較することによって、グループ分けを行なうに当つて使用したパラメータすなわち船種(用途)船型(フリーボードの大小)、船の長さ(L)、設計速度(V)の速度低下(ΔV)におよぼす影響を見いだすことができる。それは次の第5章に示される。

えられた成果はまた資料そのものの性質、船の分類の方法、各グループごとの船の速度の集計方法等によつてさまざまの制約をうけている。それらについては第6章において検討してある。ただ船の速度の報告が3 kt刻みであることが、どのように結果に影響しているかの検討は特に次に示すこととする。

4.2 統計の精度、平均値の標準誤差

この統計で最も気になることの1つは船の速度の通報の刻みが3 ktという比較的大きい点である。これが統計結果にどう影響してくるかを検討しておくこととする。

ここでは簡単のため

近似的に次のように

考える。Fig. 4.7

において横軸に船の

速度 x をとり、実際

の船の速度の確率頻

度分布(同一風速に

対する)を $p(x)$ であ

るとする。 x 軸を3

kt刻みに分けた x

の区間 $A' C'$ 、

$C' E'$ 、 $E' G'$ 、

$G' H'$ ……の区間

では $p(x)$ は一定であ

ると近似し、それぞ

れの区間の中央の間

x_{im} でこれを代表

させることとする。

すなわち $p(x)$ の誤差

を調べる代りに、階段状の分布 A、B、C、D、E、F、G、H……の誤差を調べることとする。

するとまず本来は区間 (x_{i-1}, x_i) 、 (x_i, x_{i+1}) ……で一様に分布しているものを x_{im} とその中央における値で代表させていくことになる。そのような矩形分布では上の下段の図に示すように平均値は x_m 、分類は $\sigma_a^2 = \frac{1}{12} a^2$ である。ここで a は区間の巾、すなわち今の場合 3 kt である。したがつてたとえば区

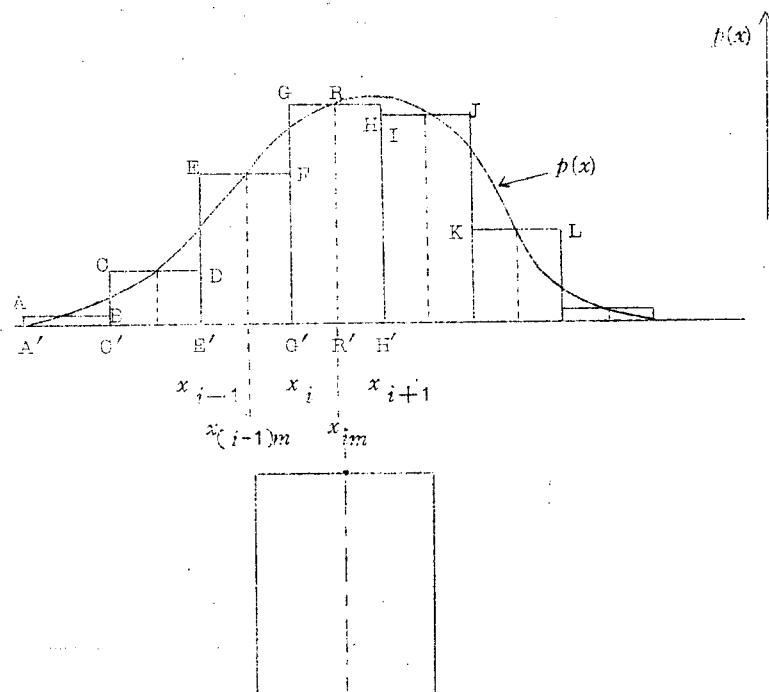


Fig. 4.7 Approximation of the Distribution by the Histogram

間 x'_i と x'_{i+1} の間(x_i, x_{i+1})で均等に分布している値を R' における1つの値 x_{im} で代表させたときの分散は $\sigma_a^2 = \frac{1}{12} \sigma^2 = \frac{1}{12} \times 3^2 = \frac{3}{4} (kt)^2$ 、したがつて3kt刻みの区分で船の速度が区分されているときに、その区間の中央値で表現すると $\sigma_a^2 = \frac{3}{4} (kt)^2$ の分散がある。いいかえると $\sigma_a = \sqrt{3/4} = 0.866 kt$ の標準誤差があることがわかる。

次に、このようにして頻度分布を近似し、それからそれぞれの区間の中央値を用いて速度の平均値、分散をそれぞれ次のようにして計算してある。

$$\begin{aligned} M &= \frac{n_1 x_{1m} + n_2 x_{2m} + \dots + n_i x_{im} + \dots + n_n x_{nm}}{n_1 + n_2 + \dots + n_i + \dots + n_n} \\ &= \frac{\sum n_i x_{im}}{\sum n_i} = \frac{\sum n_i x_{im}}{N} \\ \sigma &= \frac{n_1 (x_{1m} - M)^2 + n_2 (x_{2m} - M)^2 + \dots + n_i (x_{im} - M)^2 + \dots}{n_1 + n_2 + \dots + n_i + \dots + n_n} \\ &= \frac{\sum n_i (x_{im} - M)^2}{\sum n_i} = \frac{\sum n_i (x_{im} - M)^2}{N} \end{aligned}$$

ただしここで、 n_i は区間(x_i, x_{i+1})の間に含まれた標本の数、Nは標本の総数である。すなわち $\frac{n_i}{N}$ はさきに述べた階段状の分布の標本分布の示す値である。すると、もとの変数 x の分布がどんな分布であつても、その分布から取つた標本平均値はガウス分布にしたがい、その分散 σ_M^2 はもとの分布の分散を σ^2 とし、標本の個数をNとしたとき、 $\sigma_M^2 = \frac{\sigma^2}{N}$ となることが知られている。

所がこの σ^2 は、 n_i 個の標本が x_{im} の所に固まつて存在すると考えて求めたものである。しかし実際には x_{im} はすでに区間(x_i, x_{i+1})の間で、 σ_a^2 の分散をもつている。 x_{im} はしたがつて $(\sigma^2 + \sigma_a^2)$ の分散をもつことになる。他も同様であるからこのようにして求めた平均値Mの真の分散は

$$\begin{aligned} \sigma_M'^2 &= \left[\frac{\sqrt{n_1(\sigma^2 + \sigma_a^2)} + n_2(\sigma^2 + \sigma_a^2) + \dots + n_i(\sigma^2 + \sigma_a^2) + \dots + n_n(\sigma^2 + \sigma_a^2)}{n_1 + n_2 + \dots + n_i + \dots + n_n} \right]^2 \\ &= \left[\frac{\sqrt{n_1 + n_2 + \dots + n_n} (\sigma^2 + \sigma_a^2)}{N} \right]^2 \\ &= \left[\frac{\sqrt{\sigma^2 + \sigma_a^2}}{\sqrt{N}} \right]^2 \end{aligned}$$

となる。すなわち平均値Mの標準誤差は $\frac{\sqrt{\sigma^2 + \sigma_a^2}}{\sqrt{N}}$ であることがわかる。Nは標本の全数である。これによつて検討すると、たとえば標本の数が比較的大きい Group 2.9 では、平均値Mの標準誤差 σ_M' は風速の各階級ご

とて Table 4.5-(a)に示すような値となる。このとき速度の通報の刻み 3 kt にもとづく σ_{α^2} は $0.75 (\text{kt})^2$ であるに対し、 σ^2 は一番小さくても $(1.3)^2$ 程度であるから、 3 kt 刻みであることとの影響は、この平均値の誤差をもちろん大きくはしているが、その影響は思つたより小さいことが判明する。すなわち平均値を求める演算によつて精度が意外に保たれている。

Table 4.5-(a) 平均値の標準誤差の計算

Group 29	Cargo Ship Type	Head
$12.5 < L \leq 15.0$	船型(フリーポートの大小あるグループの全体)	太平洋西航
$15.5 < V \leq 17$		

風速区分	ピューフォート 0~3	4	5	6	7	8	9	10
	0~10 kt	11~16	17~21	22~27	28~33	34~40	41~47	48~
標本全数 N	788	724	640	577	441	265	43	25
平均速度 M	14.19	13.99	13.47	12.87	11.73	10.02	9.25	6.56
標準偏差 σ	1.30	1.52	1.52	1.96	2.45	3.01	3.13	3.99
分散 σ^2	1.69	2.31	2.31	3.84	6.00	9.00	10.11	15.92
$\sigma^2 + \sigma_{\alpha^2}$	2.44	3.06	3.06	4.59	6.75	9.75	10.83	16.67
$\sqrt{\sigma^2 + \sigma_{\alpha^2}}$	1.56	1.75	1.75	2.14	2.60	3.12	3.29	4.08
\sqrt{N}	26.07	26.91	25.30	24.02	21.00	16.28	6.56	5
$\sigma_M = \frac{\sqrt{\sigma^2 + \sigma_{\alpha^2}}}{\sqrt{N}}$	0.055	0.065	0.069	0.089	0.124	0.19	0.502	0.82

この表は上に述べた所にしたがつて、平均速度の標準誤差を計算したものであつて、標本の数がある程度大きければ意外に小さな値となる。ここに示した例は Group 29 で標本数の最も多いグループに属するが、他の Group では風速の大きい所の標本数は殊に小さくなるので、求められた平均値の信頼度は低下していることは注意する必要がある。

標本数の少い、風速の大きな所に対する値はあまり信用できないから除外して考えた方がよい。

標本数の少い例として Group 20 についての同じ計算結果を Table 4.5-(b)に示す。

Table 4.5-(b) 平均値の標準誤差の計算

Group 20

Cargo Ship Type

Head

 $125 < L \leq 150$

船型(フリーボードの最も少いもの)

南方航路 往航

 $15.5 < V < 17$

風速区分 ビーフォート 0~3	4	5	6	7	8	9	10
	0~10kt	11~16	17~21	22~27	28~33	34~40	41~47
標本全数 N	371	155	73	36	35	7	1
平均速度 M	13.26	13.21	12.48	11.75	7.49	8.00	5.00
標準偏差 σ	4.77	4.95	4.58	4.26	3.55	3.59	0.00
分散 σ^2	22.75	24.50	20.98	18.15	12.60	12.89	
$\sigma^2 + \sigma_a^2$	23.50	25.25	21.73	18.90	13.35	13.64	
$\sqrt{\sigma^2 + \sigma_a^2}$	4.85	5.02	4.66	4.35	3.65	3.69	
\sqrt{N}	19.26	12.45	8.54	6.00	5.92	2.65	
$\sigma_M' = \frac{\sqrt{\sigma^2 + \sigma_a^2}}{\sqrt{N}}$	0.252	0.403	0.546	0.725	0.617	1.392	

統計論の示す所では $M \pm 1.96\sigma_M'$ の中に標本平均値の 95% のものが、 $M \pm 2.58\sigma_M'$ の中には全体の 99% が入るとされている。

5. 統計結果の考察

すでに前項で述べたようにえられた結果は各グループの船について各航路、各相対風向ごとに、風速階級ごとの船の速度分布という形で表現されている。そして直感的にその模様がわかるような表示も工夫されていることも前項に述べたとおりである。これから直ちにその船型、その航路、その相対風向における風速と速度低下の模様を知ることができる。しかし、個々にみたのでは他の船型との比較、他の航路との比較、相対風向による比較は不便なので、次に述べるようさまざまである整理法を行なつてみた。この章では主として、平均値の比較を行なつたことになるが、この平均値がどの程度信頼度のあるものかは前章で示した所である。

5.1 相対風向と船速低下との関係

各グループについて、各航路ごとに風速対船速平均値を相対風向をパラメータにして示したのが巻末に付した Fig. 5.1 ~ Fig. 5.3 である。これから積載状態のバラつきが最も少く、満載状態に近いと思われる太平洋西航(Route 2)の結果が最も結果もバラついていないことがわかる。

これから多くのことが示される。その 1～2 を示すと

- (1) 船はふつう Head Sea で最も風速の低い所から速度低下が始まり、かつ同じ風速に対しては速度低下の量も他の相対風向の場合より大きい。
- (2) 一般には Bow Sea の場合がこれにつき、Beam Sea, Quartering Sea, の順序で速度低下の量は減じ、かつ低下の始まる風速も高くなっている。
- (3) Following Sea では風速が中程度の場合にはむしろ船の速度が増加する場合が多い。風速がさらに大きになると速度は低下を始めるがその量は比較的小さい。
- (4) 200 m 前後の大型船では上の(1), (2)に反して Beam Sea でもむしろ大きな速度低下を示している。

これらのさらに詳細に立入った検討については、次項以下に項目ごとに示すこととする。

5.2 船種、船型の影響

船種、船型の差、特にフリーボードの差がシー・マージンにおよぼす影響を調べるために、風速が 0～10 kt (code 1) の場合の平均船速 v_{s1} とルート全體の平均船速 v_{st} との差 Δv_s を $12.5 < L \leq 15.0$ m で、フリーボードの異つた 3 船型について比較したものを作成した。

上記 v_{s1} はビューフォートスケール 0～3 の場合の平均船速であるから、損浪による船速低下はほとんどないと考えられる。したがつて Δv_s は、そのルートにて発生する風浪によって惹起される船速低下の平均値を近似的に示すとみなしてよからう。しかもこの場合、風力の発生頻度も考慮に入れたものであるから、この Δv_s はその海域でのマクロな意味での船速低下量を意味する。

また、ルートとして比較的載貨状態がそろつている。すなわち満載状態が多いと推定される日本東方海域復航を選び、船長 $12.5 < L \leq 15.0$ m のもので、フリーボードの異つた 3 船型について、向波の状態で比較したものを Fig. 5.3.2 に示した。

同図には、船速の異なつた 2 つのグループにつき、それぞれ各風速における船速を風速 0～10 kt の時の船速の比で示してある。

これらによると船種、船型別の明確な差異はみられない。すなわちフリーボードの大小は思つたほど速度低下に影響していない。しかし大まかな傾向としてはフリーボードの大きい船型ほど風浪による船速低下が少いといえる。

5.3 計画航海速力の影響

船の長さ $12.5 < L \leq 15.0$ m で計画航海速力（すなわち自ら C_B も変化する）を変化せしめた場合の $\Delta v_s = v_{s1} - v_{st}$ をいくつかのルート別にプロットしたものを Fig. 5.3.4 に示した。横軸には計画航海速力と C_B の推定値を併記した。

また、同じく船の長さ $12.5 < L \leq 15.0$ m ルートを日本東方復航の向風の状態について、計画航海速力を変えたものを Fig. 5.3.5(a), (b), (c) に示した。

Fig. 5.3.5(a) では船型別に、Fig. 5.3.5(b) では船型の区別をやめたものについて、各風速における船速を風速 0～10 kt の時の船速との比で示した。また、Fig. 5.3.5(c) では、Fig. 5.3.5(b) に示したものを船速でプロットした。

これらによると、計画航海速力 $1.4 < v \leq 1.5.5$ kt のフリーボードの最小のグループが、特に風浪の影響を受け易く、また全体の傾向としては計画航海速力が大きく、すなわち C_B が小さくなるとやや風浪の影響をうけ

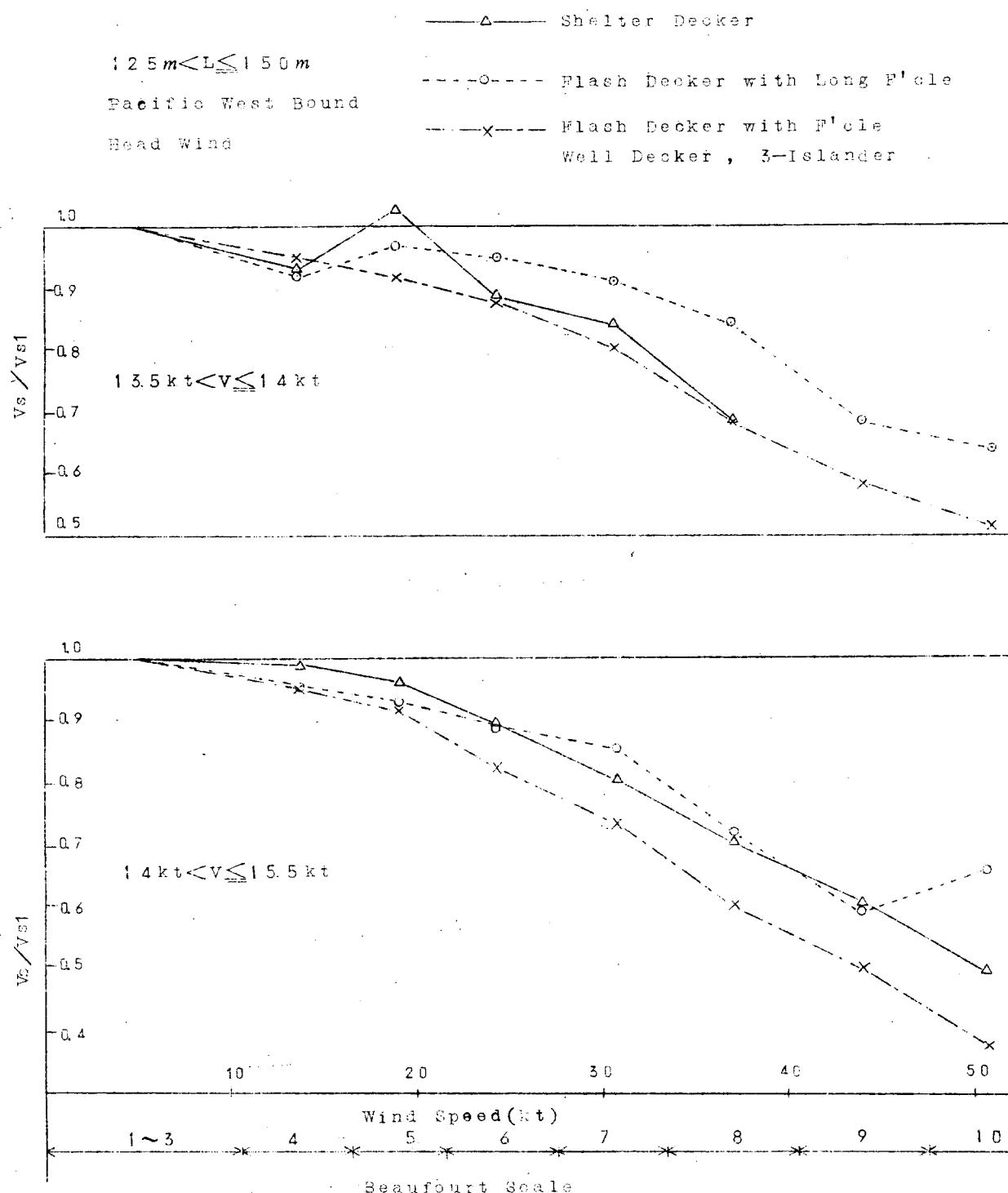


Fig.5.33 Difference by Freeboard

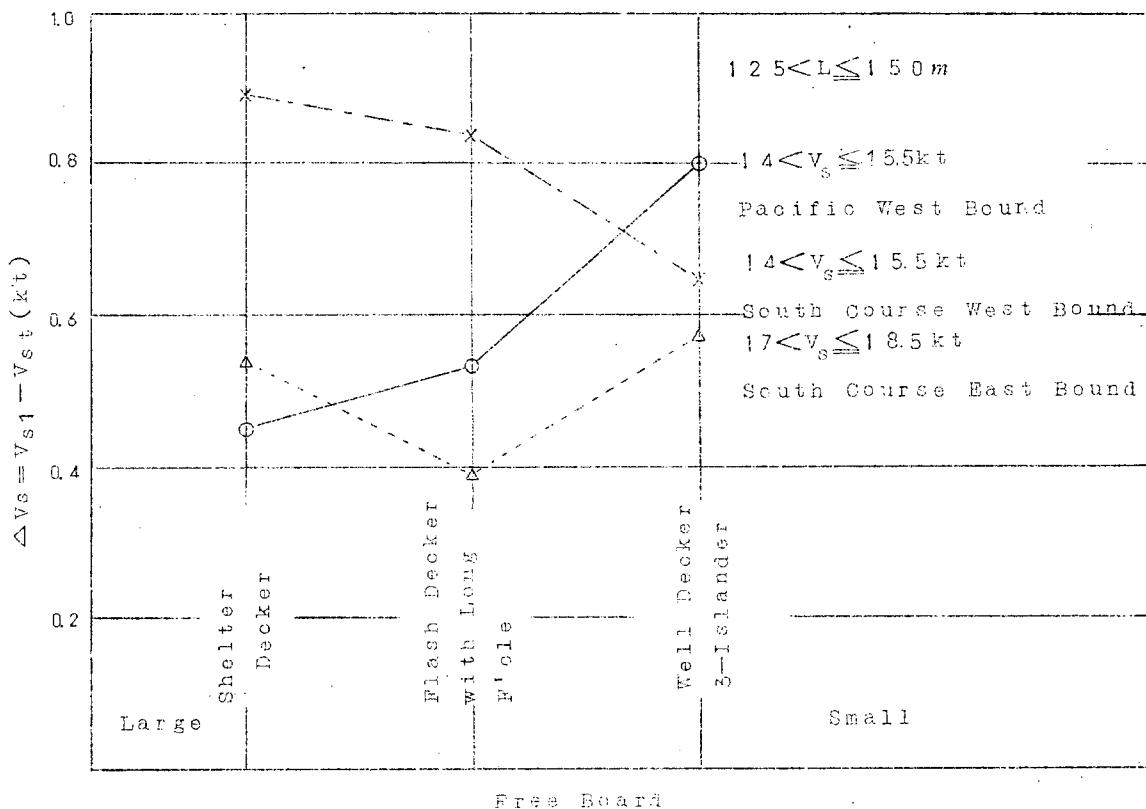


Fig. 5.3.2 Effect of Freeboard

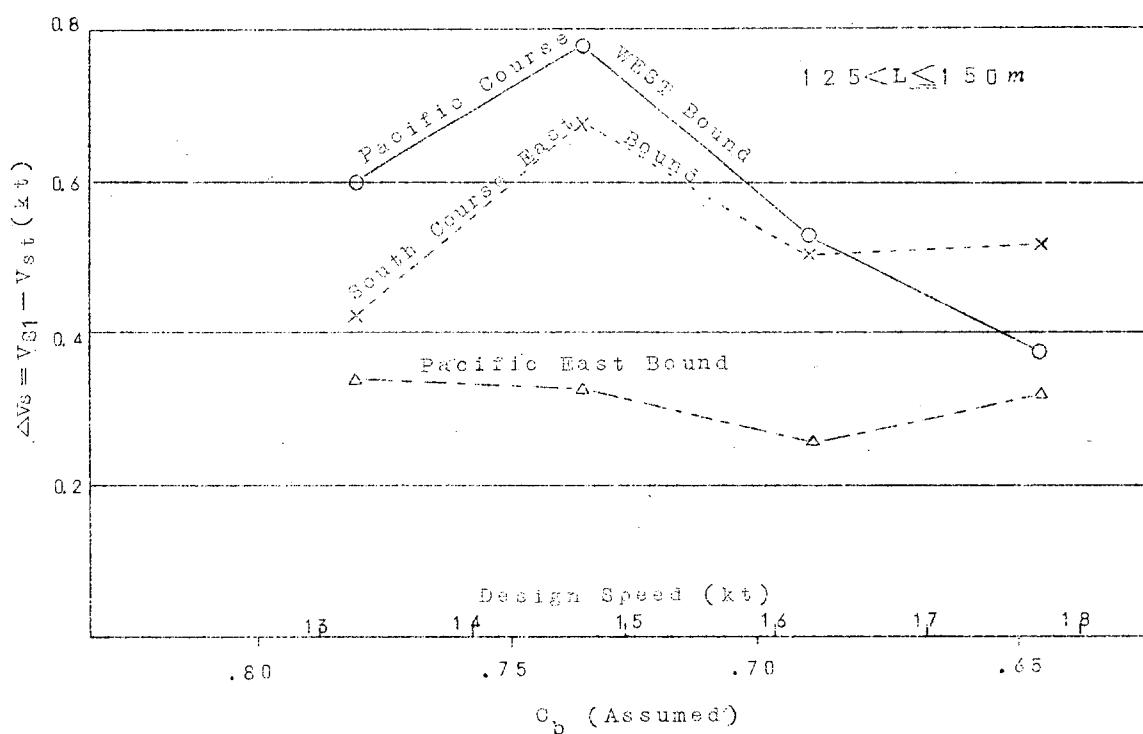


Fig. 5.3.4 Effect of Design Speed

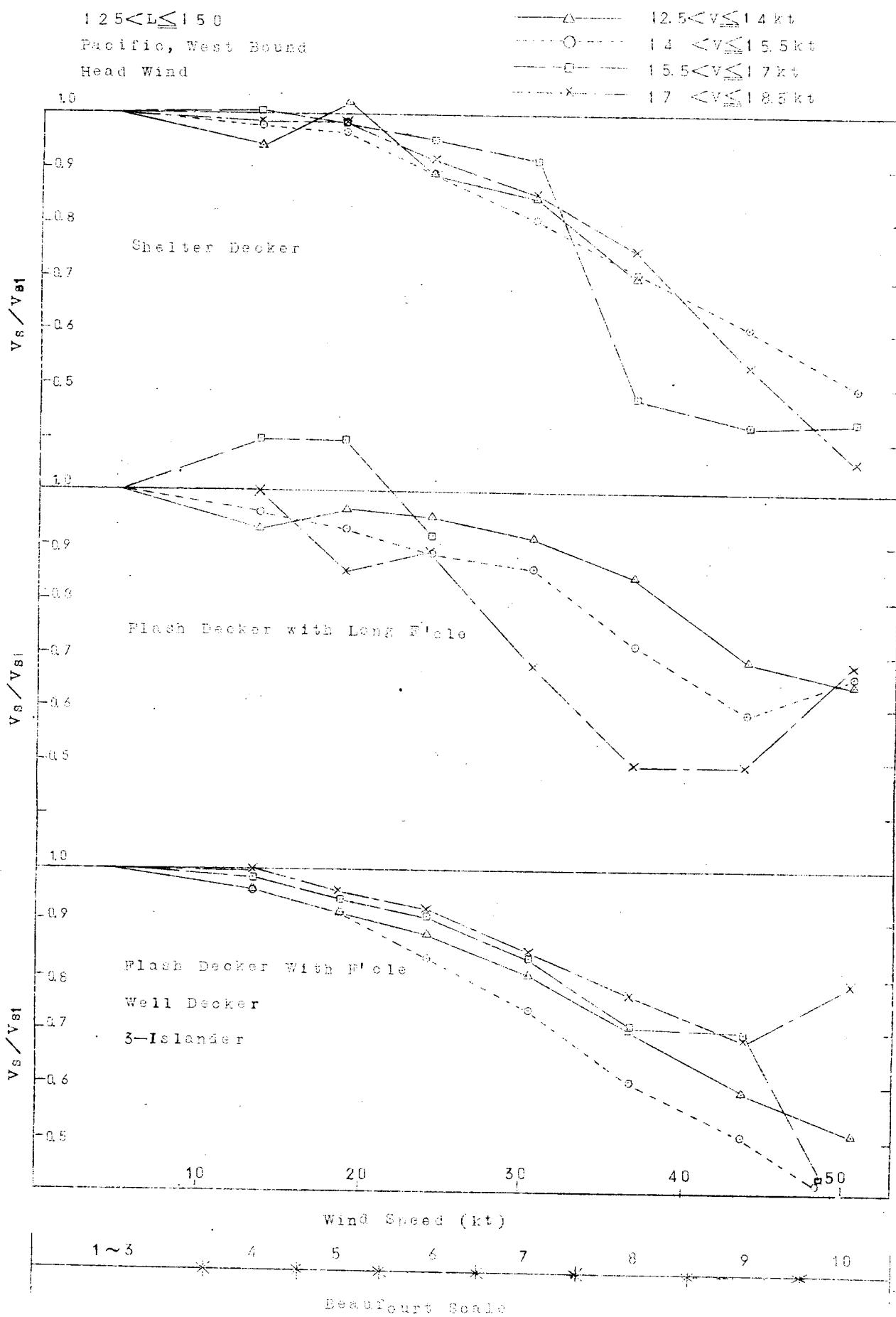


Fig. 5.55-(a) Difference by Design Speed and Type

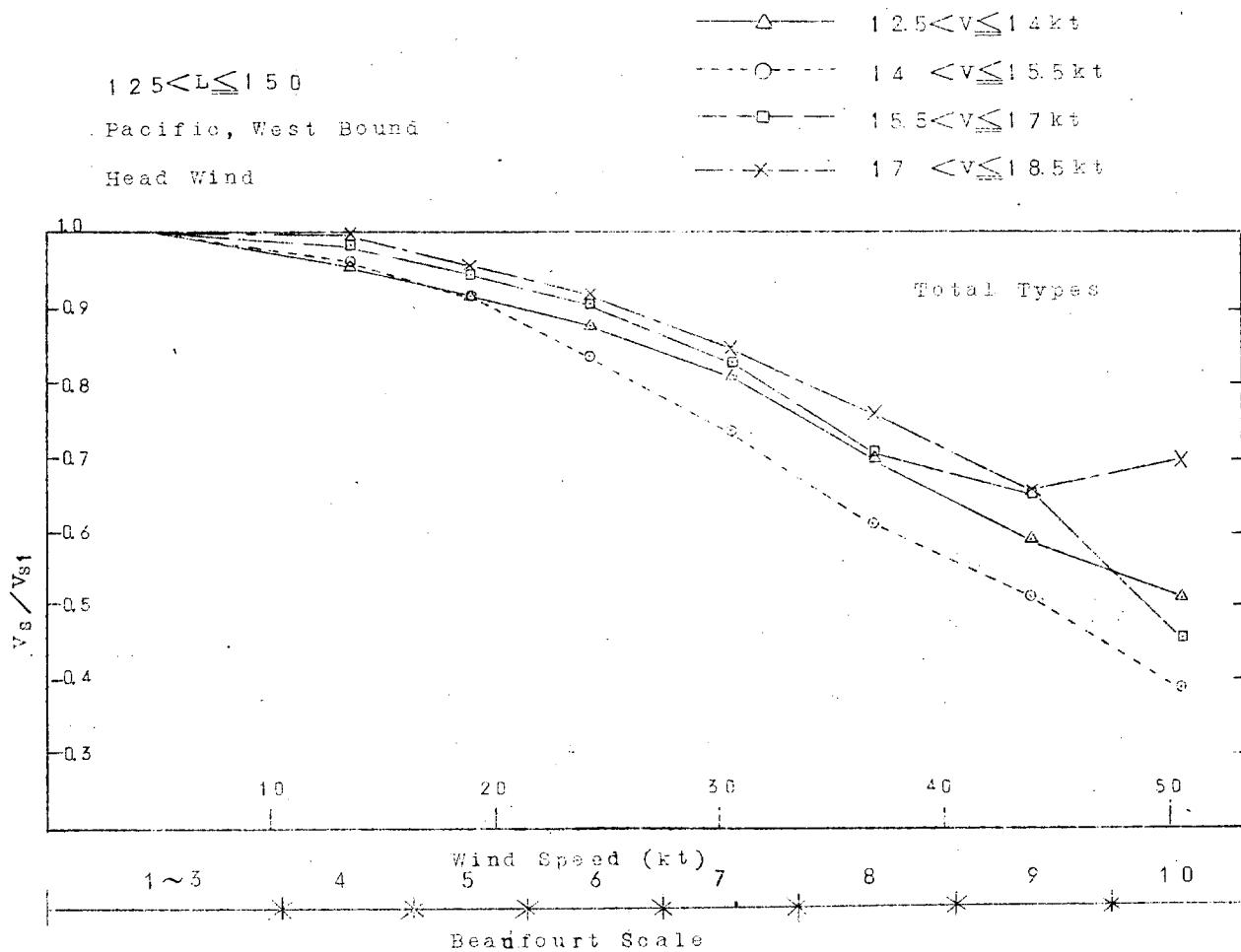


Fig. 5.35-(b) Difference by Design Speed

$12.5 < L \leq 15.0$

Pacific, West Bound
Head Wind

$12.5 < v \leq 14 \text{ kt}$

$14 < v \leq 15.5 \text{ kt}$

$15.5 < v \leq 17 \text{ kt}$

$17 < v \leq 18.5 \text{ kt}$

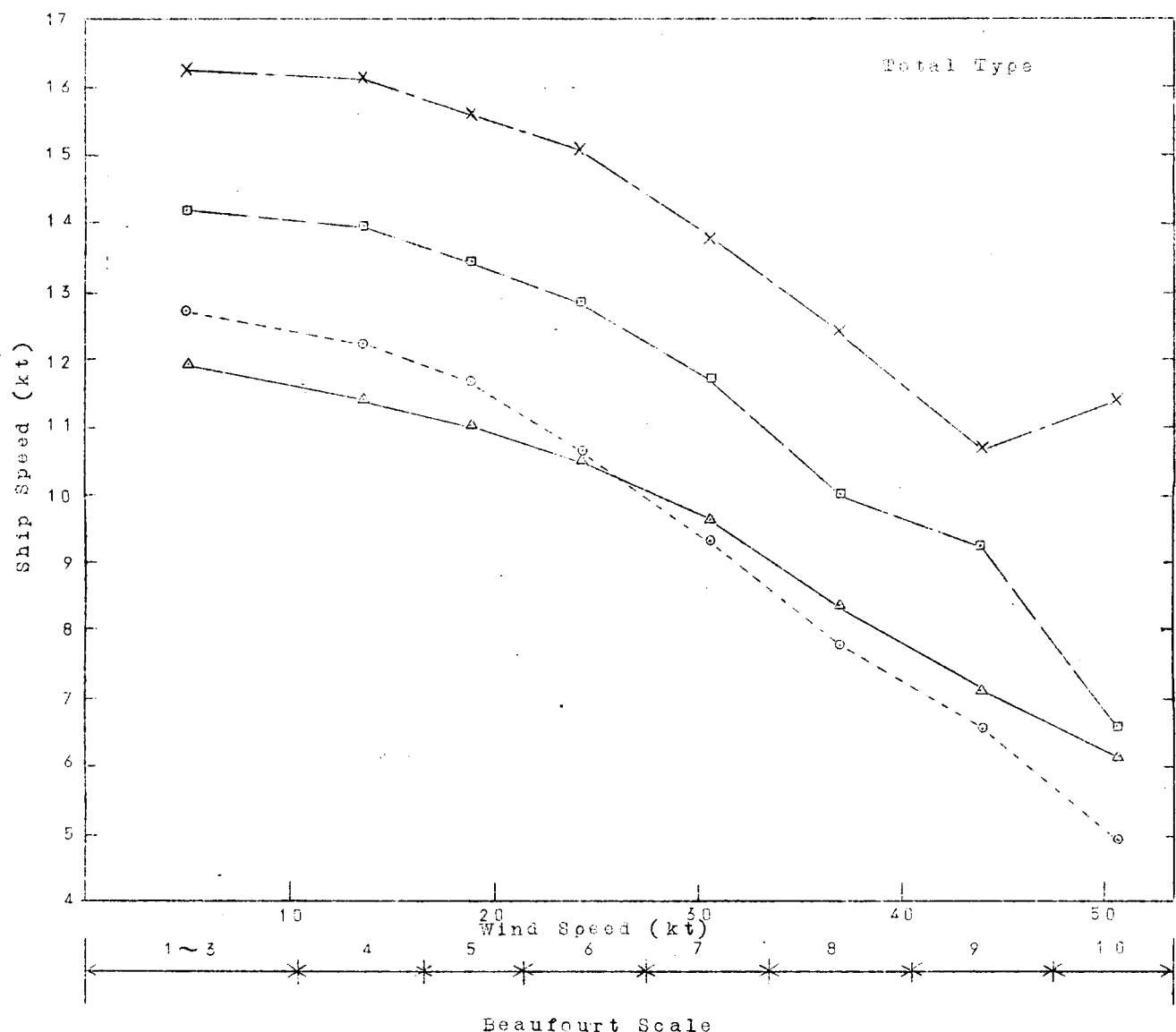


Fig. 5.3 S-(c) Difference by Design Speed

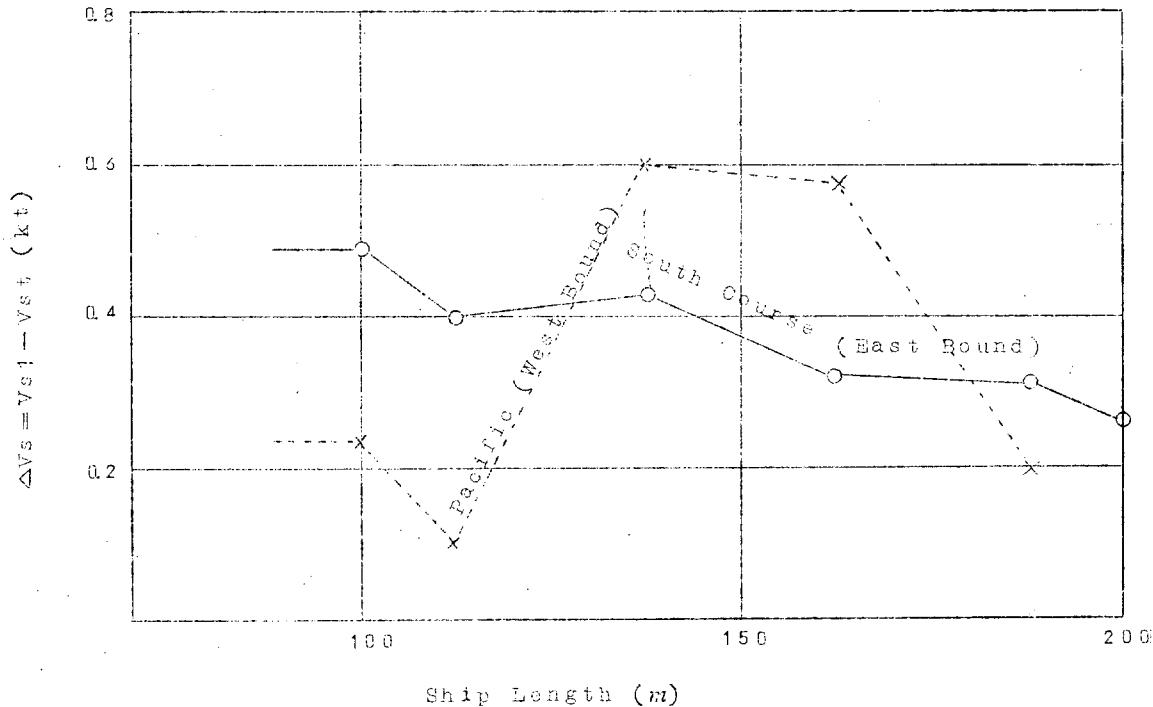


Fig. 5.3.6 Difference by Ship Length

にくくなるようである。

5.4 船の長さの影響

Fig. 5.3.6に船の長さと $\triangle V_s = V_{s1} - V_{st}$ の関係をルート別にプロットした。ただしこの場合、船の長さに対応する計画航海速力はそれぞれ次の組合せを選んだ。

すなわち

$$100 < L \leq 125 \text{ m} \quad \text{の場合} \quad 1.1 < v \leq 1.25 \text{ kt}$$

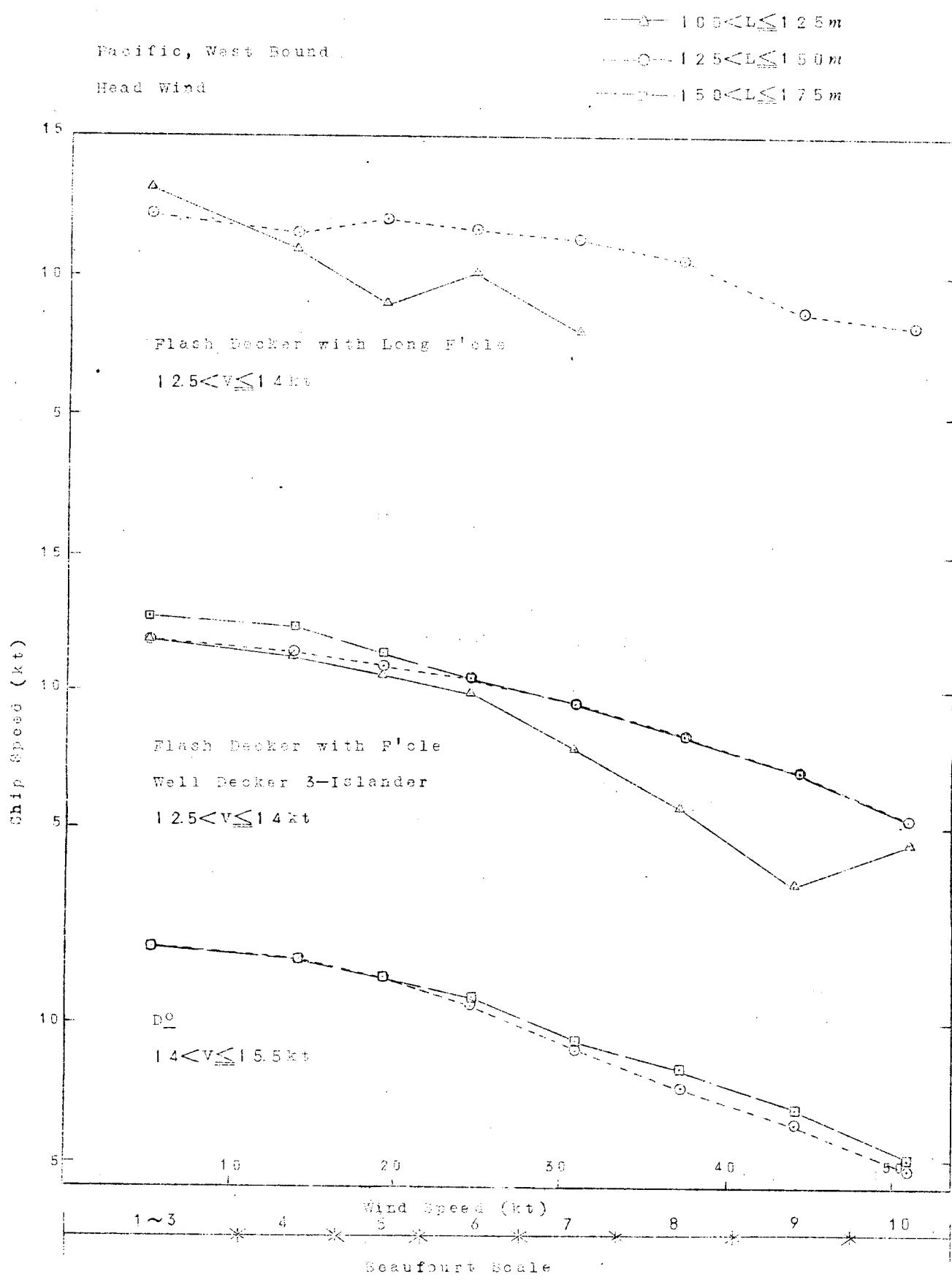
$$125 < L \leq 150 \text{ m} \quad \text{〃} \quad 1.25 < v \leq 1.4 \text{ kt}$$

$$150 < L \leq 175 \text{ m} \quad \text{〃} \quad 1.4 < v \leq 1.55 \text{ kt}$$

$$175 < L \leq 200 \text{ m} \quad \text{〃} \quad 1.55 < v \leq 1.7 \text{ kt}$$

また、Fig. 5.3.7に日本東方復航の向風の状態で、計画航海速力の異なる2グループについて船型別に船の長さが変わった場合の風速と船速の関係をプロットした。

一般に船の長さが大きになると風浪の影響も少なくなり、船速低下も減少するが、Fig. 5.3.6によれば、船の長さが150m付近で船速低下のやや大きな領域がみられる。この傾向はFig. 5.3.7の $1.4 < v \leq 1.55 \text{ kt}$



のグループにもみられる。これは日本東方海域での発生頻度の多い波浪との関係によるものと思われる。ライナには速度は $14 < v \leq 15.5$ kt よりは大きいが、長さでは $12.5 < L \leq 15.0$ m のものが多い。このことはさらに詳しい検討が必要である。

5.5 航路の影響

今回の調査では航路は日本東方海域、すなわち米国、カナダと日本の往復航および日本南方海域の往復航に区分されたが、このうち日本南方海域の往航にはデータとして不具合のもののが多かつた。

航路別の $\Delta v_s = v_{s1} - v_{st}$ は前記の Fig. 5.3.4 および Fig. 5.3.6 に示す。

5.6 載貨状態の影響

前述のごとく載貨状態は今回の調査で最も区分し難かつたものであり、一応日本東方海域および南方海域の往航はバラスト状態、復航は満載状態が多いと推定し、ルート別に載貨状態が区分されると考えた。

集計結果からみるといずれの海域も往航の船速が復航の船速より大きく、上記の推定の正当さが裏づけられることになるが、往航のばらつきは復航(満載状態)のそれより大きく解析資料としてはやや不具合であつた。

日本東方海域における往航(バラスト状態)および復航(満載状態)の比較の一例を Fig. 5.3.4 に示す。この図では満載状態の方が、バラスト状態より風浪による船速低下が大きい。

6. 成果の活用、今後の問題点

6.1 得られた成果の性質

以上述べてきた所によつて、始めに掲げたこの調査の目的はほぼ達せられ、各船型の風速の増大に伴なう速度低下の実態をかなりよく把握できたといつてよい。この場合速度の刻みが 3 kt でかなり大きいことも、資料の数さえ十分ならば思いの他障害となつてないことも判明した。ただし平均値の標準誤差は資料の数の平方根に反比例するので、資料の数が少くすると急速に信頼度が低下することには注意を要する。ただしその場合も、平均値の標準誤差に大きく影響するのは、むしろ速度全体のバラつきを示す分散そのものであつて、速度の刻みが 3 kt であることとの影響はそれよりは小さい。

またこの各風速ごとの船の速度のバラつきの原因の中には

- (イ) 同一グループの中にある船の主要目等よりくる耐航性能のバラつき
- (ロ) 同一グループ同一航路の中にある船の載荷状態のバラつき
- (ハ) 船長の判断によつて機関出力の調整を行なつてゐる場合その判断のバラつき
- (ニ) 船の出港後日数、経年変化による船体、機関性能低下によるバラつき
- (ホ) 負荷に対する主機関特性、自動操舵装置を含む操舵機特性のバラつき

などの他、また大きい要素として

△ 同一の風向、風速に対する波の方向、波高、波周期、ウネリの存在の有無等による波浪、海象のバラつきが含まれている。この最後のバラつきは当然のことながらかなり大きい。この詳細についてはすでに昨年度 S R - 80、第1分科会、昭和38年、39年の調査部会の波と風との調査によつて明らかにされている。

すなわちここにえられた結果はこのようすべての要因にもとづくバラつきを含んだもので、したがつてその平均値、分散もその意味での平均値であり、分散であることを忘れてはならない。

第4、第5章にえられた各船型のこの意味における平均的な性格より示される傾向を再びまとめると次のように要約される。

- (1) 船の長さ、設計速度が同じであると、水線上の船型すなわちフリーボードの大小によつては、荒海中の船速低下はあまり大きくは変わらない。
 - (2) 同じ設計速度ならば船の長さが長いほど耐航性が大きく速度低下が小さい。ただし 150 m 前後にはある速度範囲ではやや芳しくない所がある。
 - (3) 同じ長さの船では、設計速度の大きいものほど、すなわち瘦型の船ほど速度低下が少ない。
 - (4) 200 m 前後の大型船では Head Sea よりも Bow Sea , Beam Sea の方が速度低下の著しい場合が多い。

6.2 成果の活用について

このようにしてえられた成果から、船型、主要寸法、設計速度、その他のパラメータの影響を調査する方法はもすでに第5章で述べた以外のさまざまな方法が考えられるであろう。

ここにはこの成果の活用法の一例として、ある船のある航路につき、季節ごとの所要航海日数の推定にいかに利用できるか、その方法、考え方について述べることとする。

たとえば横浜→ロサンゼルスの航路をとる。そして Fig. 6.1 のように推定したい航路を海図上に描き、先に S R = 8 日で風向別、風速頻度を算定した際に用いられた小海区に入る部分ごとに航路を a_1 , a_2 , ..., a_k ..., a_{n_k} に分割する。

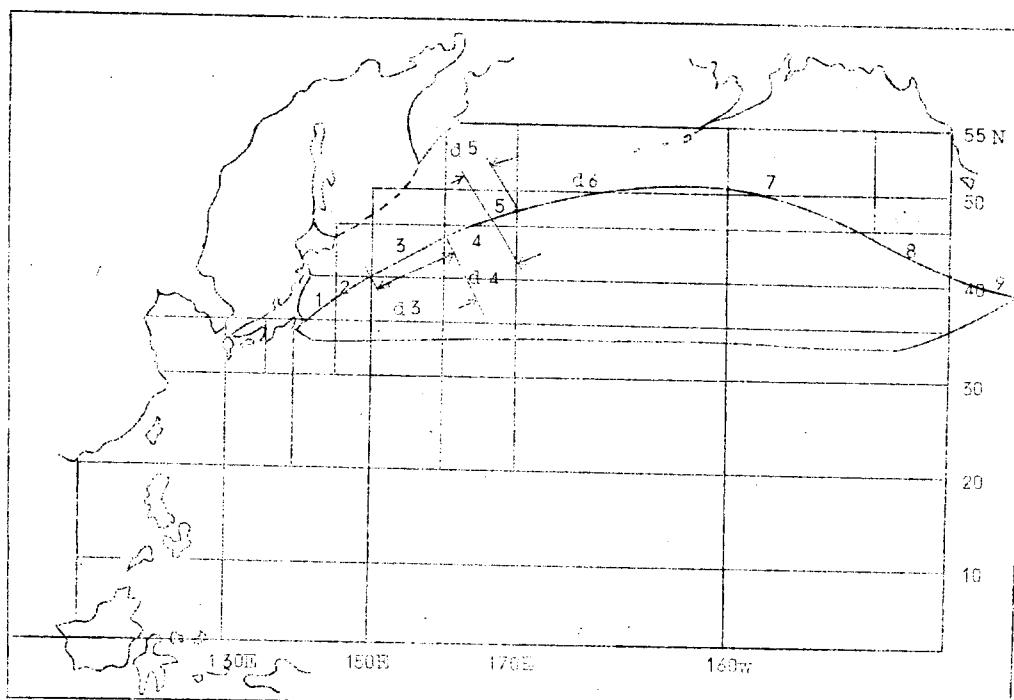


Fig.6.1 Division of Route by Small Sea Zone

ある特定の時期、具体的にいえば何月にこの航路を航海するかが定まると、その月における小海区ごとの風向別風速頻度分布がすでに S R - 80 の統計結果として^[3]判明している。すなわち Fig. 6.2 に図示するように 12 方位の各方位(たとえば方向 i)について各風力階級(たとえば階級 j)の風速の発生頻度 f_{ij} が、その海区のその月の全方向、全風速の発現数を 100 %としたときの % として示してある。今この海区内の船の平均進路に対して、ある特定の方向 i からの風が Head か、Bow か、Beam か、Quarter か Follow かが定まると、その方向からくるそれぞれの階級(たとえば階級 j)の風に対しても、この船の速度低下の実態はこの調査で低下した速度の平均値 v_{ij} の形でわかつている。したがつてこの小海域内のこの船の平均速度すなわち速度の期待値は次のようなになる。

$$E[v_k] = \frac{\sum_i \sum_j f_{ij} v_{ij}}{\sum_i \sum_j f_{ij}}$$

ここで f_{ij} は、i の方向から j の強さをもつて吹く風の発生頻度の %、 v_{ij} はその風速を進路に対して i の方向から受けるときの船の平均速度である。

$$\sum_i \sum_j f_{ij} = 1$$

にとつてあるから $E[v_k] = \sum_i \sum_j f_{ij} v_{ij}$
したがつてこの海区 k 内に含まれる航路の長さ d_k を航海するに要する時間 t の期待値は

$$E[t_k] = d_k / E[v_k]$$

したがつてこの全航路 A を航海するに要する時間の期待値は

$$E[t_A] = \sum_k E[t_k] = \sum_k \{ d_k / E[v_k] \}$$

によつて計算することができる。

航路を他の B のような経路に設定すれば同じようにして全航路 B を航海するに要する時間の期待値 $E[t_B]$ が

Small Sea Zone k

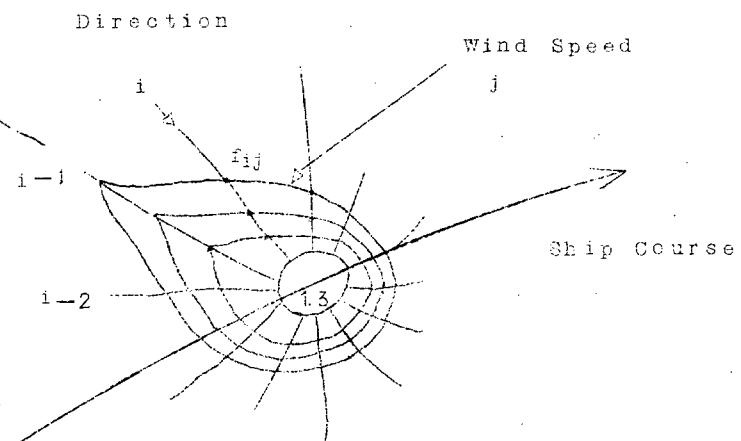
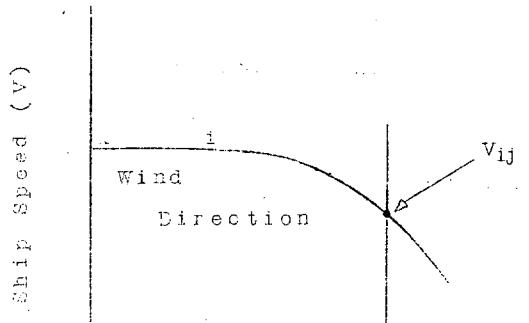


Fig. 6.2 Wind Rose at Small Sea Zone



Wind Speed (j)
Fig. 6.3 Mean Ship Speed

求められる。各海区ごとに風速、風向の分布は異なるから $E[t_A]$ 、 $E[t_B]$ の大小は必ずしも全航程 D_A 、 D_B の長短の順序と同じではないであろう。また航海する季節によつても風速、風向の分布が異なり、 $E[V_R]$ も異なつてくるので、ある航路の優劣は季節によつても異なつてくるであろう。

このようす季節または月ごとにいくつかの航路について計算をしておくことによつて、各月ごとに期待される最小航海時間航路を見いだすことができる。最小時間航路は燃料費のみでなく船舶の積卸費、人件費、金利等あるいは航海数が増加するための運賃収入の増加等すべてを考えて最も経済的航路であるという考え方もあるから、その場合にはこれが最適航路であるといふことができる。

波浪予報の実施とともに実行可能となり、現在アメリカのMSTS(Military Sea Transportation System)および数社の民間会社が実行している陸上よりの管制による最適航路の設定を現実に行なうためにも、この成果はそのまま活用が可能である。

このように考えるとこの調査でえられた結果は運航者、運航管理者にとってかなり利用範囲の広い基礎資料を提供するものであるといえよう。

6.3 今後の問題点

今まで述べた所により、この調査によつてえられた成果の適用可能な範囲も自ら明らかであろう。そしてこのような荒海中の速度低下の実態をより正確に把握するために次のような問題が考えられる。

- (イ) 風力階級に対してなく、波浪すなわち波高または波周期に対する速度低下の形での性能をとらえる。
ただしそのためにはまづ波浪の観測の精度を現在より格段と向上させる必要があるであろう。
- (ロ) すでに始めに述べたように、1961年からは船舶が気象庁に航海終了後提出している海上気象資料の原本には折角含まれている船速、船の進路の資料を、IBMカードに穿孔することを中止している。これはWMOの規約ではこの2項目の穿孔を強制していないからであるが、きわめて残念なことである。殊に200mを越えるような大型船の資料は1960年までには少ないがそれ以後急激に増大しているにもかかわらず、この2項目がないので、このような調査が行ないえない。これを行ない得るような方策を考える必要がある。
- (ハ) 高速船の出現にそなえて0～40ktまでを0～9のCodeでカバーできらるよう、1966年の半ばから船速の刻みを3ktから5ktに変更した。このことはさきに述べたように観測資料の数が十分に大きくなきにはかなり結果の精度に影響する。これは通報の際に船速の通報を0～9の1字で送らうとするためである。船の高速化は1つの傾向であるが、5kt刻みでは大きすぎるるので、0～9の代りにアルファベットA～Zの26文字を用いることすれば同じく1字を送ることによつて、2kt刻みの船の速度を通報することができる。このようにすれば資料の精度はかなり向上するであろう。
- (ニ) このような調査を「海上気象資料」を用いて行なおうとすると、さらに船の載荷状態の情報が含まれていないことも精度低下の1つの原因となる。ある限定された船種、船型に対してよりよい精度でこのような性能低下の調査を行なうためには、したかつて別途資料の取り方をする必要がある。海上気象資料と同程度の精度の気象海象の観測値とログ・ブック記載程度の詳細な船速、積載状態の同時資料をそろえて行なうこと必要であろう。

7. むすび、謝辞

以上は本年度 S.R.-91、第2分科会として行なつた統計調査の報告である。このような本年度の調査はこれだけ独立に行なわれたものではない。すなわち昭和38年度の調査部会として行なわれた波、風の統計調査以来、39年度、40年度と引きつづいて行なわれてきた統計調査の延長として行なわれたものである。本調査はそのようにしてのみ実行が可能であつたといえようし、またえられた成果もこれらの調査結果の一環として考えるときより意義があり、活用の範囲も大きくなるといつてよいであろう。

これら一環の調査研究はすべて気象庁海洋気象部に保管されている海上気象資料のパンチカードを用いることによつて可能となつたものである。この資料は時間的にも、地域的にもきわめて広範囲にわたる海象の唯一の一貫したきわめて貴重な資料であり、船の運航者または造船技術者にとつてまだまだ汲みとりうる多くの教訓に富んだ資料といつてよいであろう。

このようなきわめて貴重なほう大な海上気象資料の使用を許され、かつこれらの調査研究に引きつづいて協力を惜しまれなかつた気象庁海洋気象部、気象研究所に対し、深甚の謝意を表するとともに、この研究の一部を共同研究として行ない密接に協力された船舶技術研究所に対し、その協力を深く感謝するものである。

付 錄 引 用 文 献

- [1] "船体性能の向上に関する調査報告書(その1)シーマージンに関する調査"、調査資料No.24、昭和39年3月、日本造船研究協会
- [2] Yamanouchi , Y., Unoki , S. & Kanda , T.; "On the Winds and Waves on the Northern North Pacific Ocean and South Adjacent Seas of Japan as the Environmental Condition for the Ship", Papers of Ship Research Institute No.5 , March 1965
- [3] "海象・気象に関する統計調査(北太平洋の風と波)"、第80研究部会第1分科会、造船研究 Vol.8, No.1, 日本造船研究協会、図表は"北太平洋の風と波"(1954~1963)、日本造船研究協会、昭和41年3月1日として別に刊行
- [4] "船体性能の向上に関する調査報告書シーマージンに関する調査"、調査資料No.46、昭和41年3月、日本造船研究協会
- [5] James , R.W.; "Application of Wave Forecasts to Marine Navigation" Hydrographic Office Special Report No.1 , July , 1957
James , R.W.; "General Notes on Ship Routing" E.T.T. Report No.708 , Nov. 1958 , Second Summer Seminar "Ship Behavior at Sea", on June 1958 at S.I.T.
- [6] Lewis , E.V.; "Log Analysis", E.T.T. Report No.708, Nov. 1958
Second Summer Seminar "Ship Behavior at Sea", on June 1958, at S.I.T.
- [7] Guide Book of the Japanese Marine Surface Data. United States Weather Bureau & Japan Meteorological Agency.
- [8] 日本船舶明細書、昭和29年度~昭和36年度 日本海運集会所

Ship Group 3

$100 < L \leq 125 M$
 $12.5 < V \leq 14$

South Course
East Bound

Wind Dir. No. of Obs.

○ Head	1 0
× Bow	1 1
△ Beam	9
□ Quarter	3 8
⊗ Follow	4

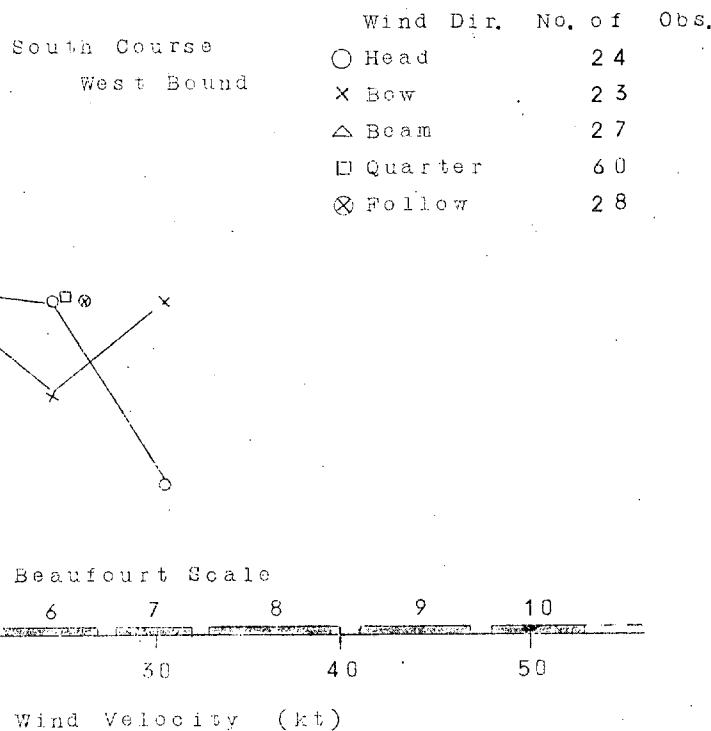
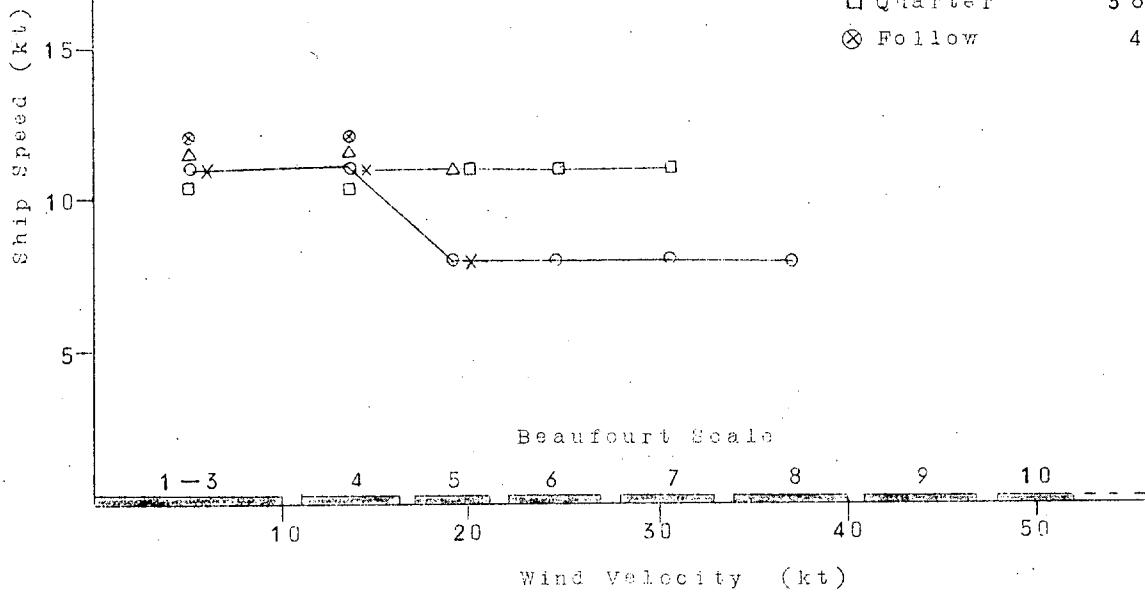


Fig. 5.1-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

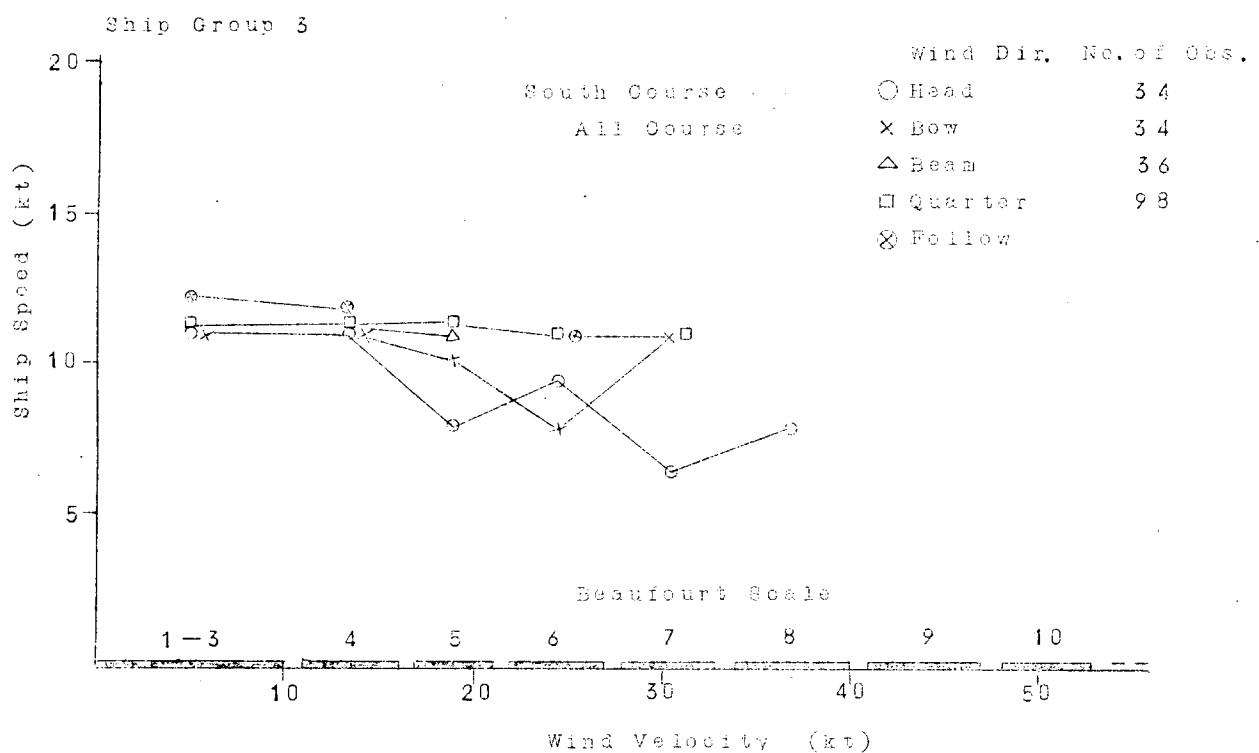


Fig. 5.1-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

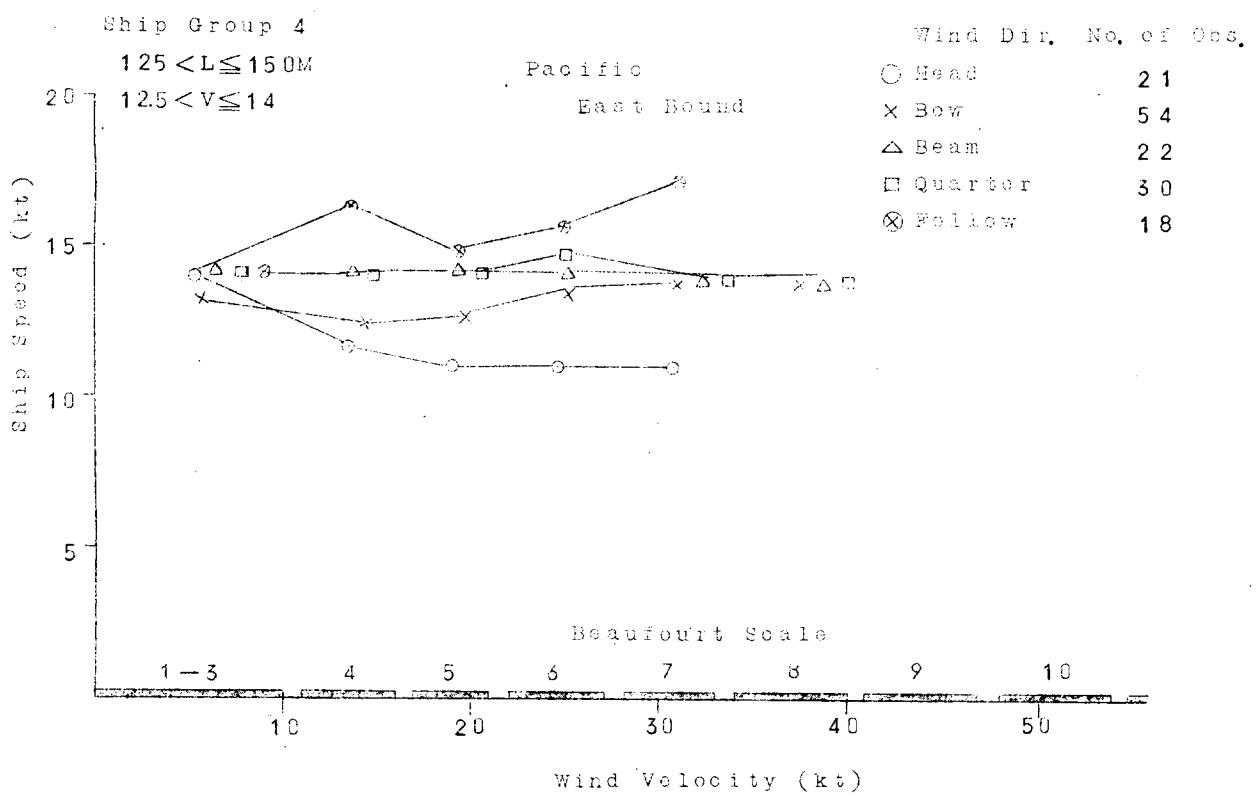


Fig. 5.2-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 4

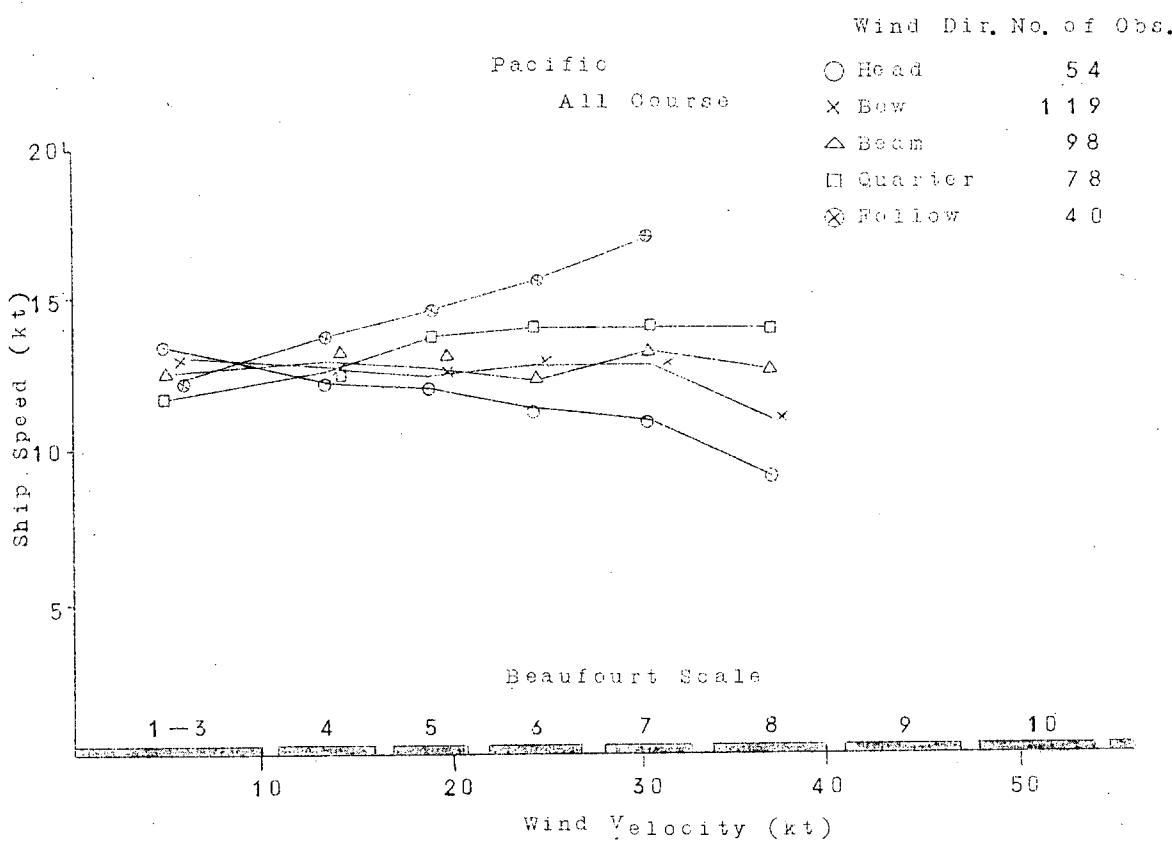
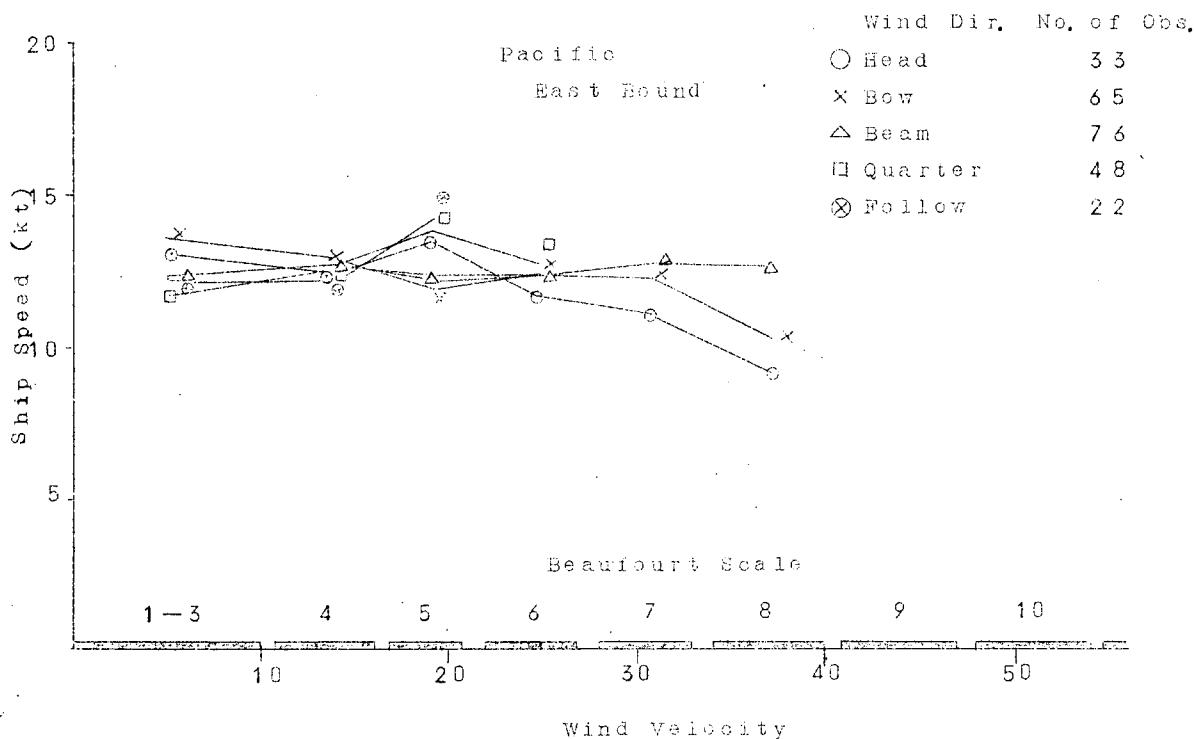


Fig. 5.2-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 4

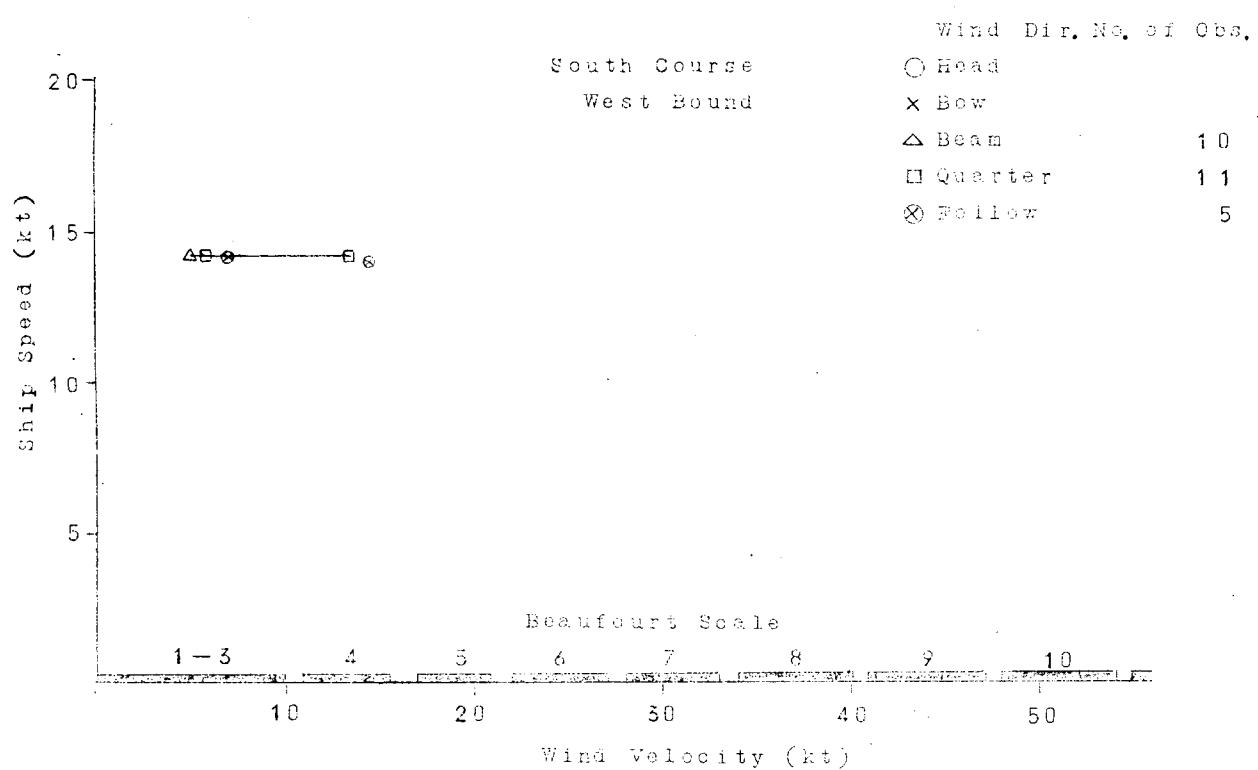
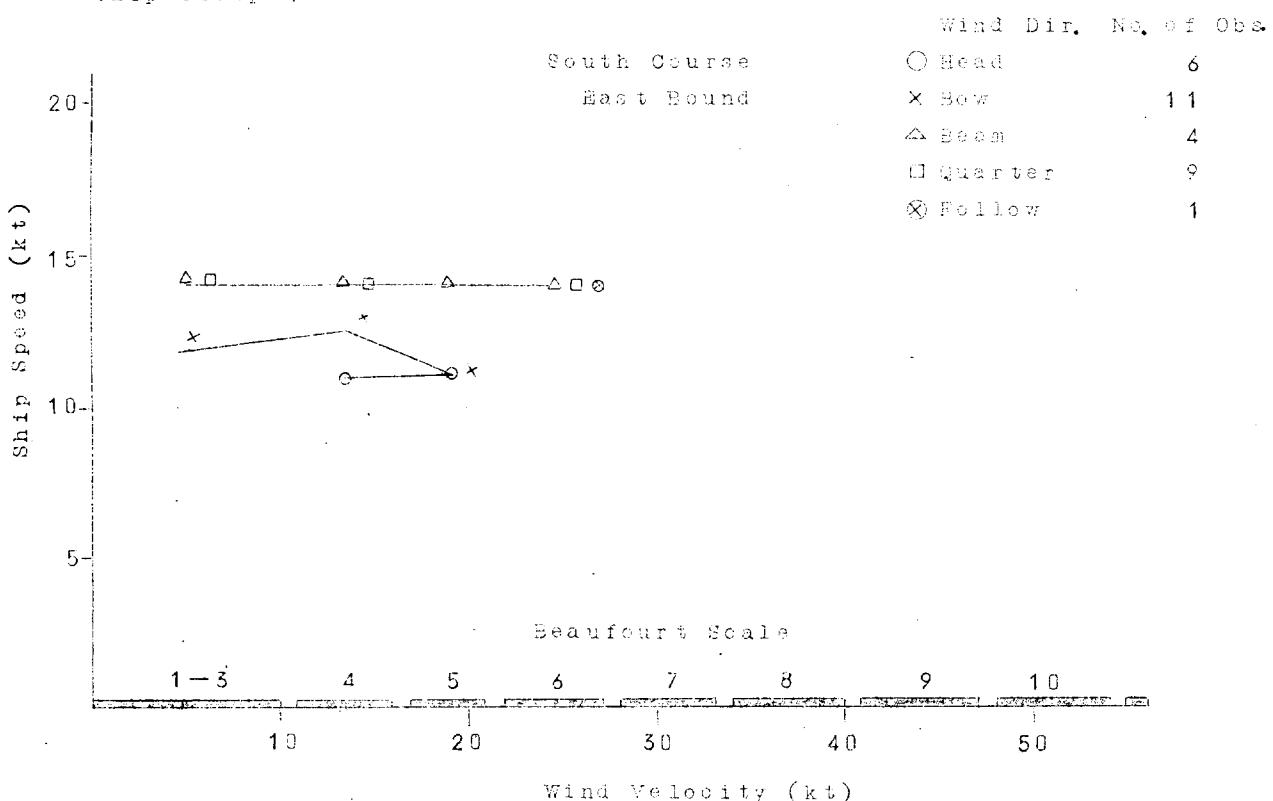


Fig. 5.2-(e). Wind Speed vs Ship Mean Speed

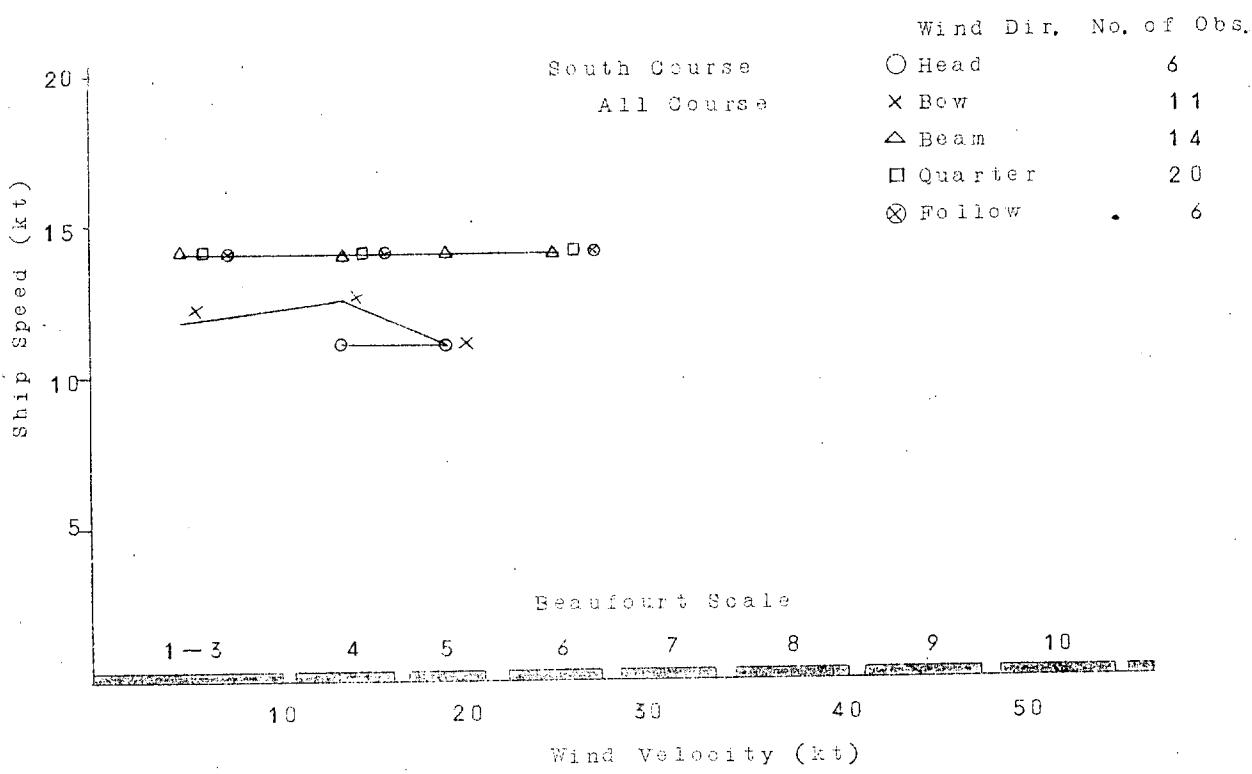


Fig. 5.2-(d) Wind Speed vs Ship Mean Speed

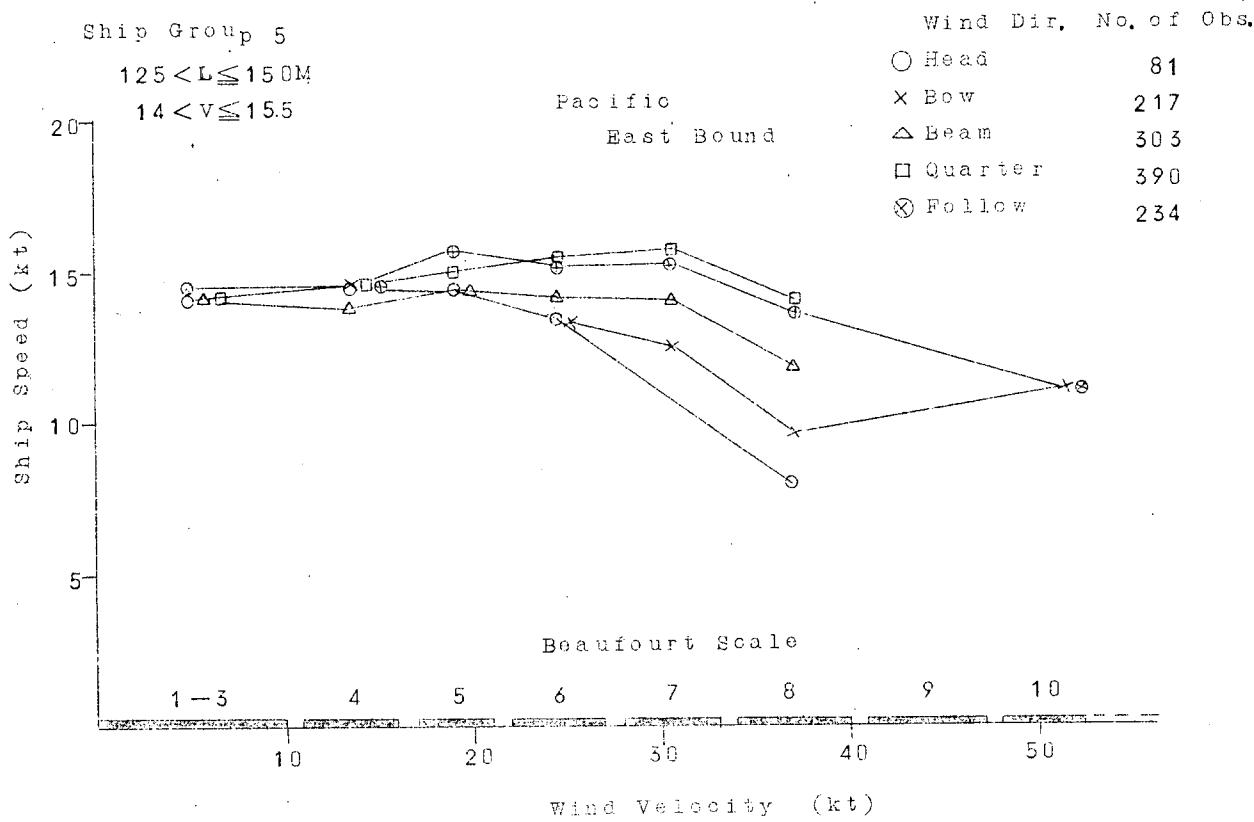


Fig. 5.3-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 5

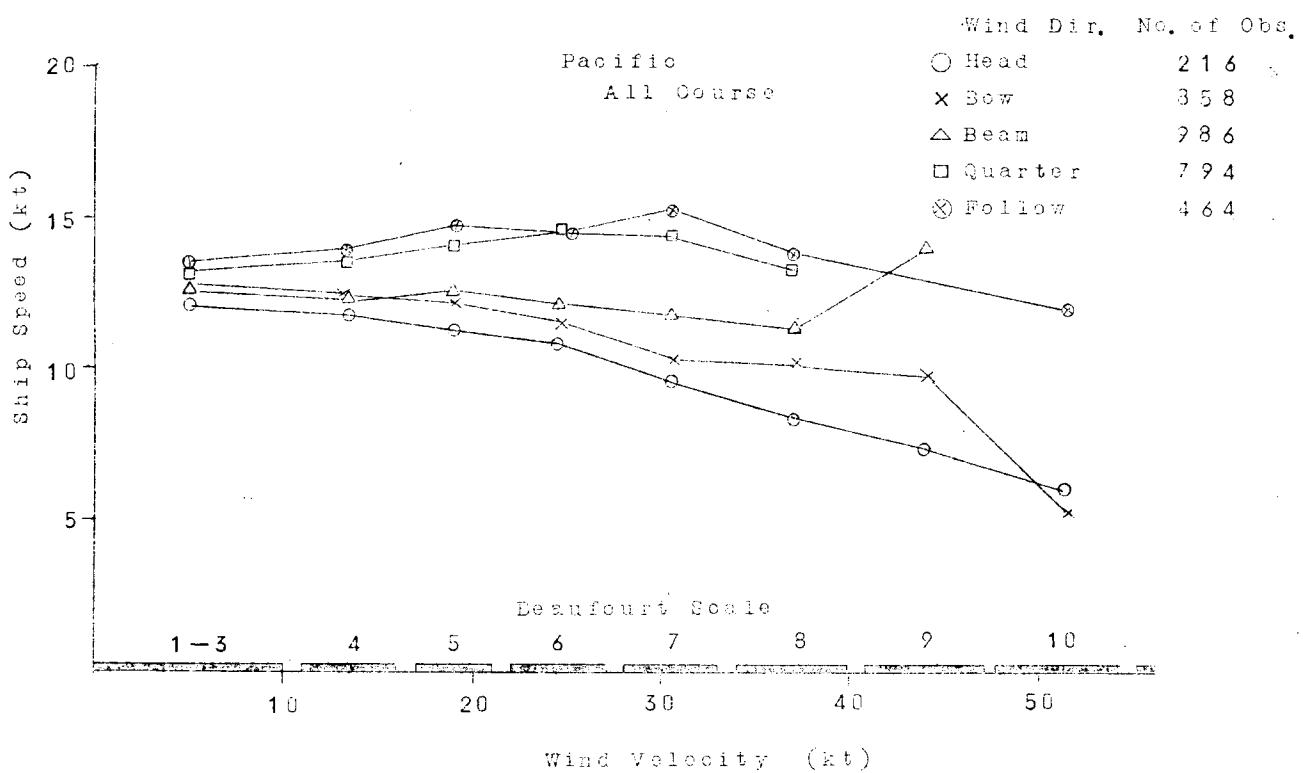
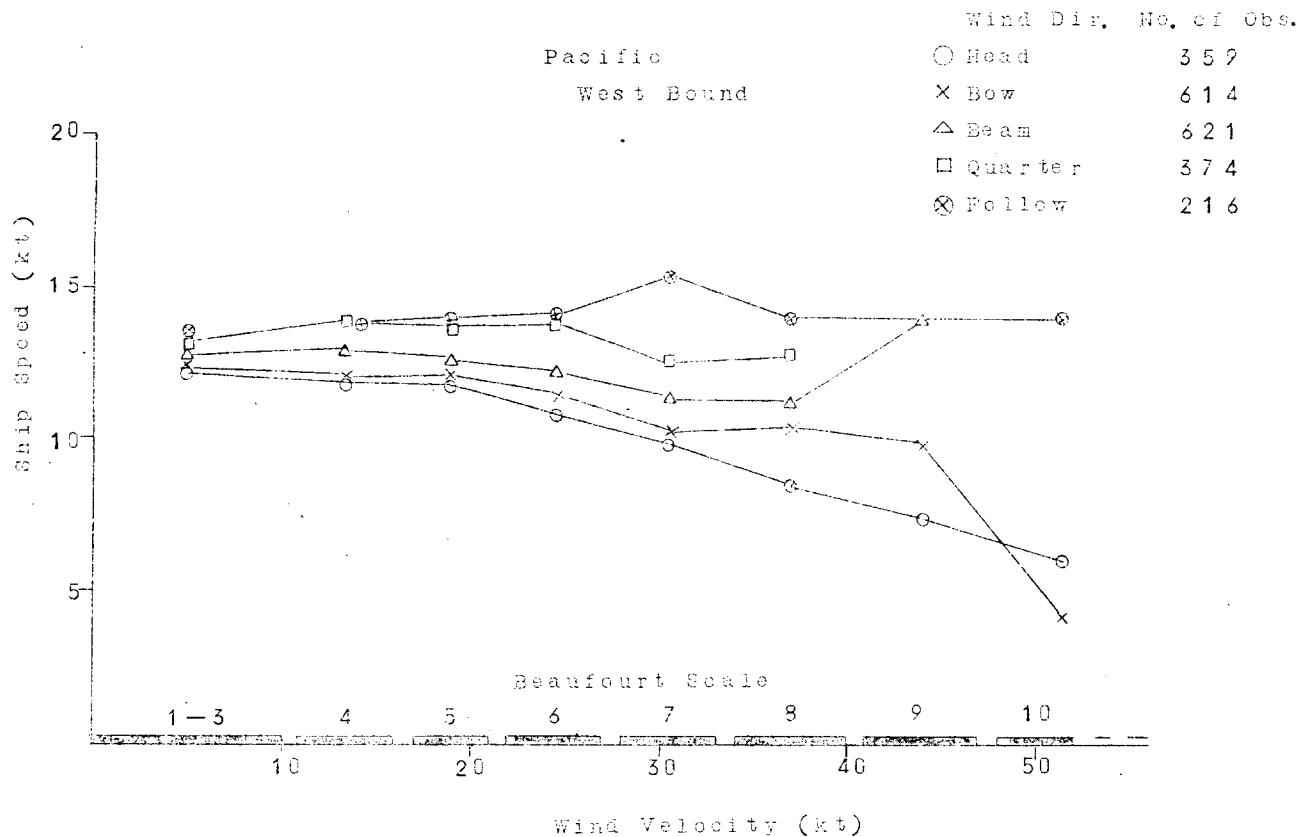


Fig. 5.5-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

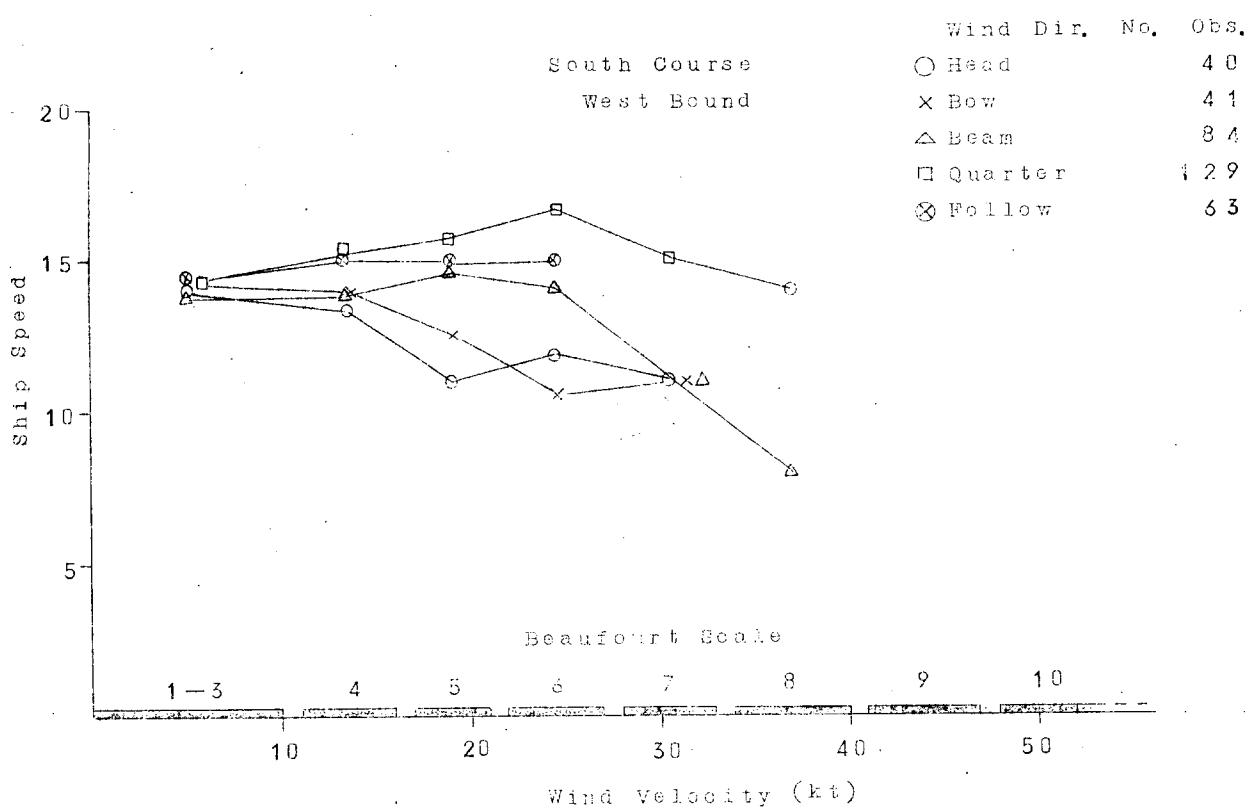
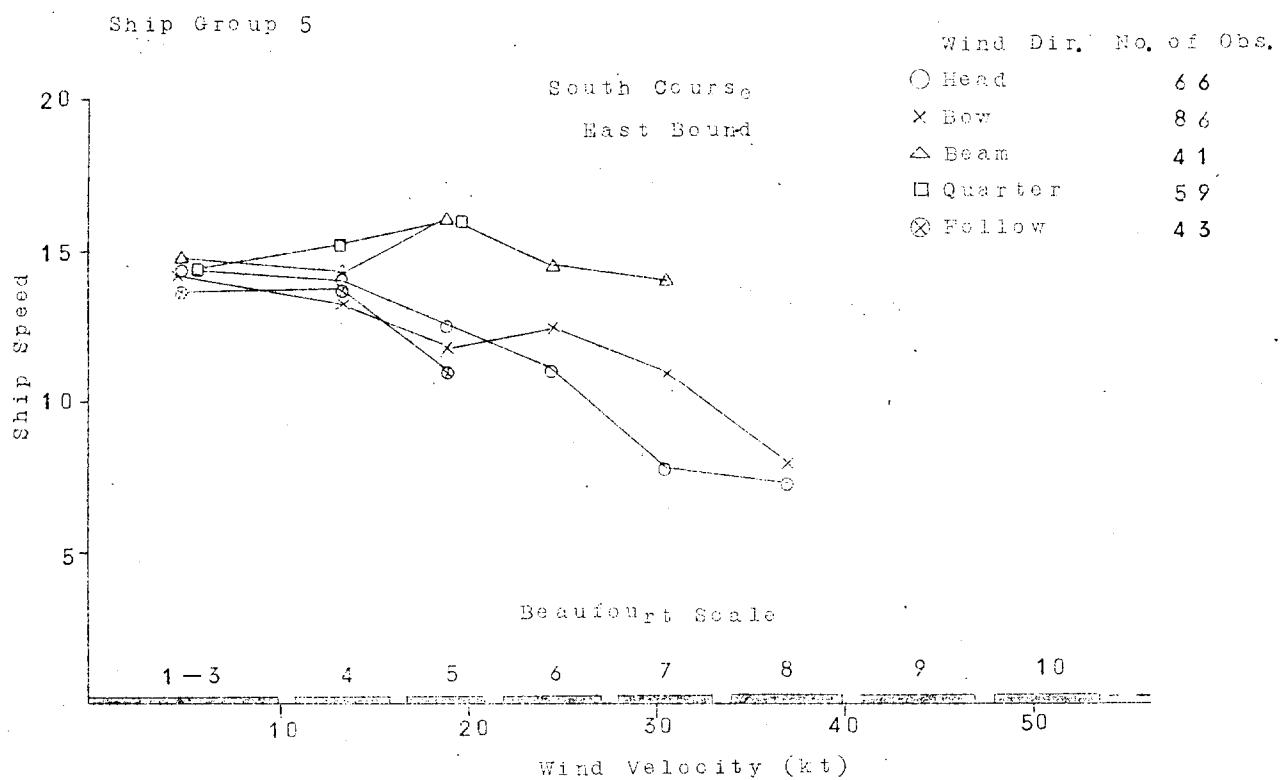


Fig. 5.3-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

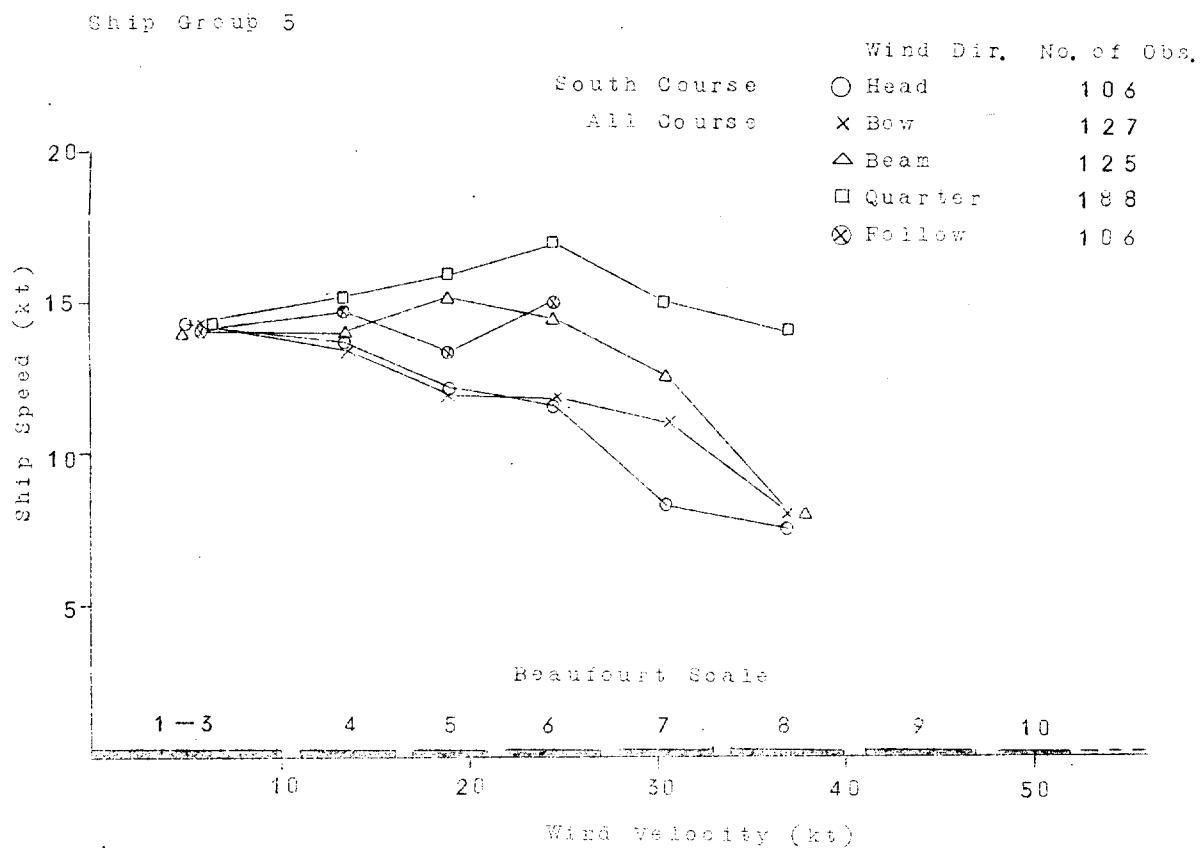


Fig. 5.3-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

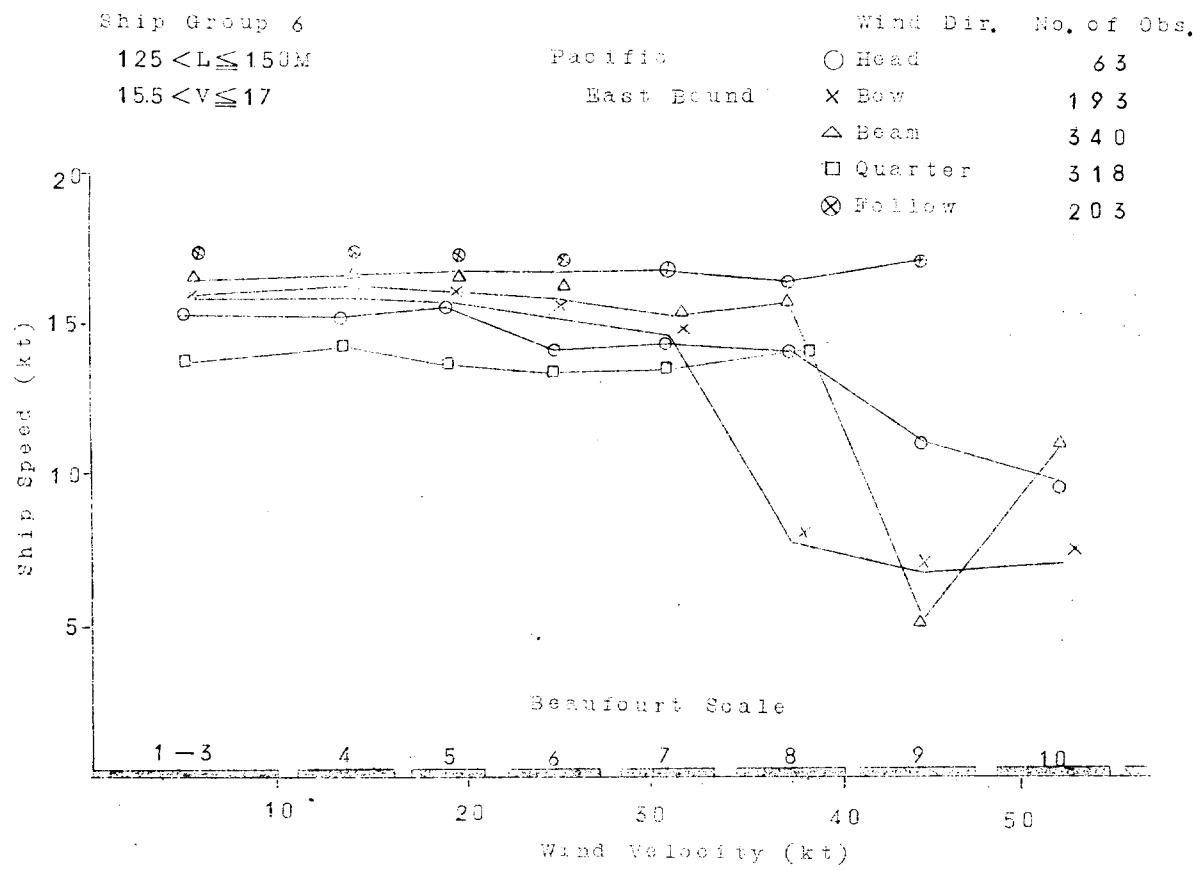
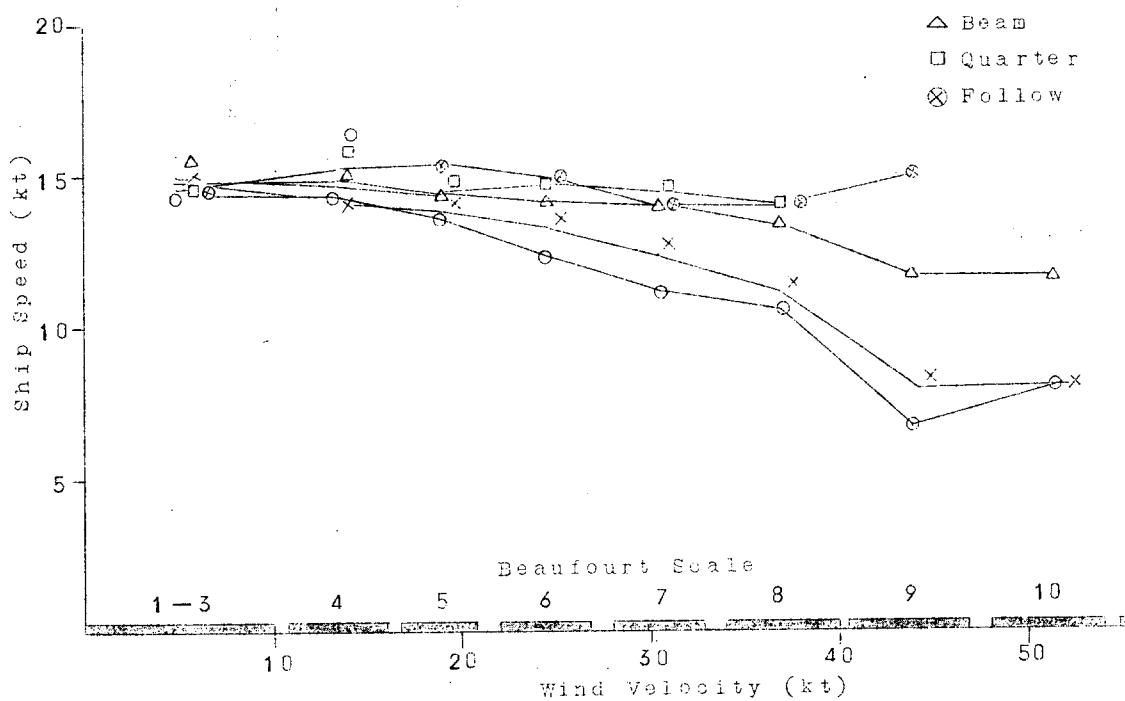


Fig. 5.4-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 6

	Wind Dir.	No. of Obs.
Pacific	○ Head	367
West Bound	× Bow	629
	△ Beam	723
	□ Quarter	368
	⊗ Follow	184



	Wind Dir.	No. of Obs.
Pacific	○ Head	448
All Course	× Bow	850
	△ Beam	1100
	□ Quarter	686
	⊗ Follow	391

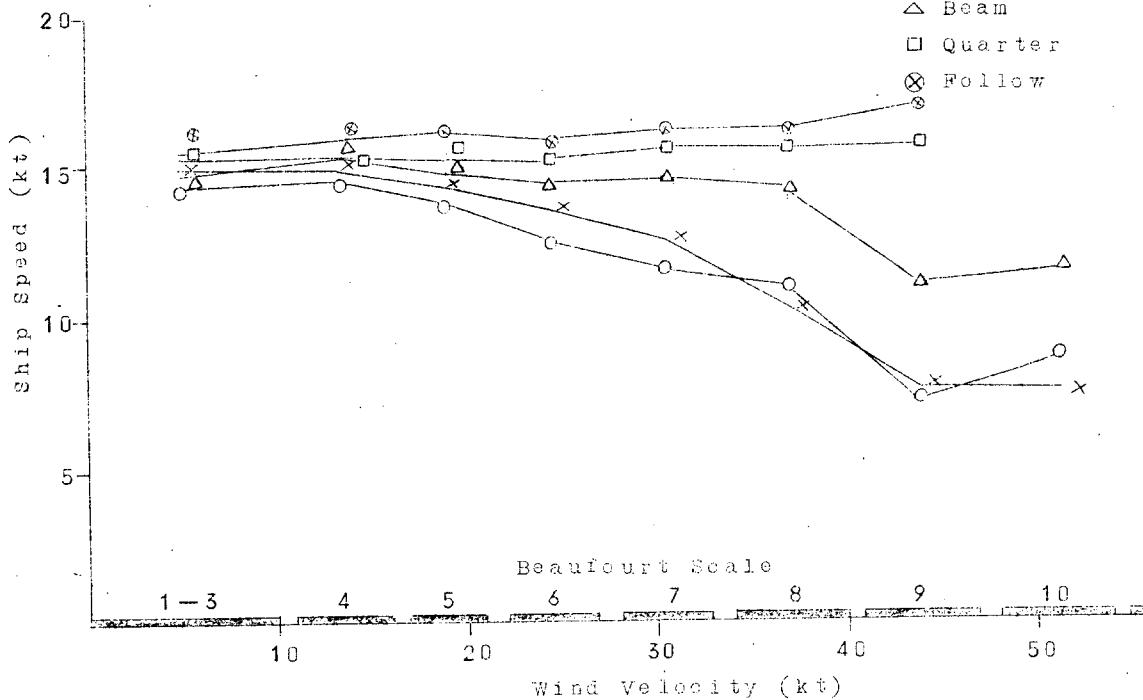


Fig. 5.4-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 6

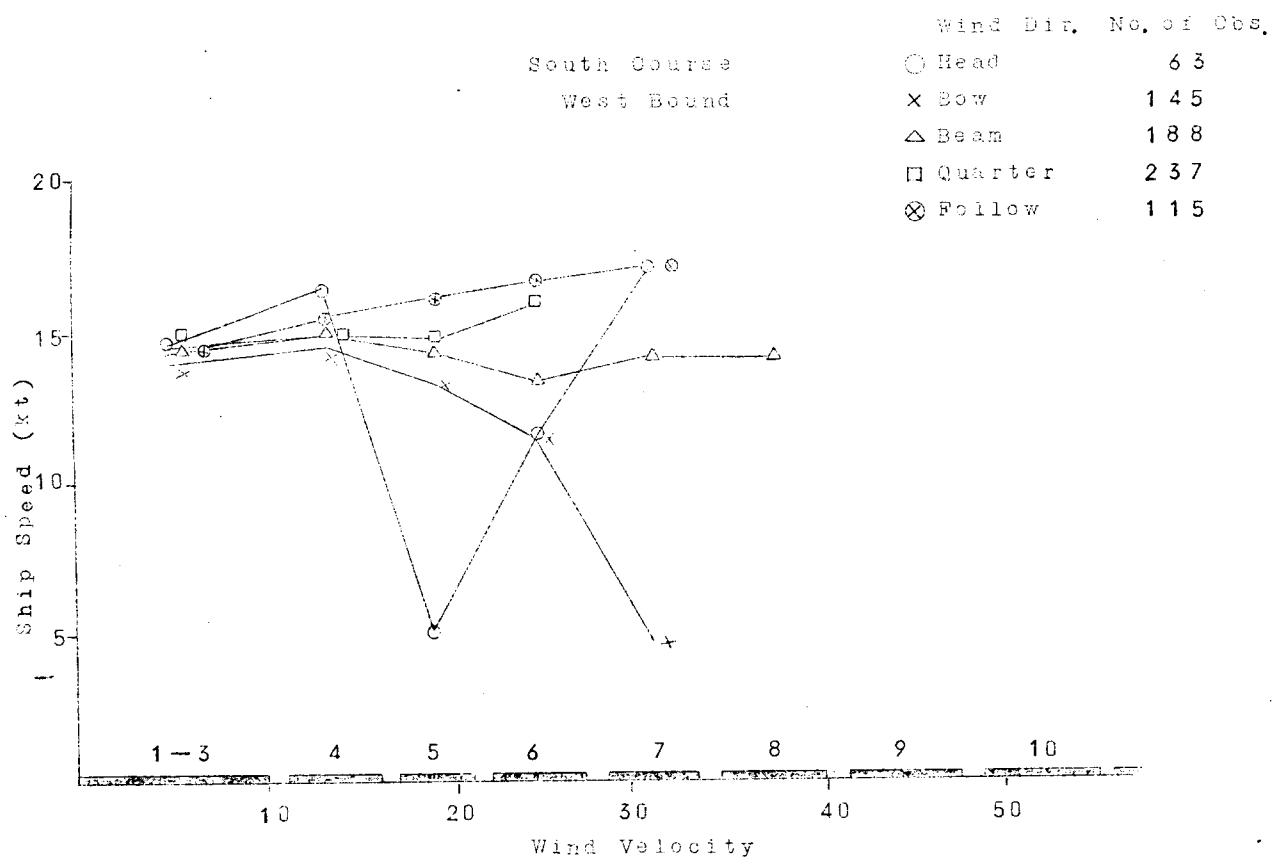
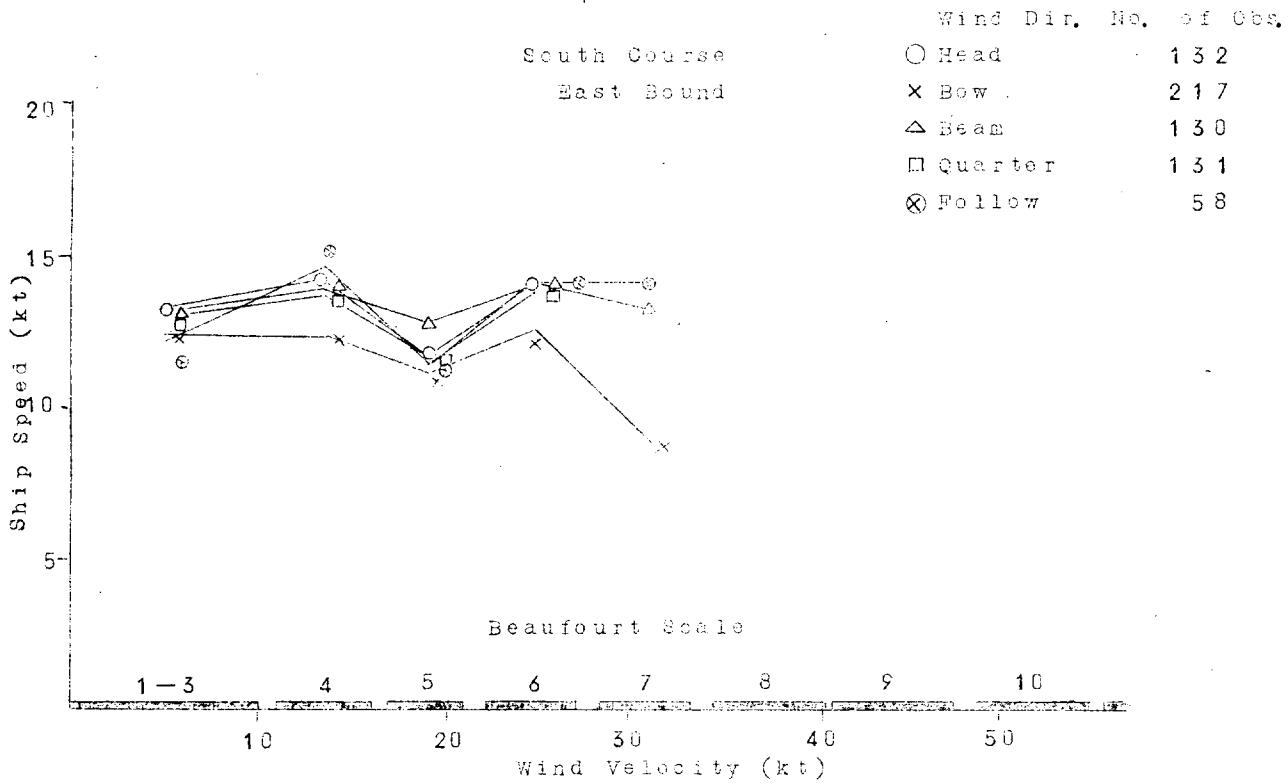
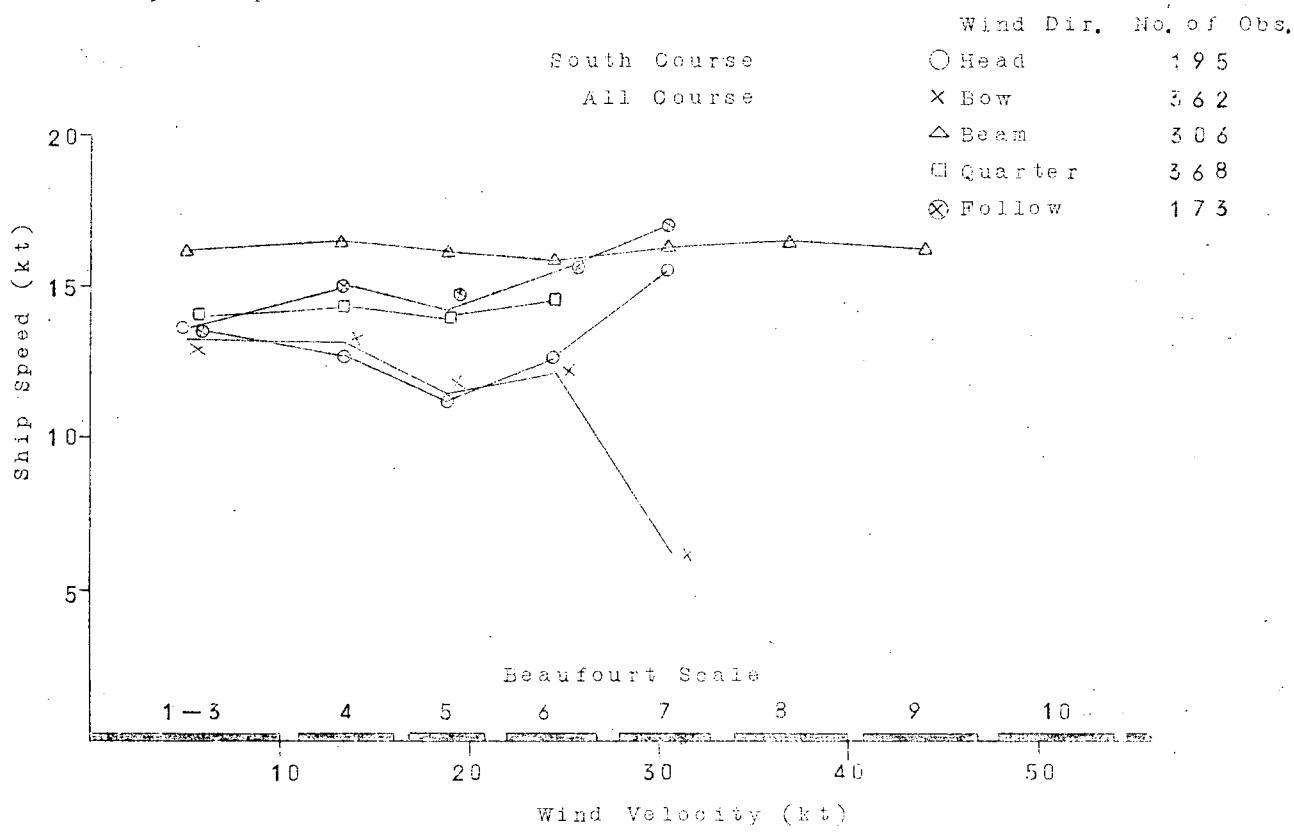


Fig. 5.4-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

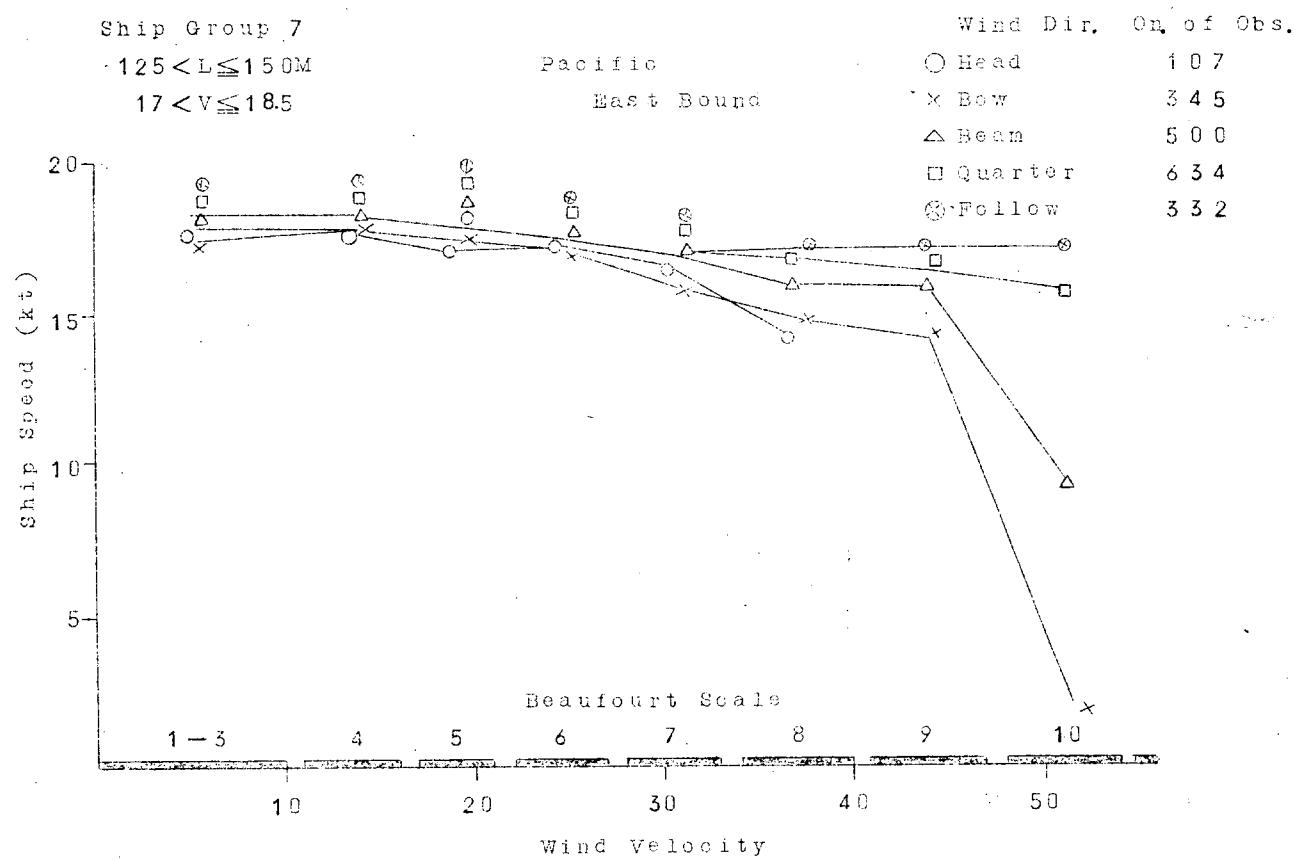
Ship Group 6



Ship Group 7

$125 < L \leq 150 \text{M}$

$17 < V \leq 18.5$



Ship Group 7

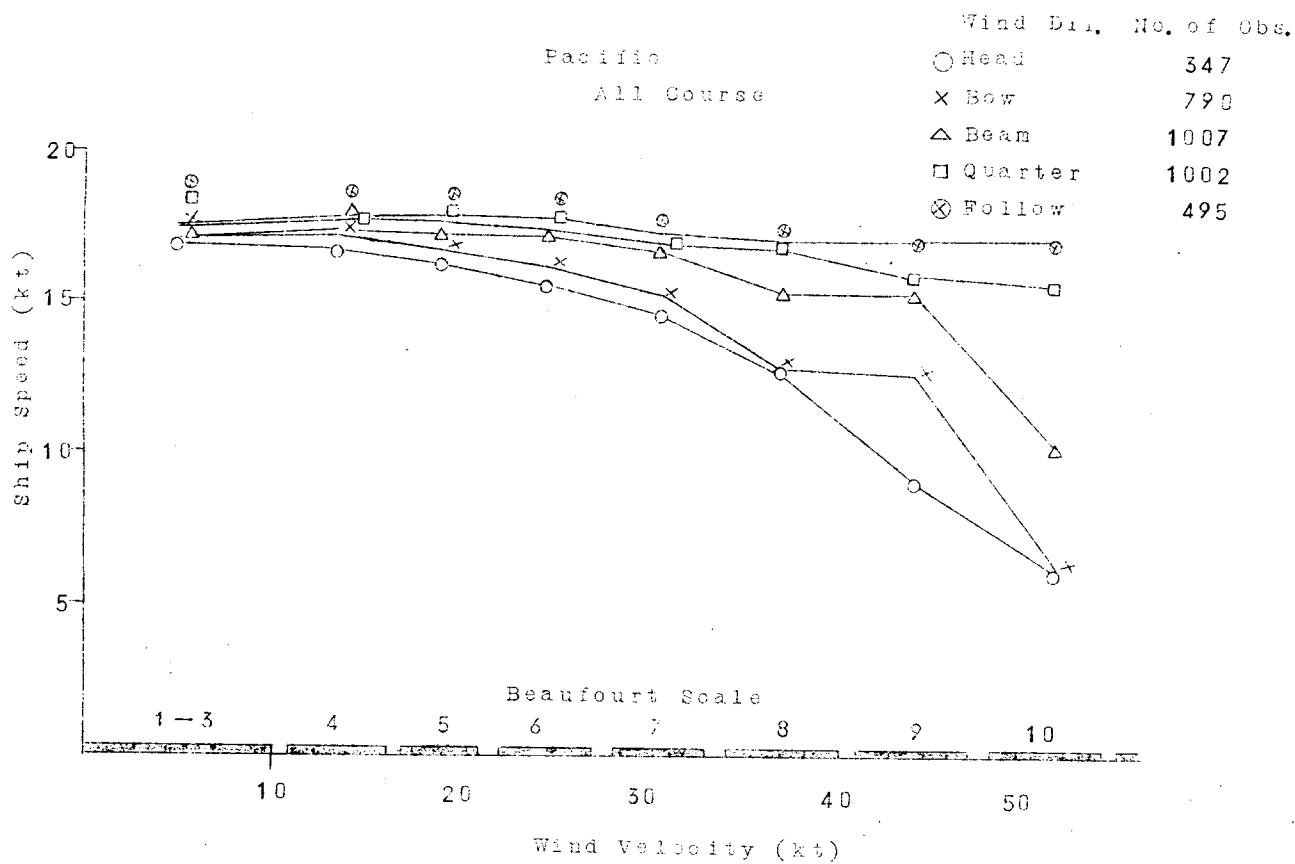
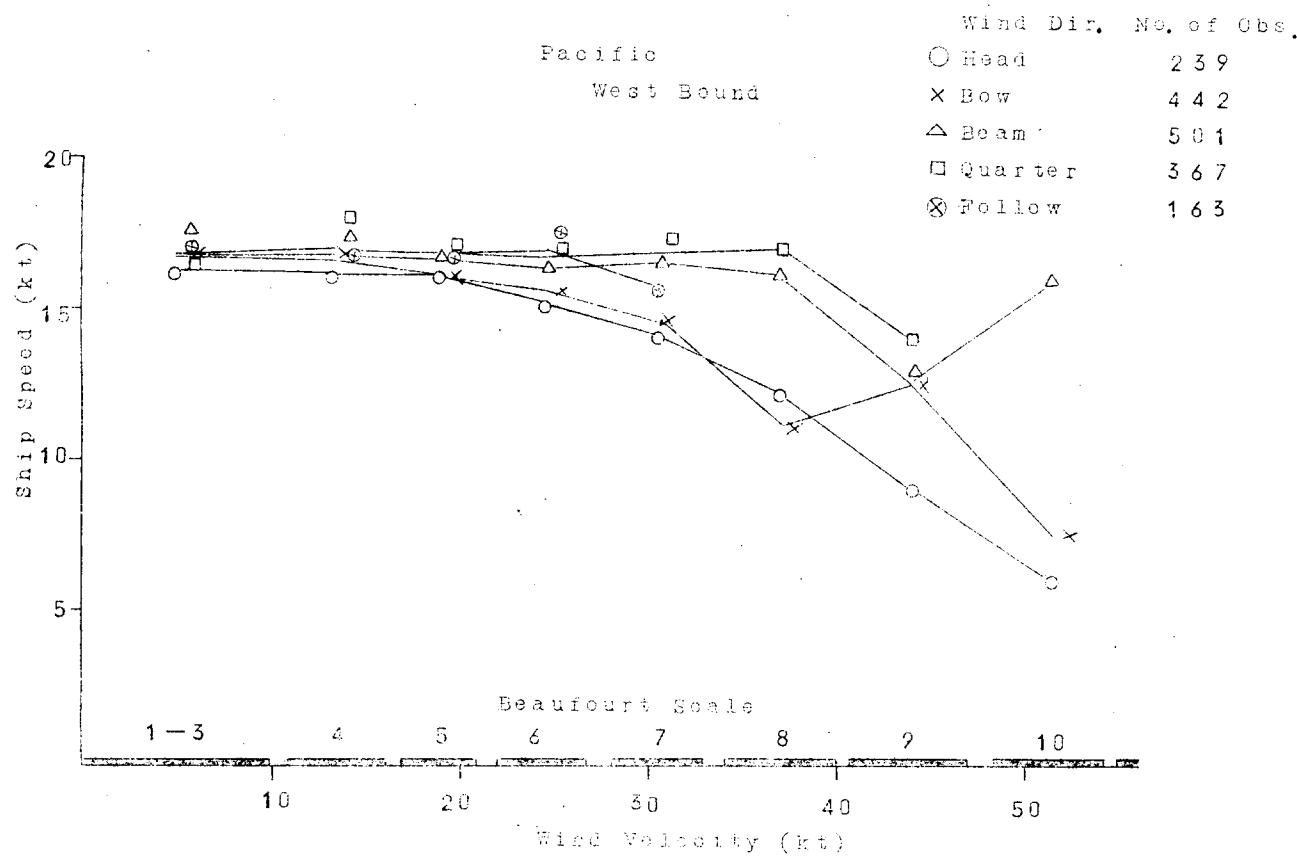
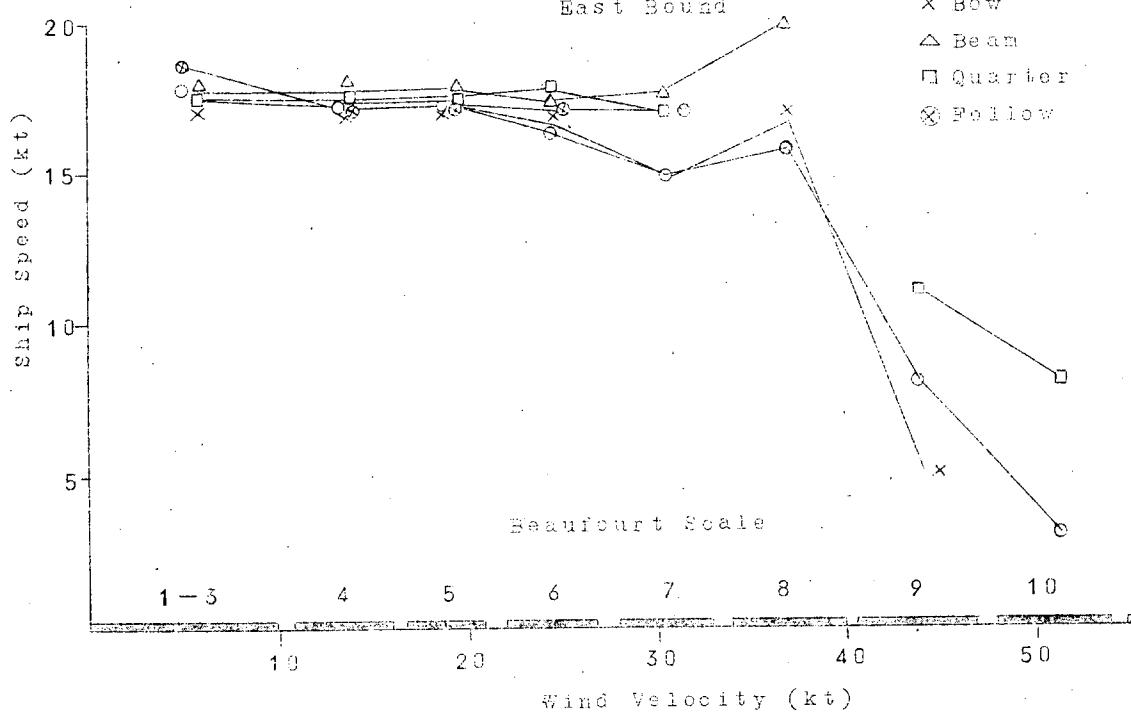


Fig. 5.5-(b) Wind Speed vs. Ship Mean Speed

Ship Group 7

South Course

East Bound



South Course

West Bound

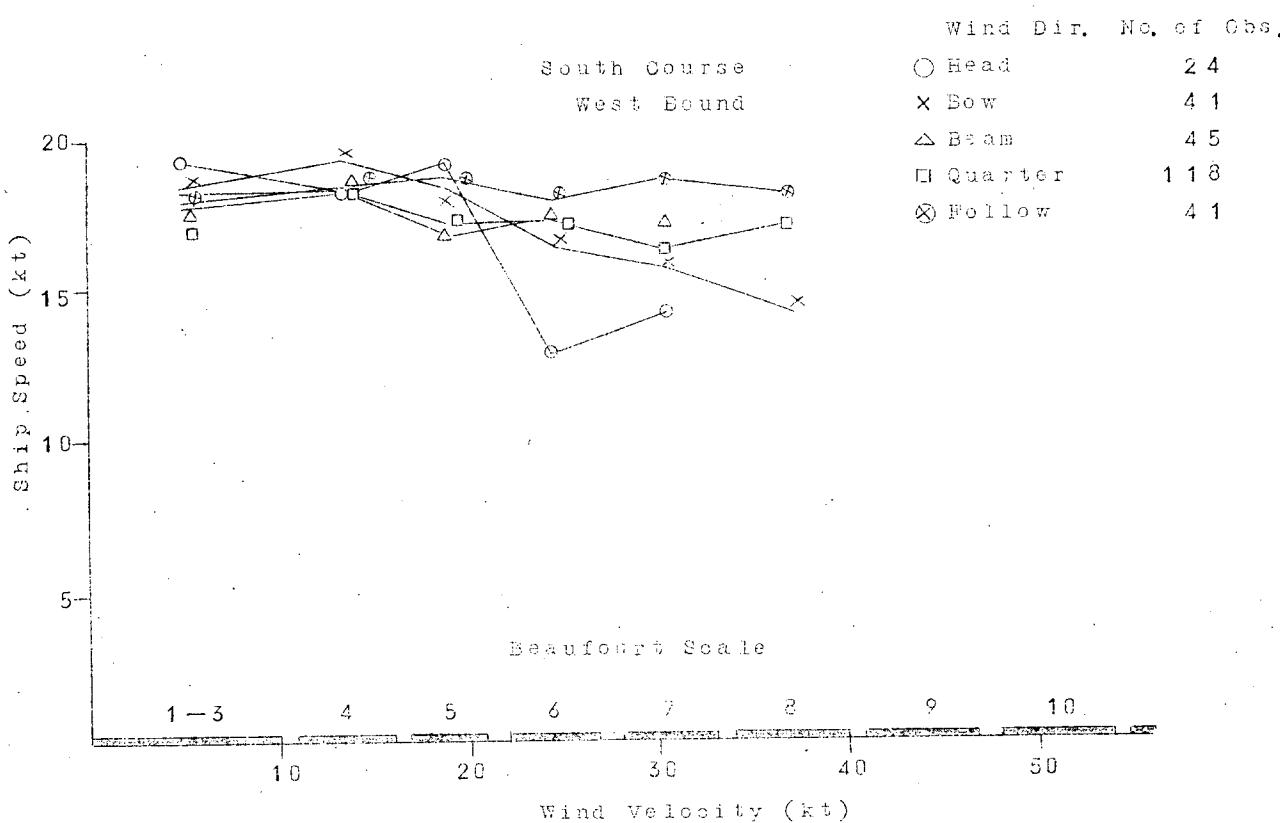


Fig. 5.5-(e) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 7

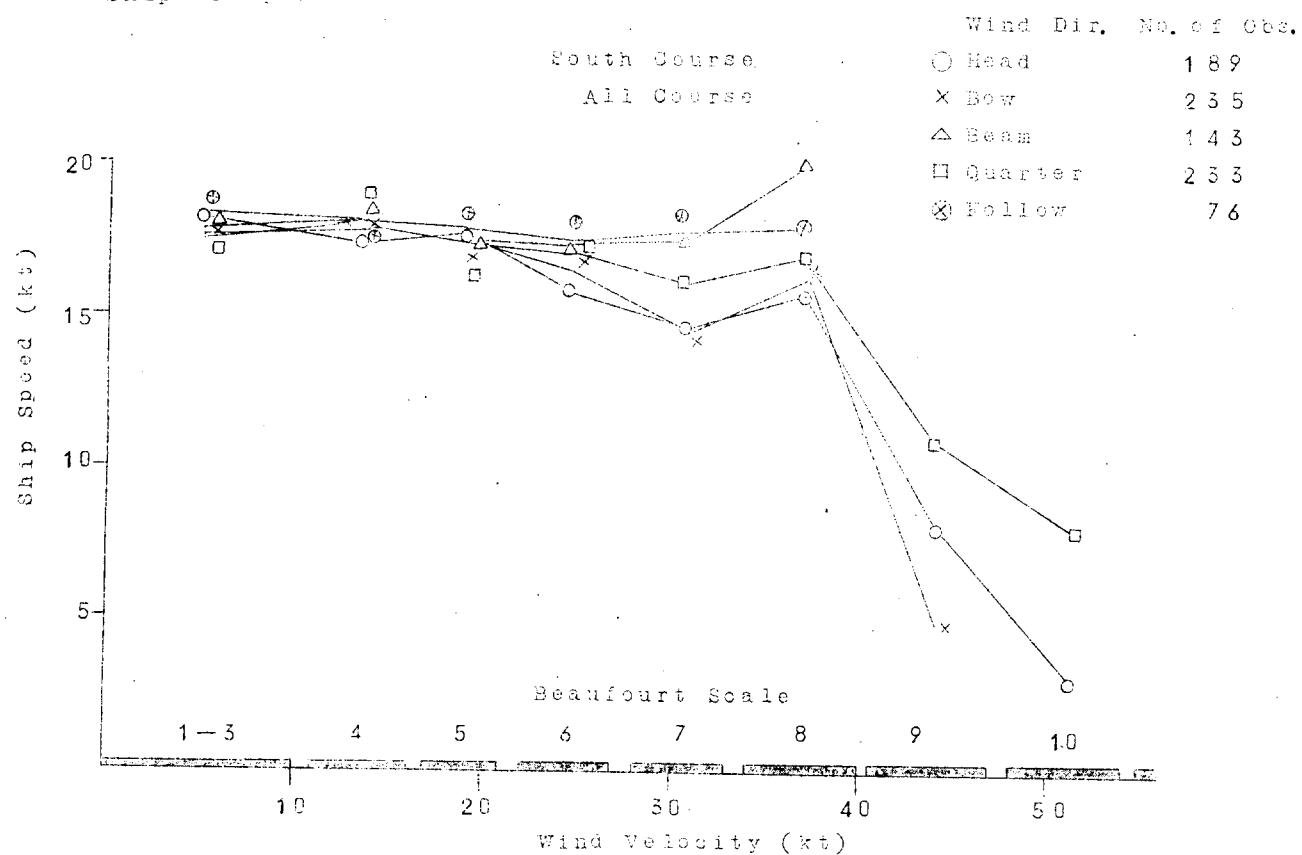


Fig. 5.5-(d) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 8

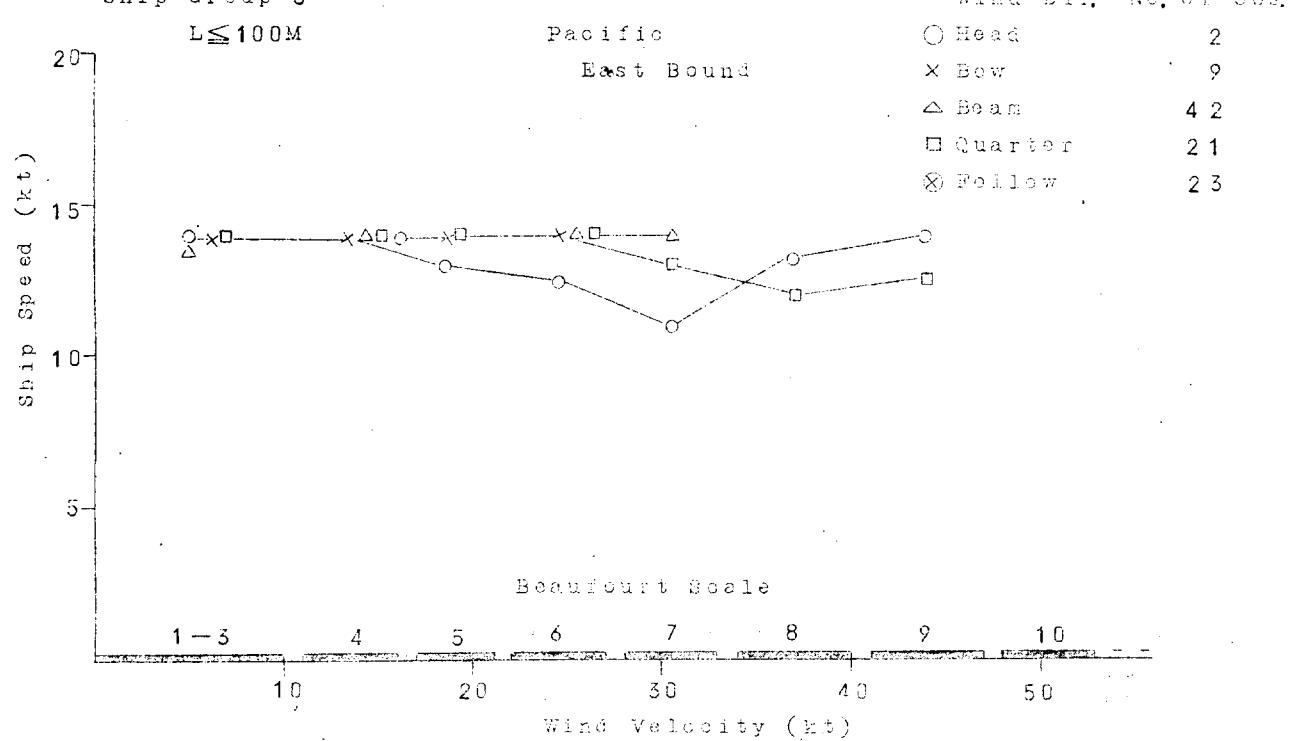


Fig. 5.6-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group S

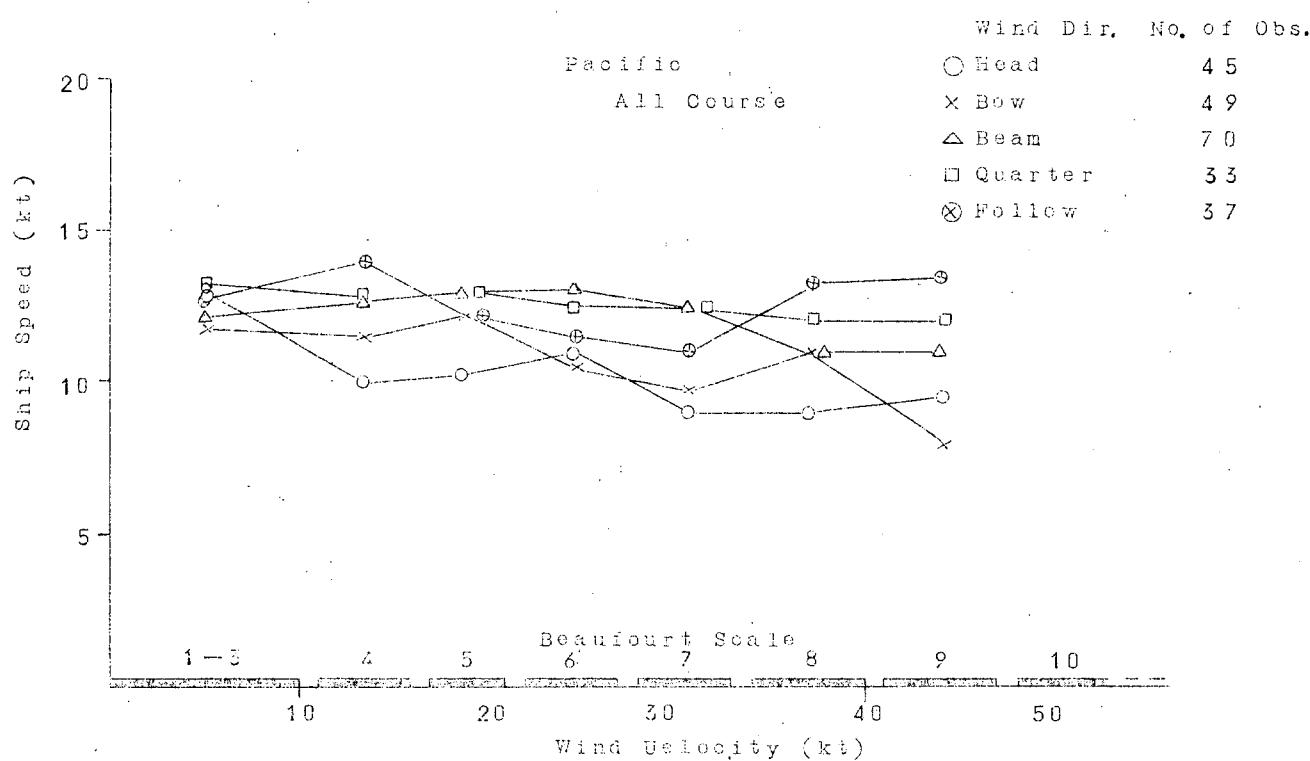
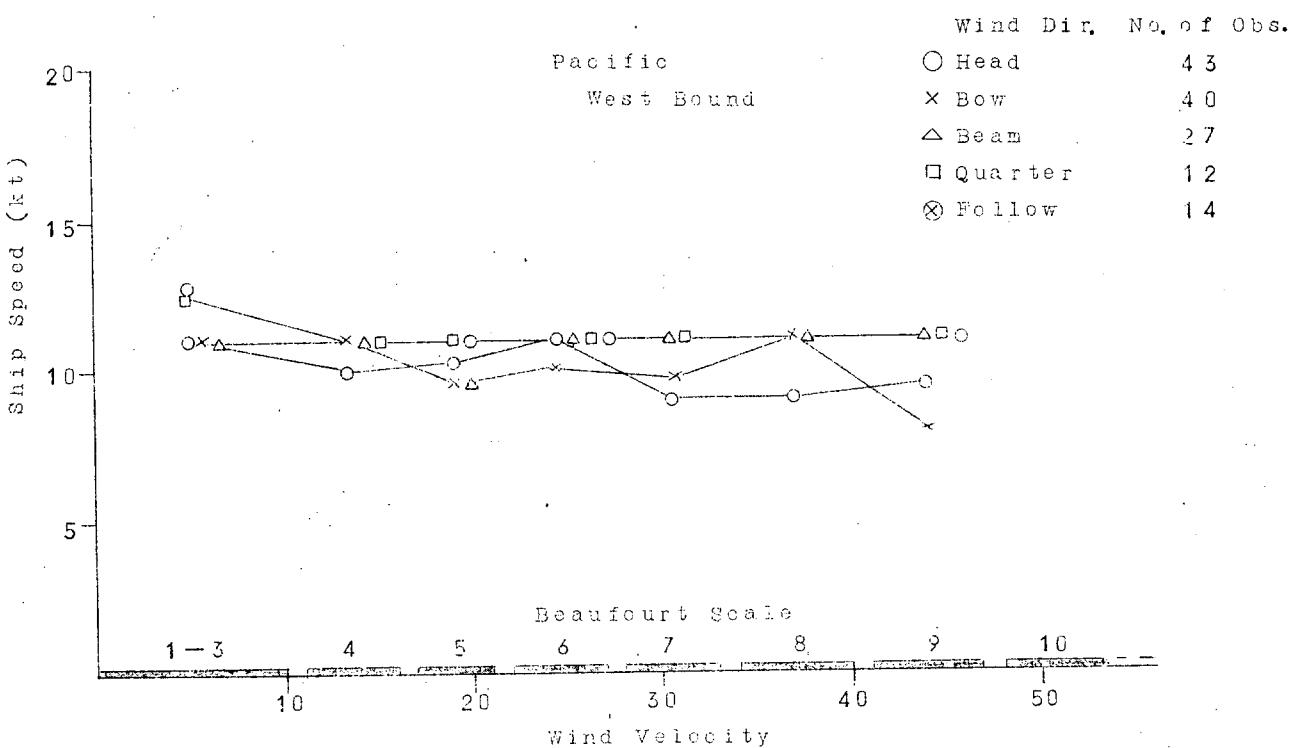


Fig. 5.6-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 8

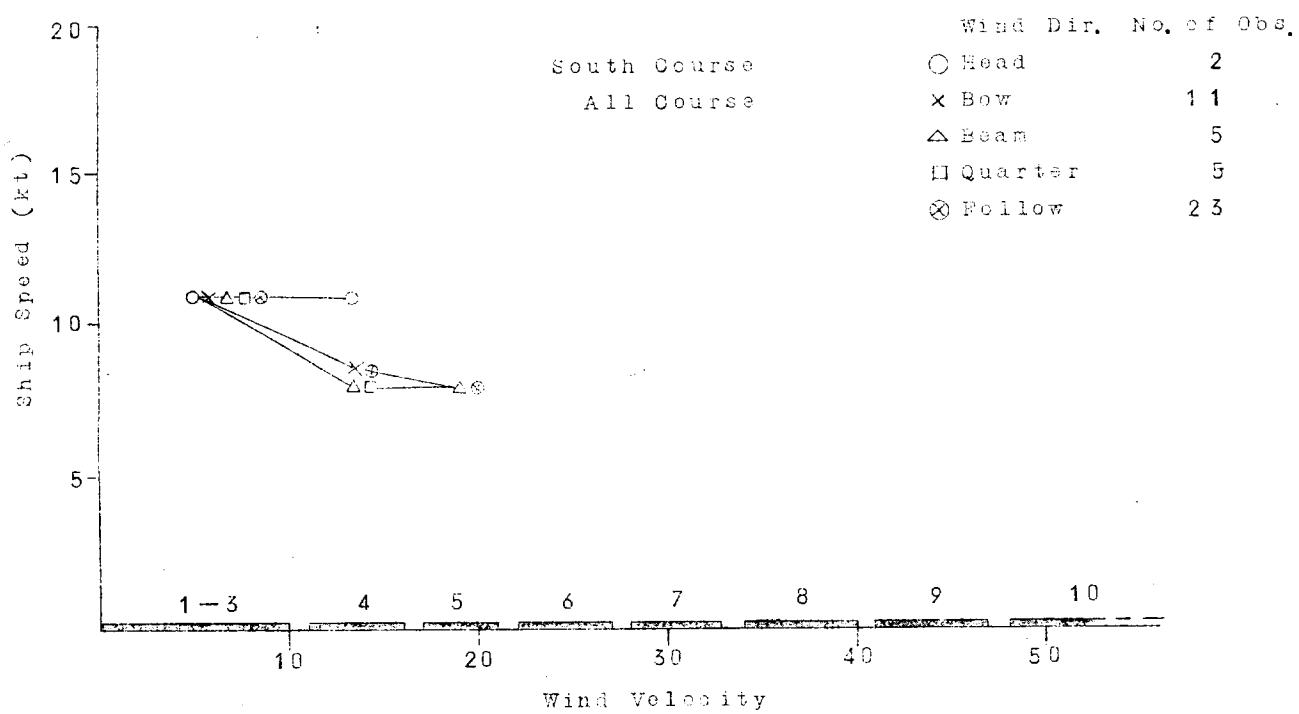
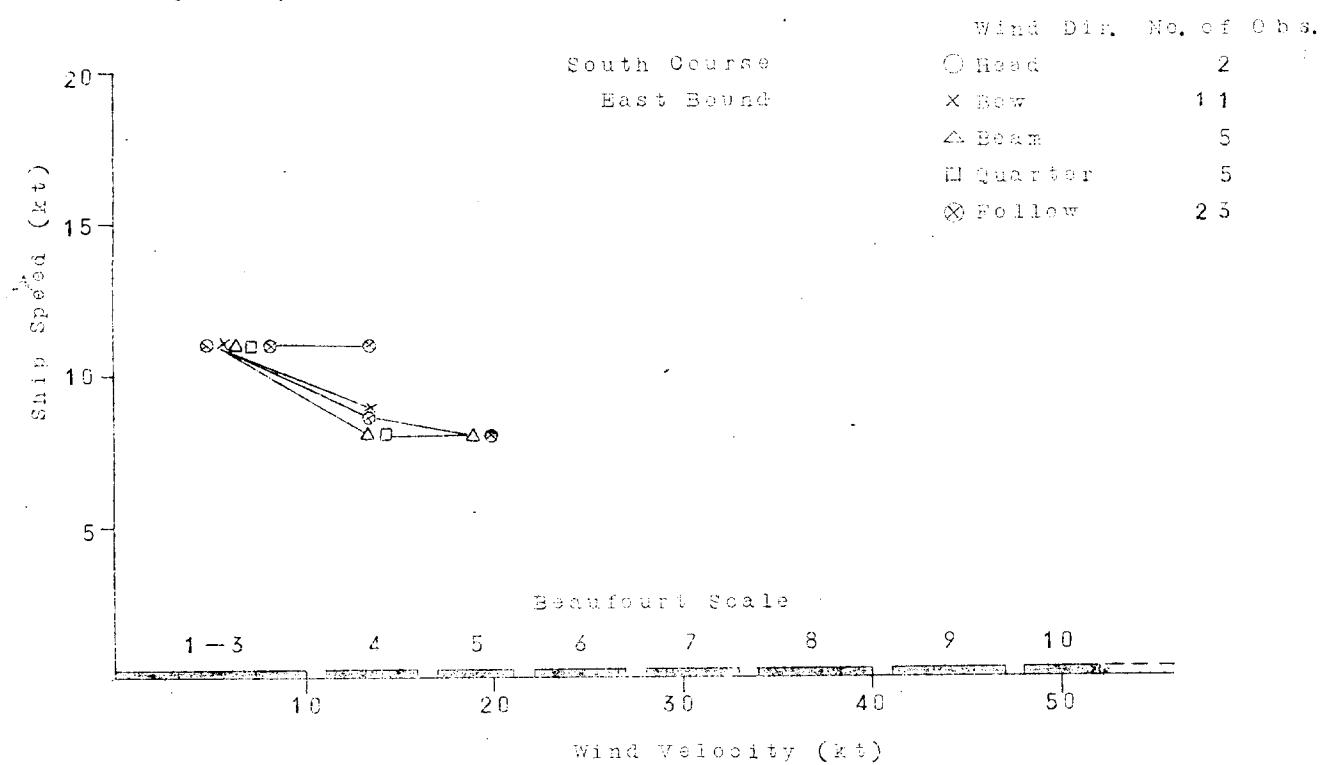


Fig. 5.6-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

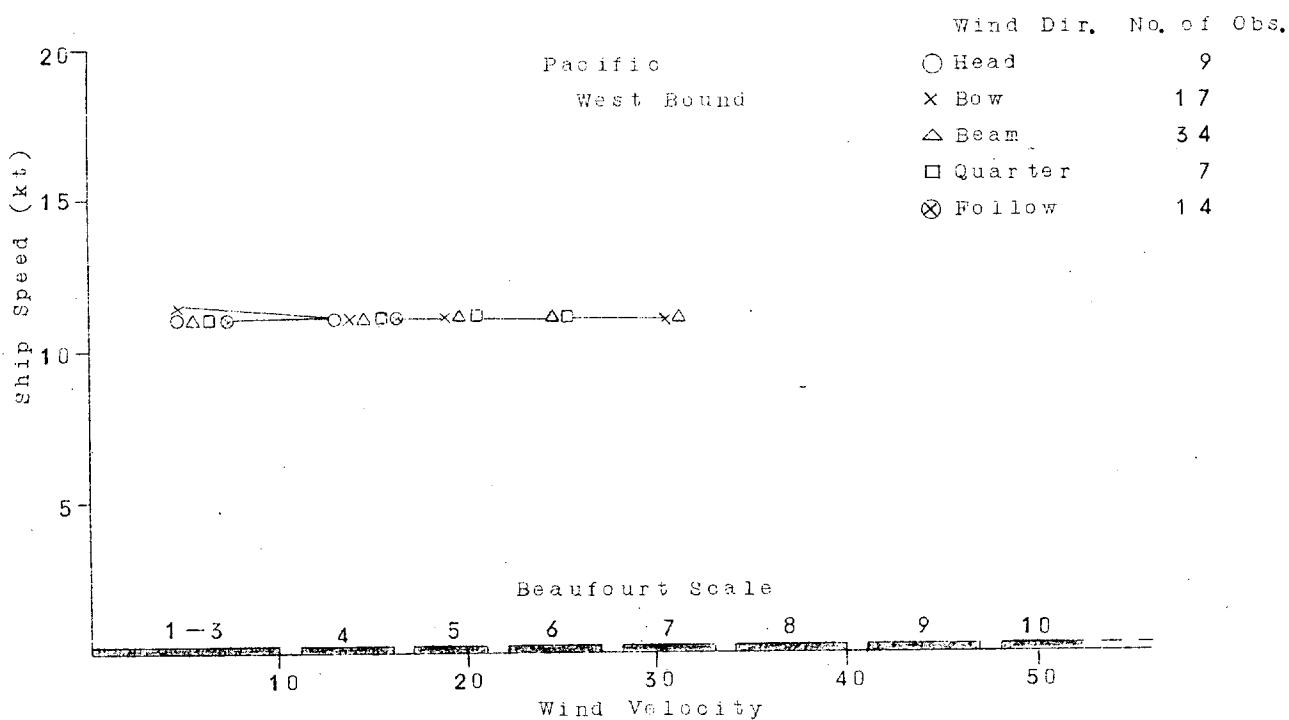
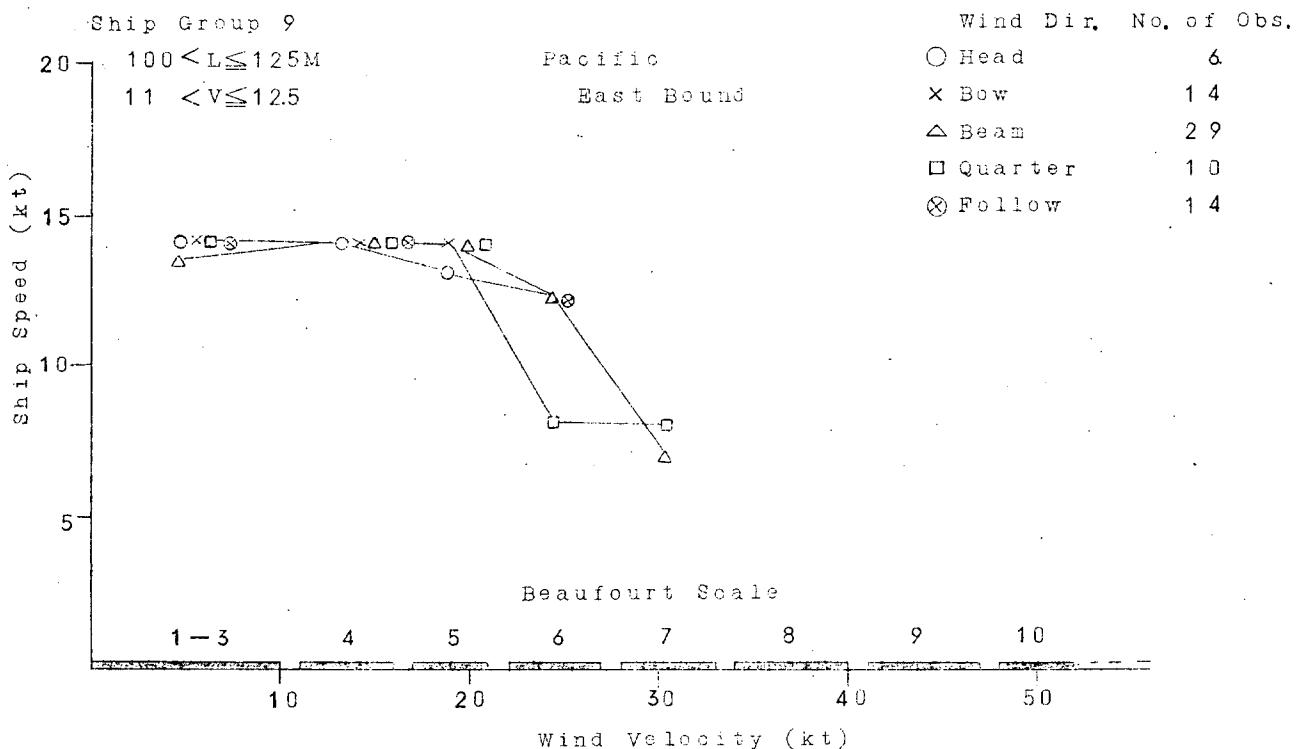


Fig. 5.7—(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

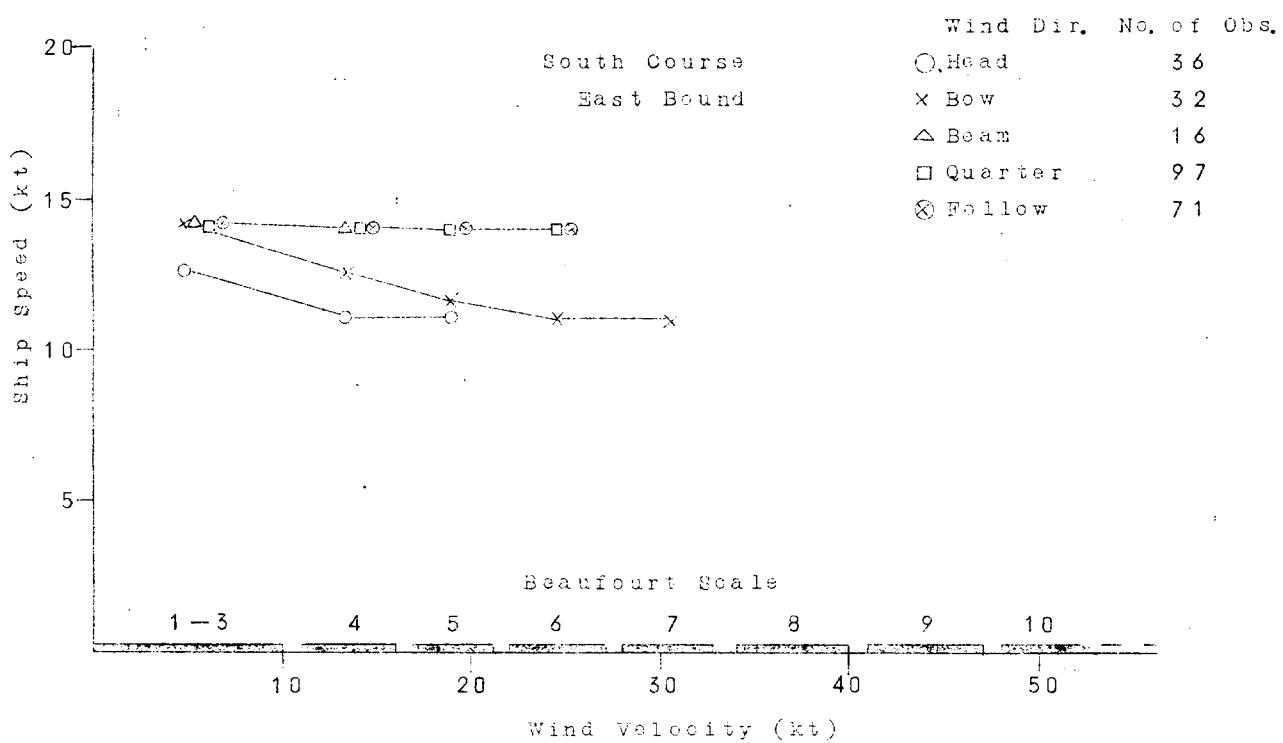
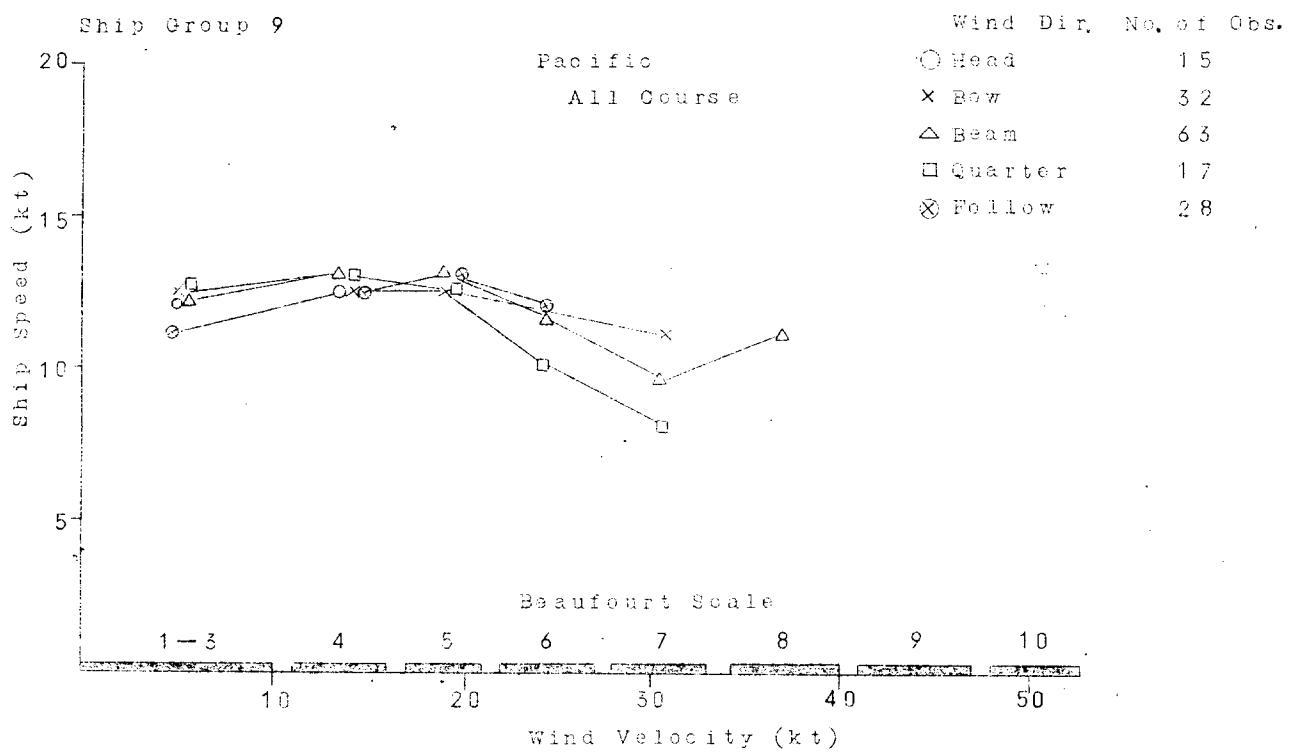


Fig. 5.7-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

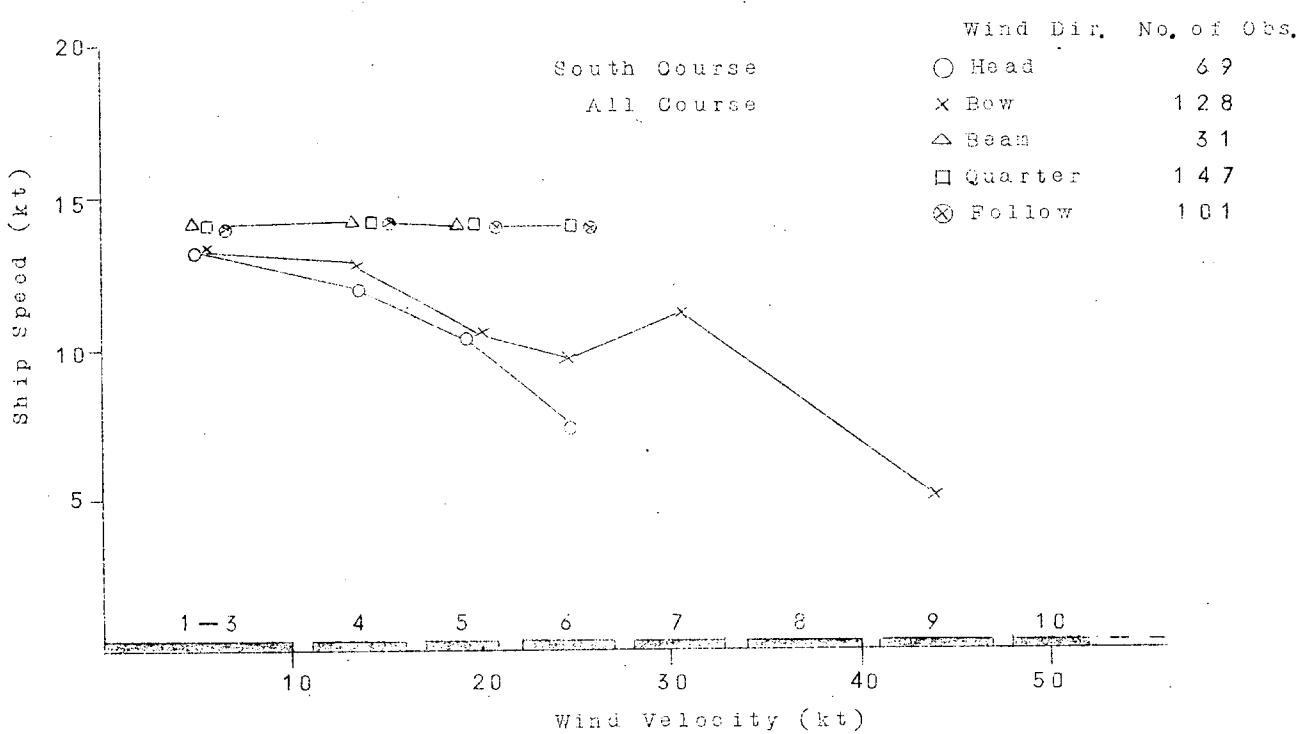
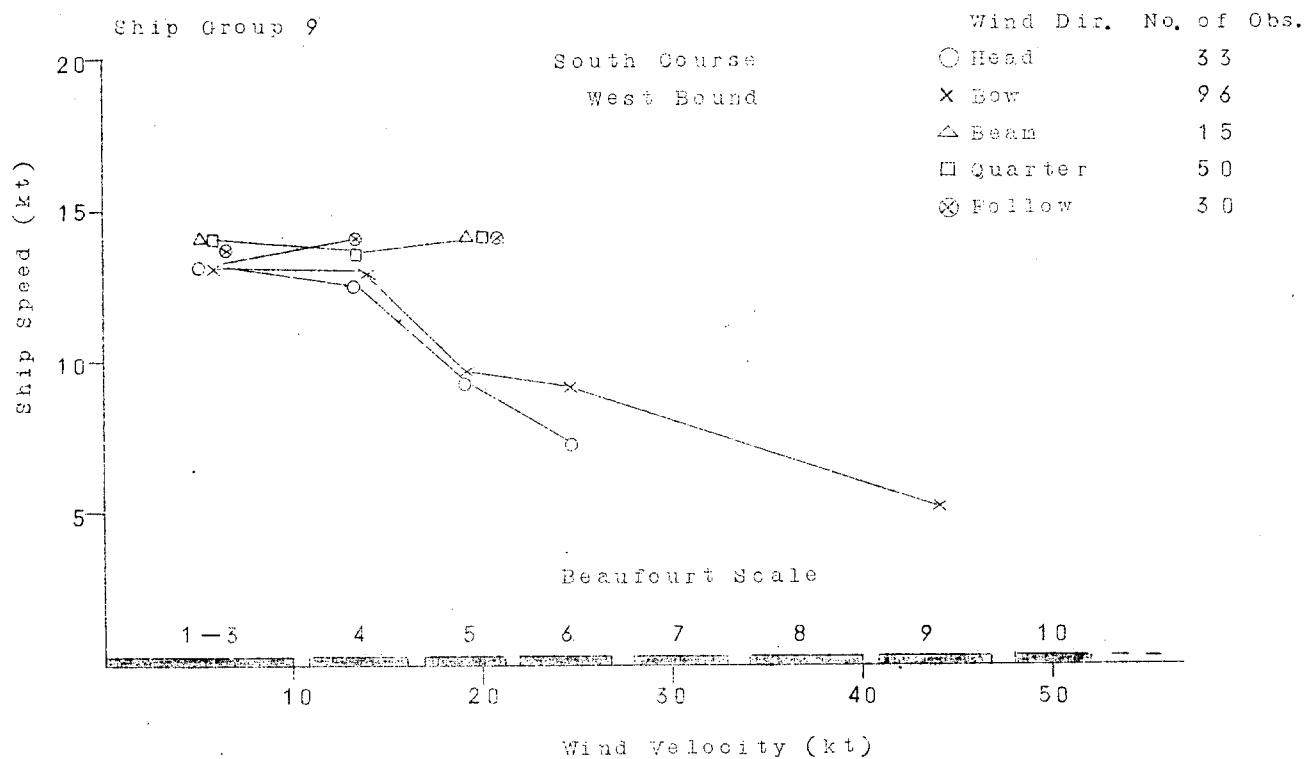


Fig. 5.7-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

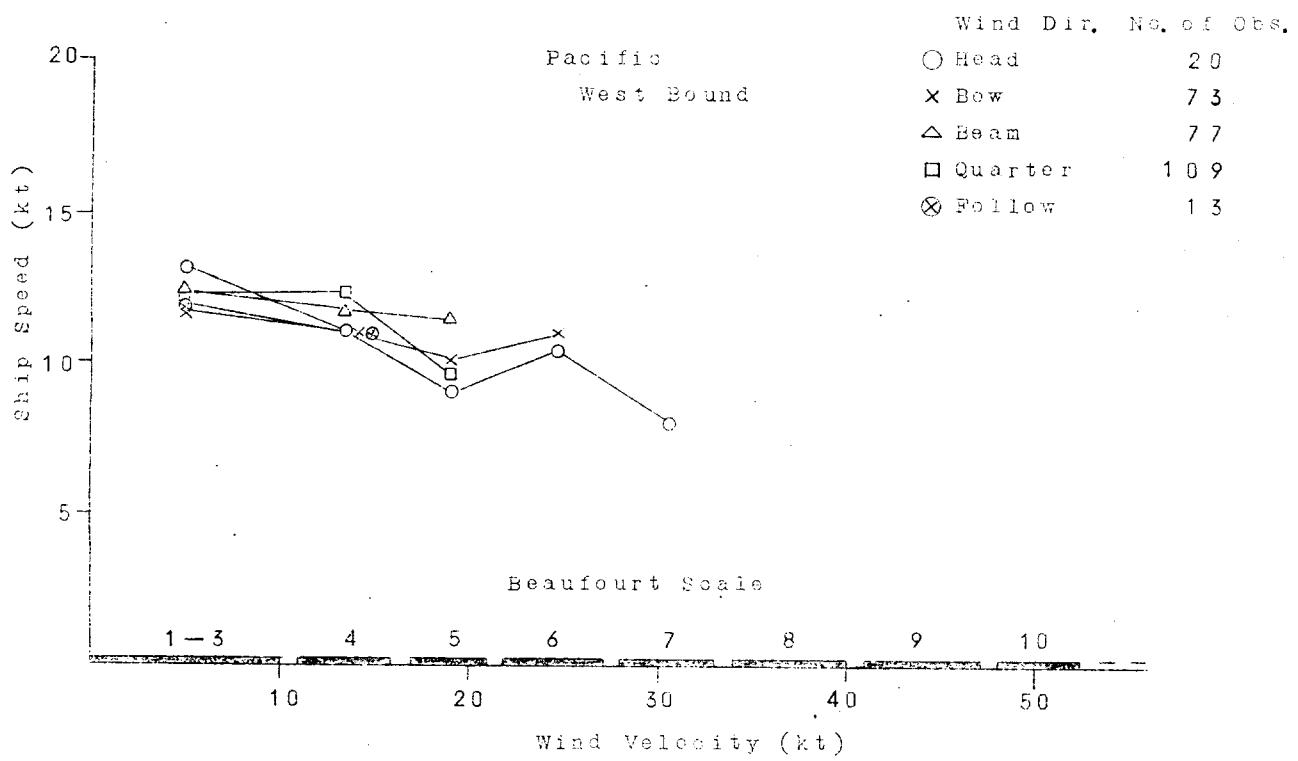
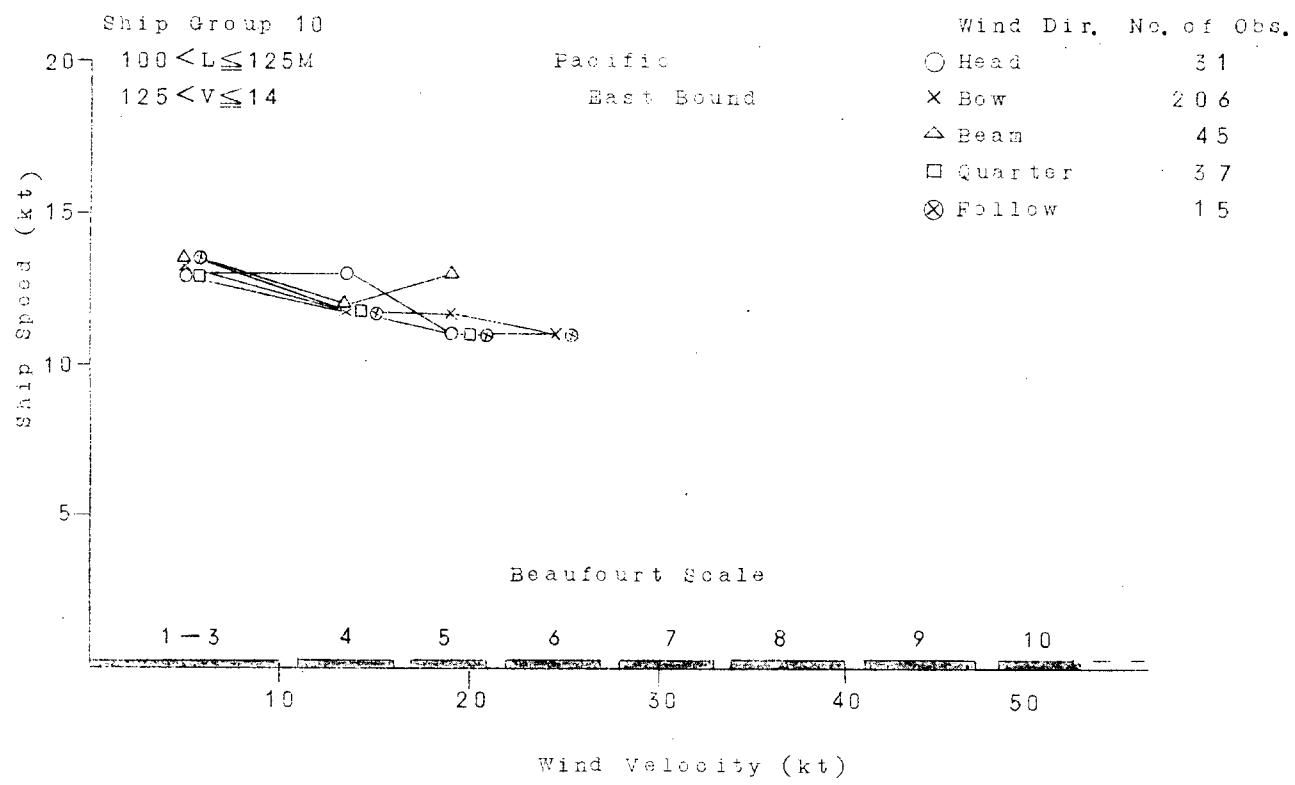


Fig. 5.8-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

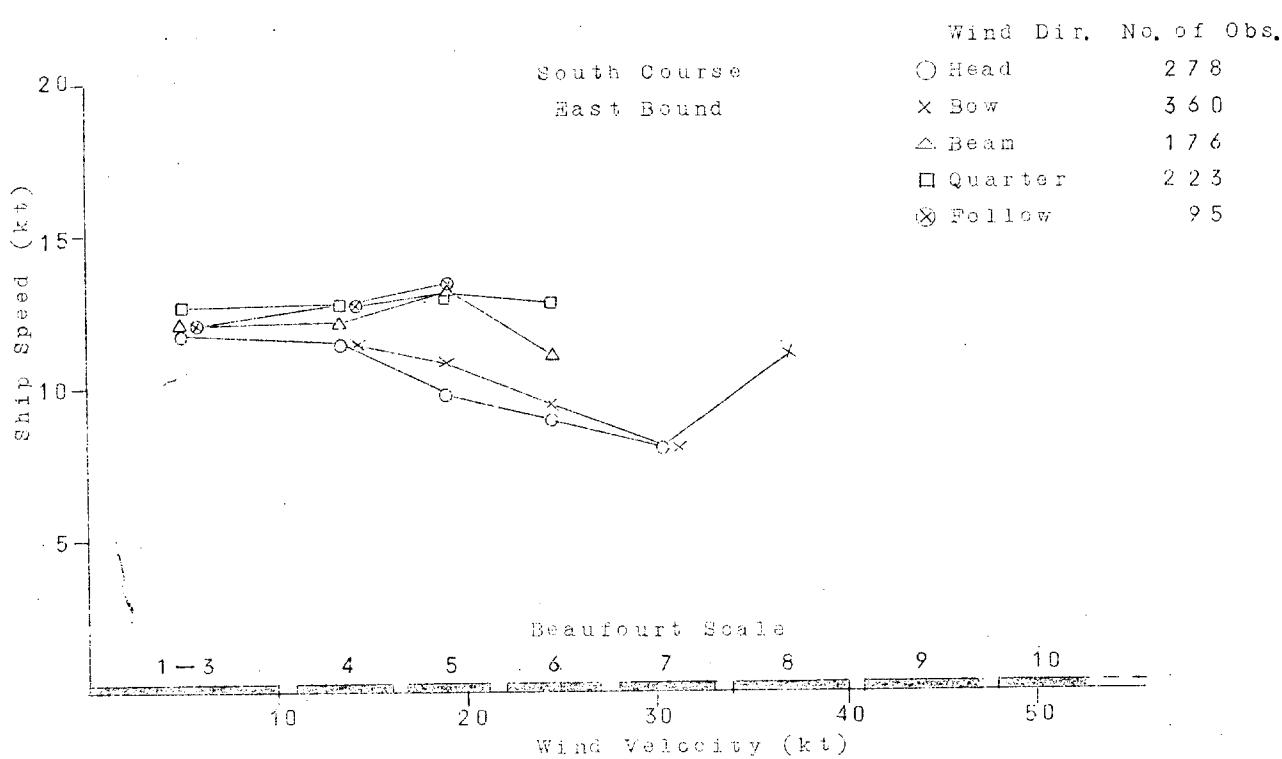
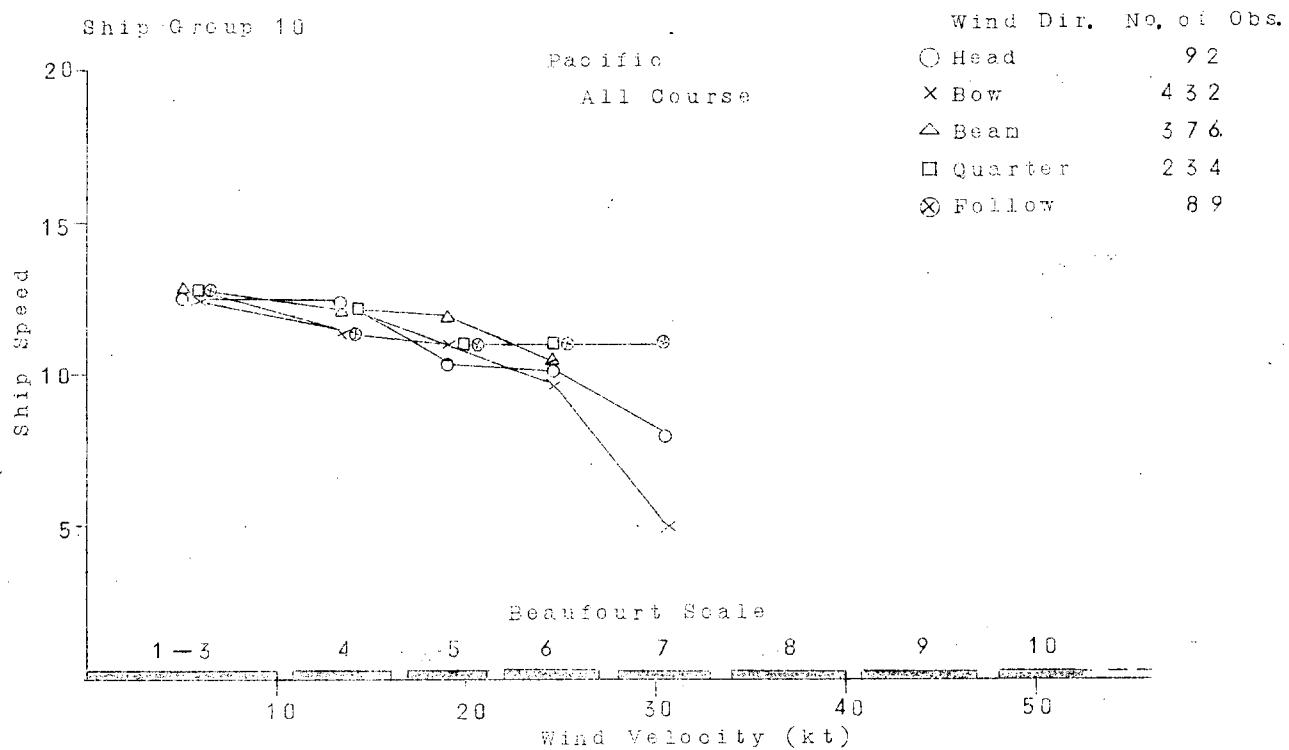


Fig. 5.8-(b) Wind Speed vs. Ship Mean Speed

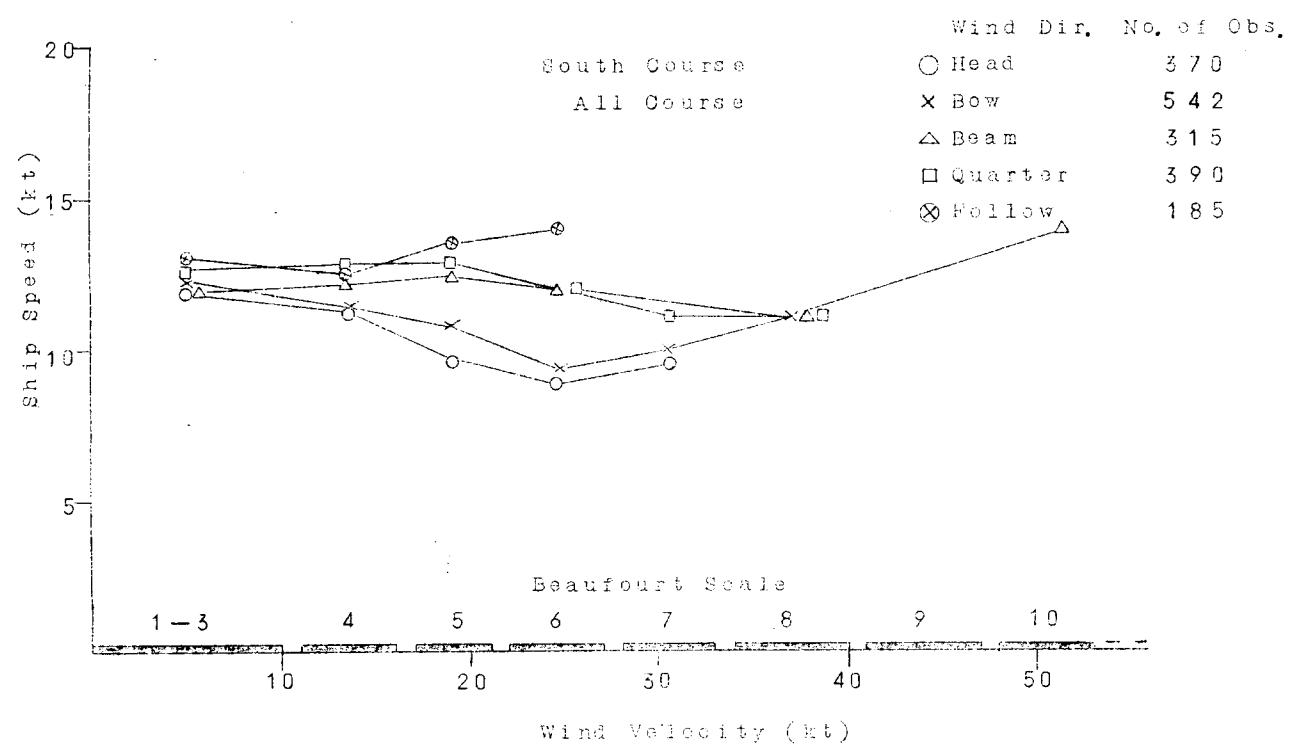
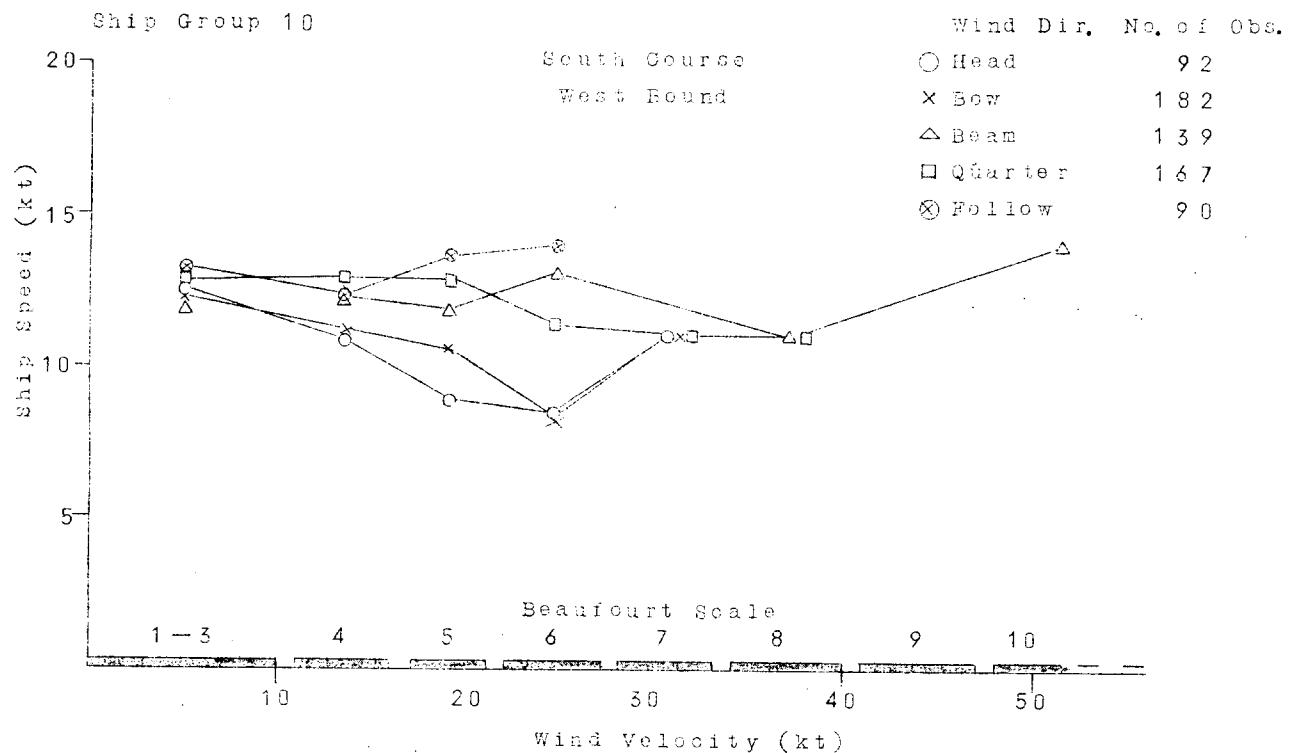


Fig. 5.8-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

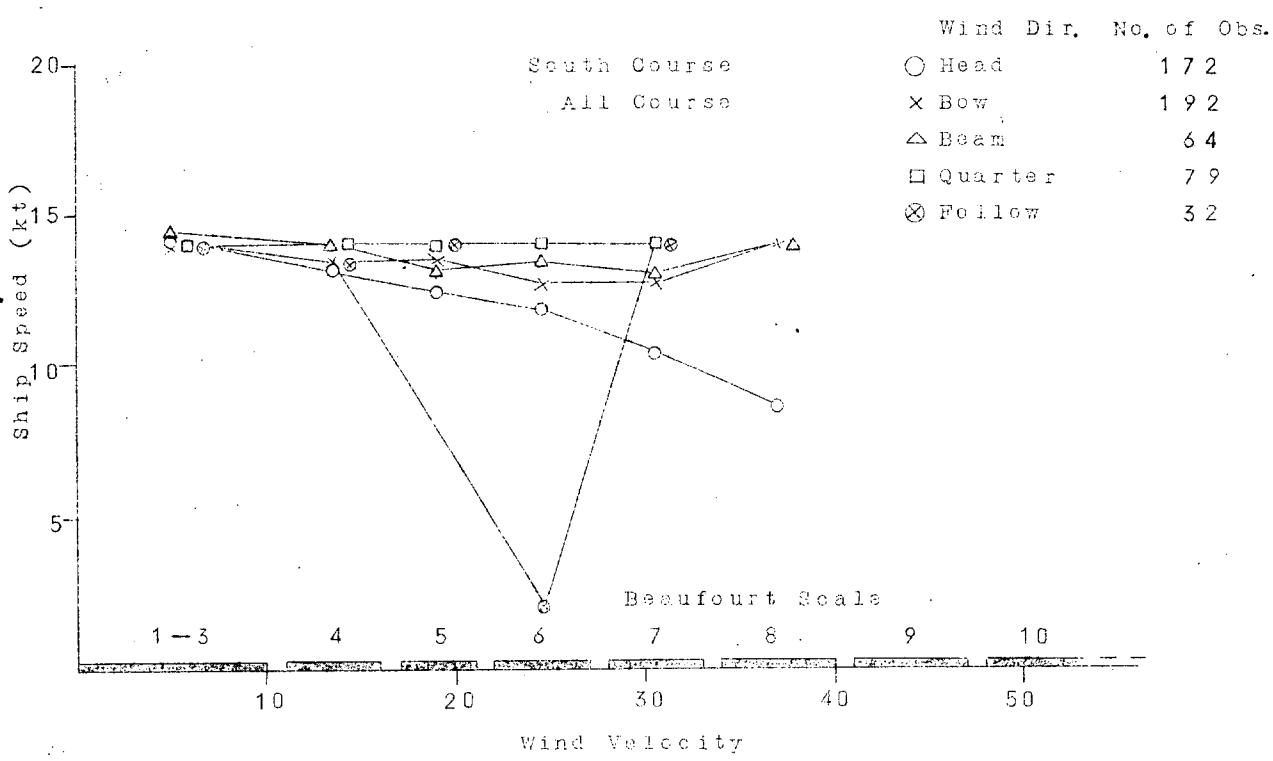
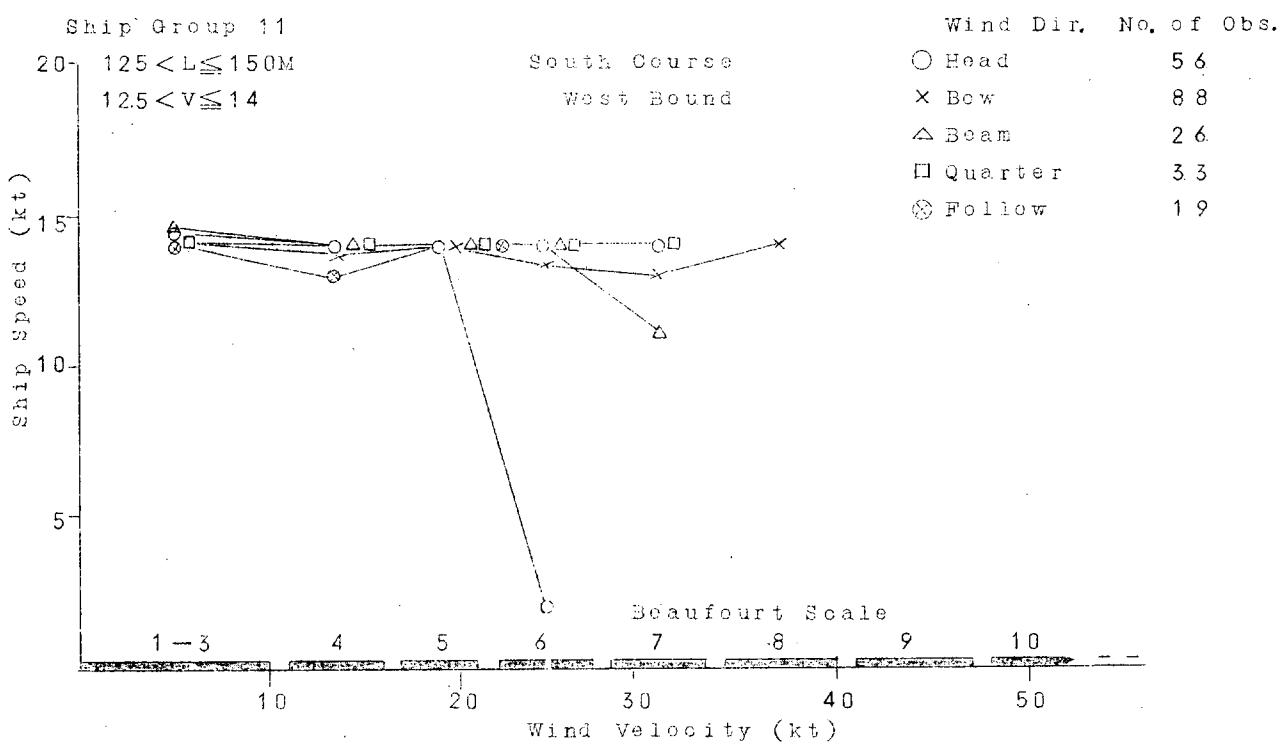


Fig. 5.9-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

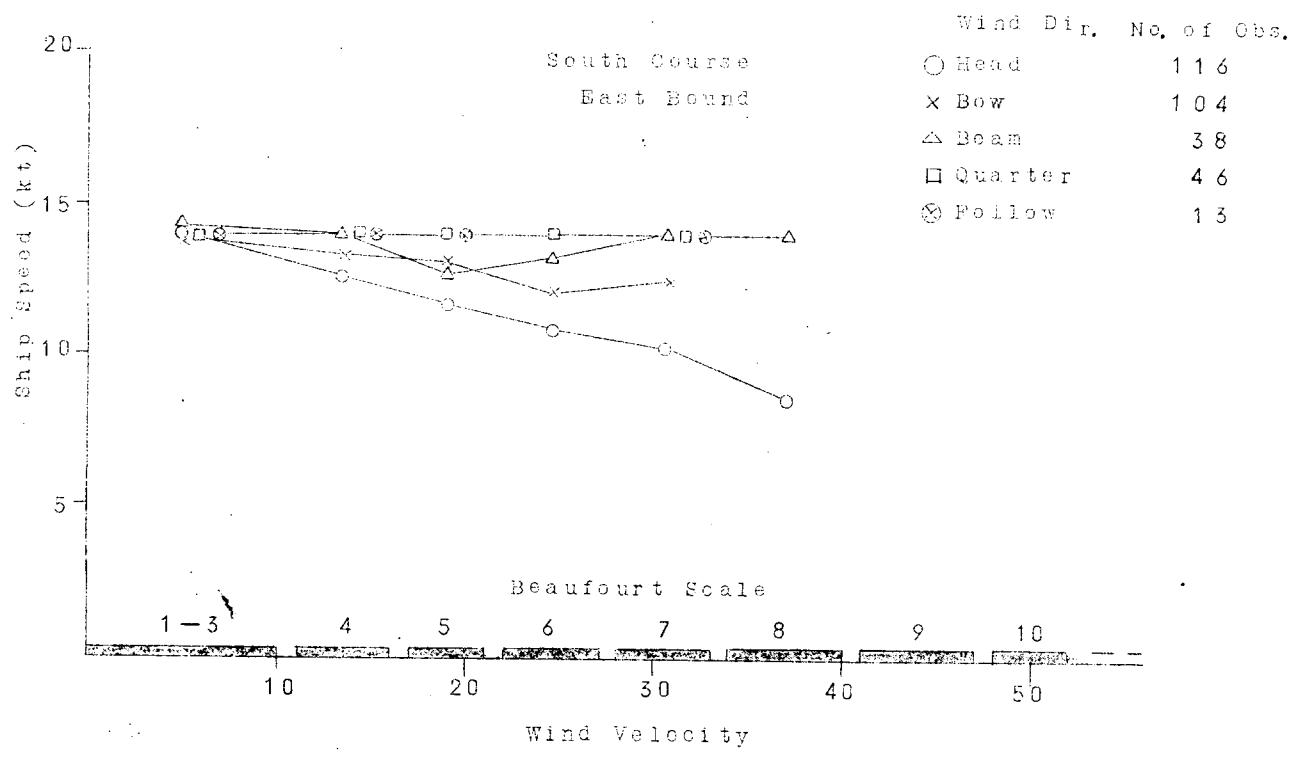
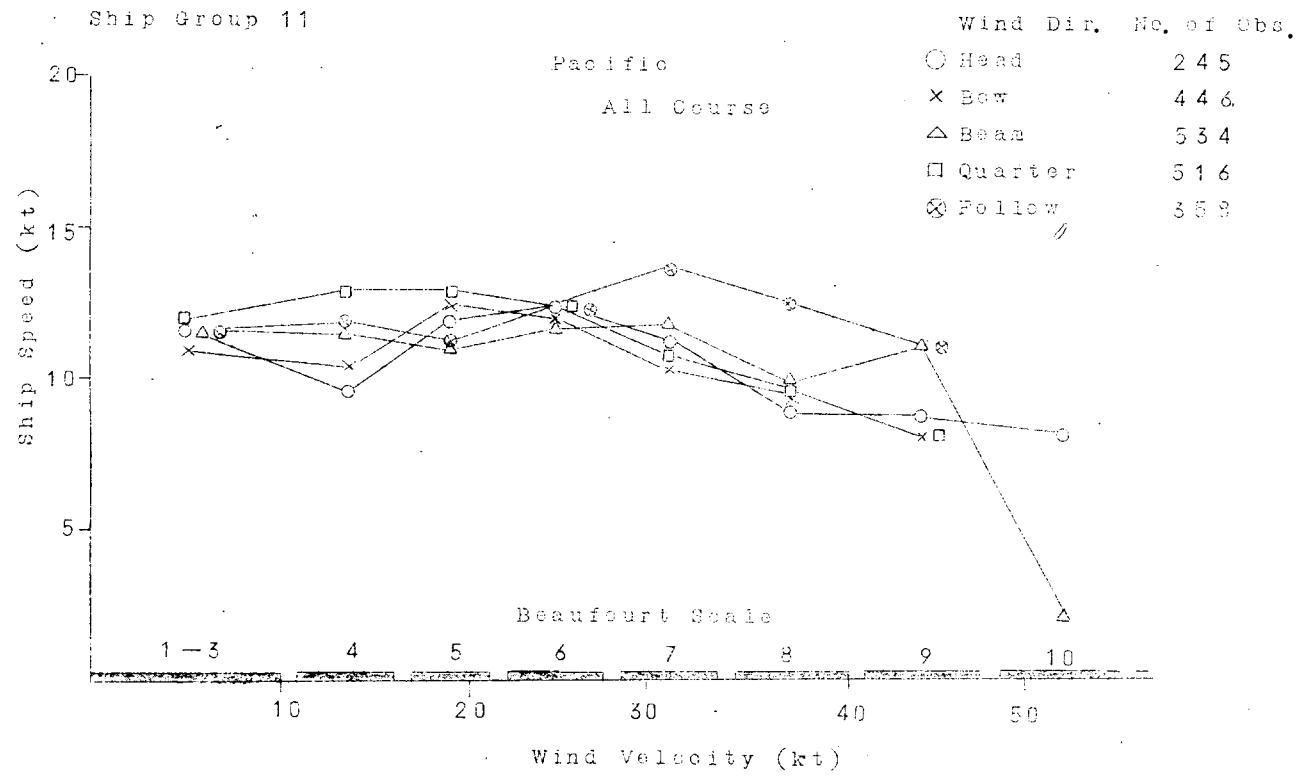


Fig. 5.9-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 11

Pacific
East Bound

Wind Dir.	No. of Obs.
○ Head	3 8
× Bow	2 2
△ Beam	2 1 3
□ Quarter	2 2 8
⊗ Follow	2 0 7

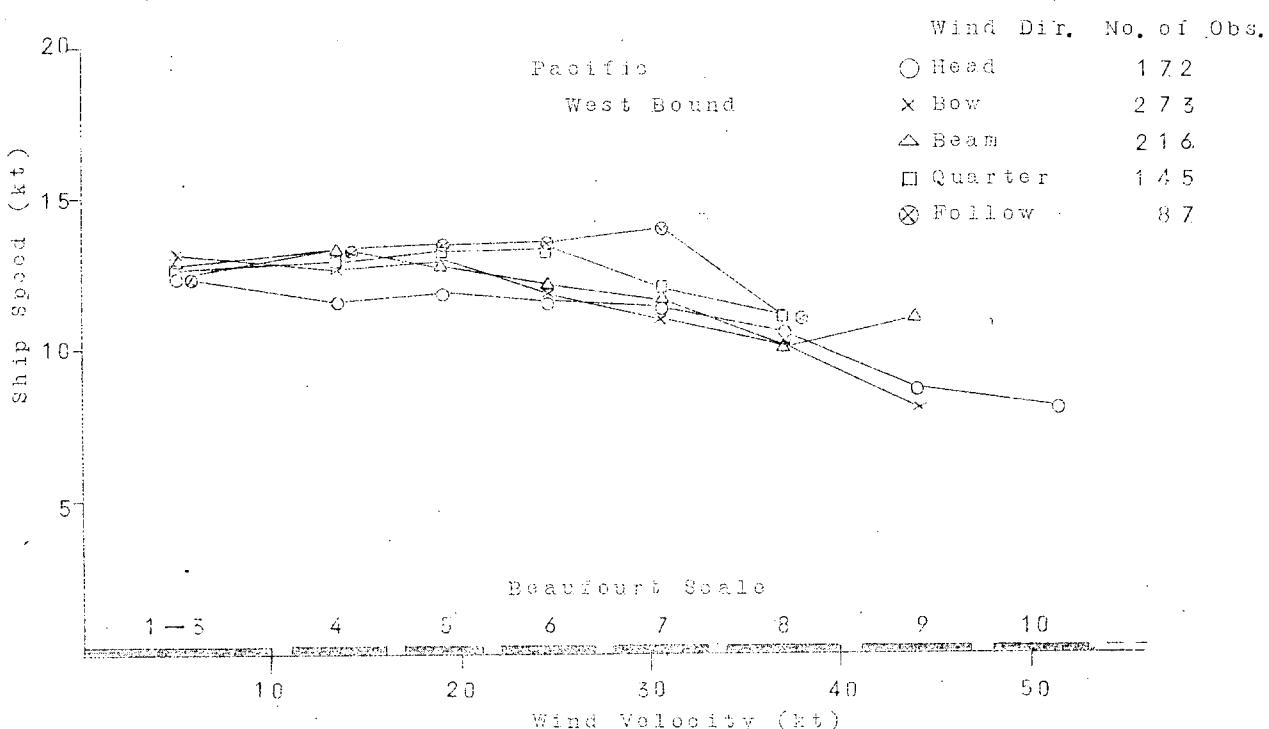
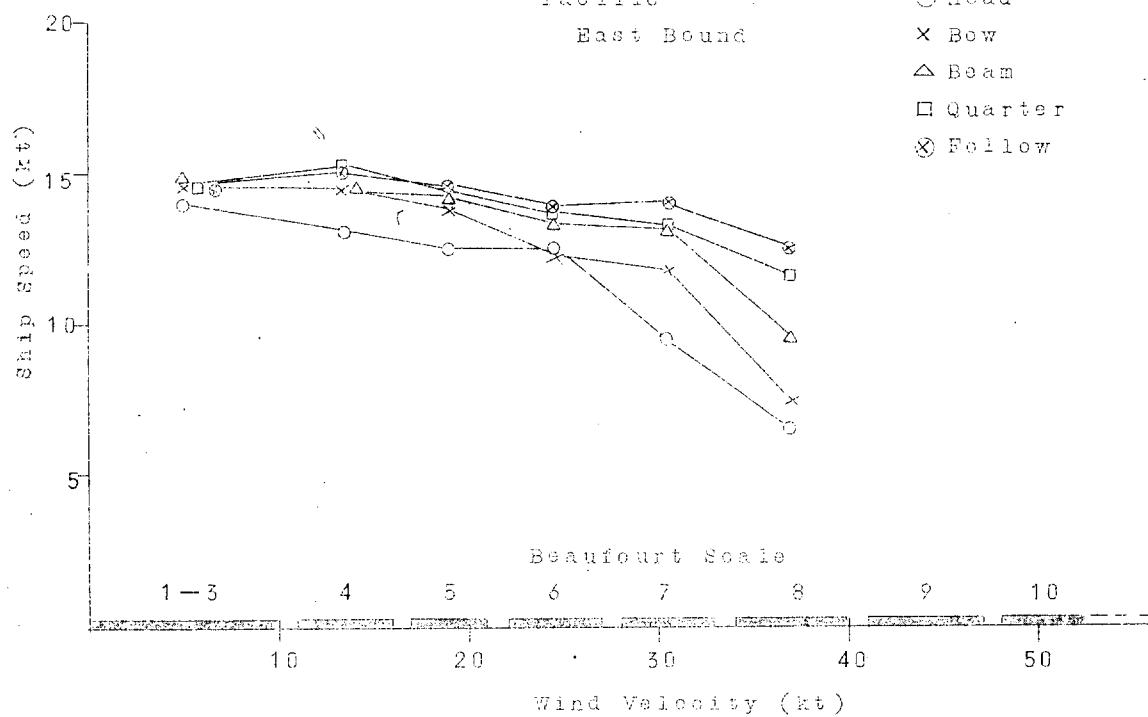


Fig. 5.9--(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

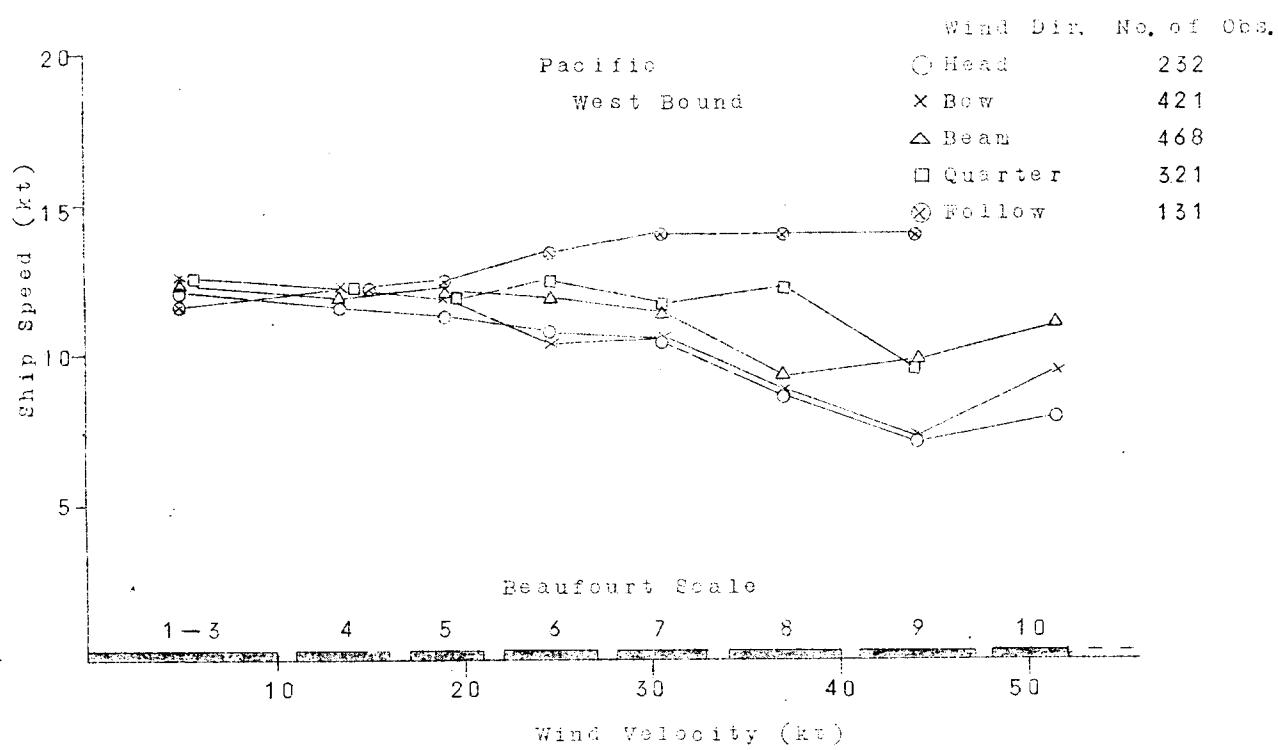
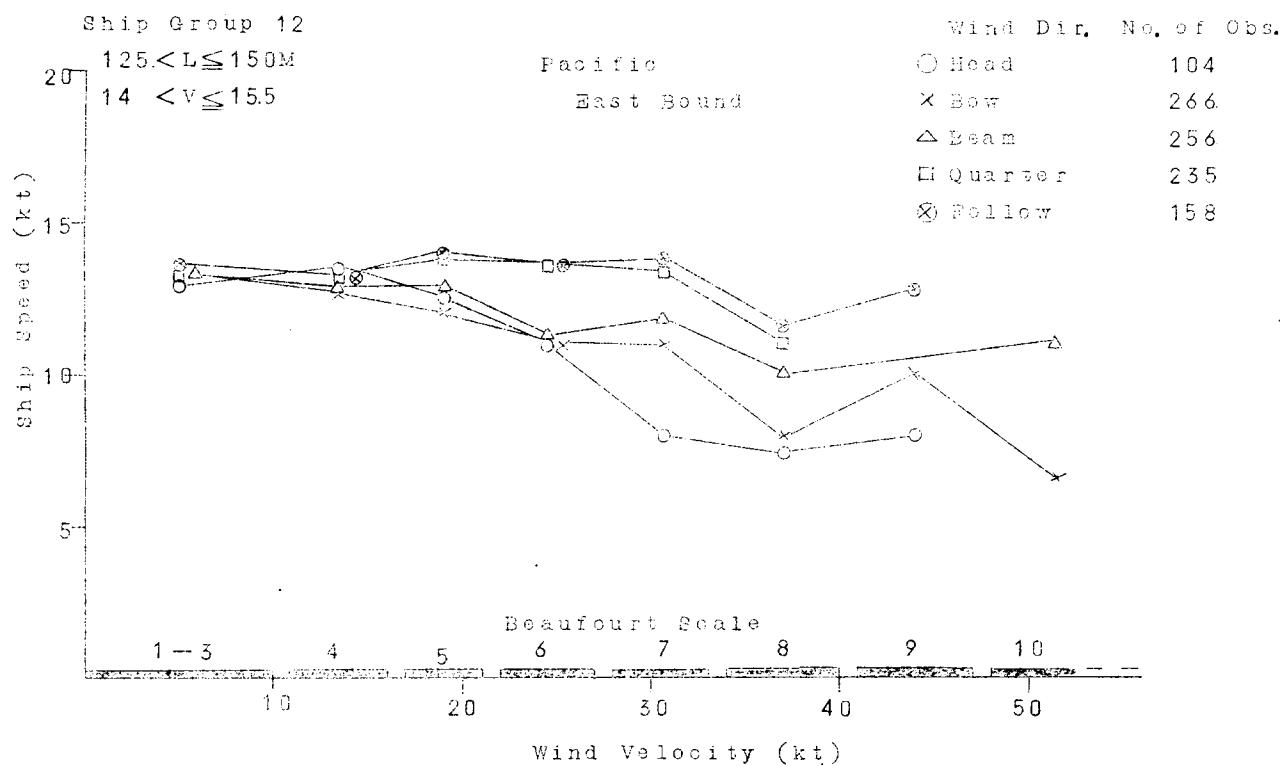
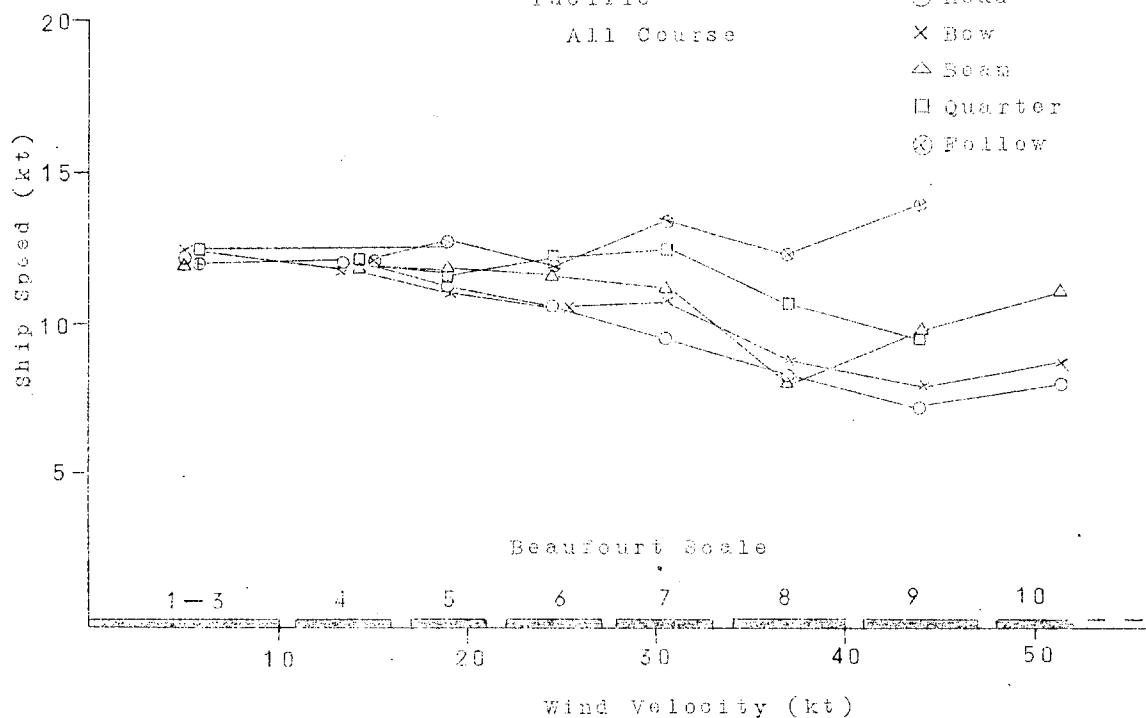


Fig. 5.10-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 12

	Wind Dir.	No. of Obs.
Pacific	○ Head	3 7 9
All Course	× Bow	7 6 4
	△ Beam	8 2 1
	□ Quarter	6 1 8
	⊗ Follow	3 5 0



	Wind Dir.	No. of Obs.
South Course	○ Head	4 8 4
East Bound	× Bow	4 8 3
	△ Beam	1 7 4
	□ Quarter	2 2 4
	⊗ Follow	1 6 9

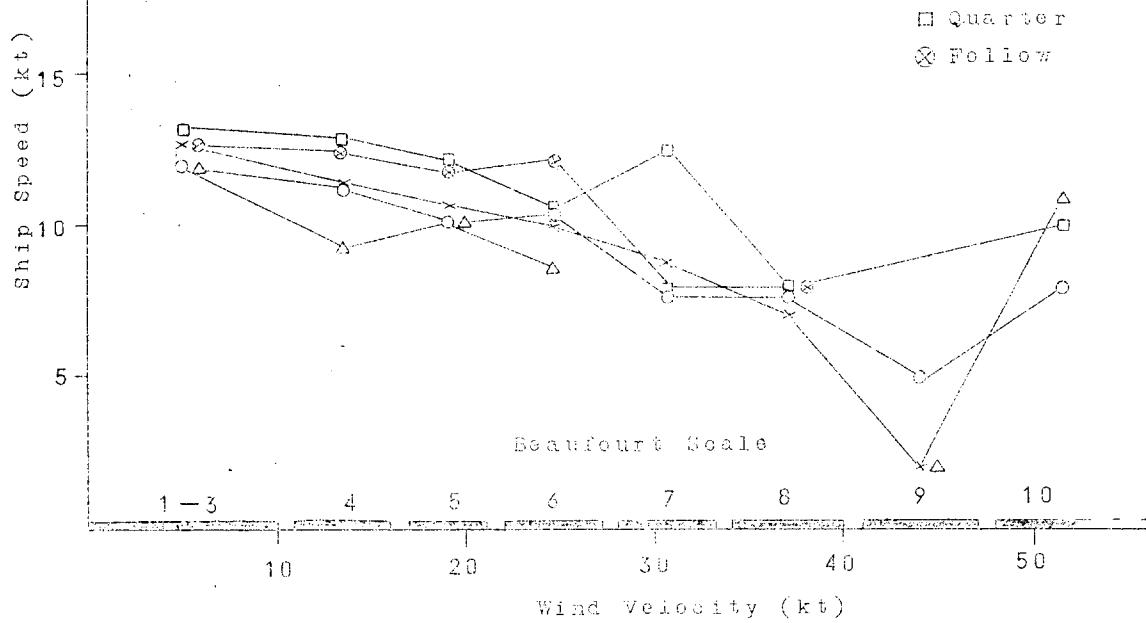


Fig. 5.10-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

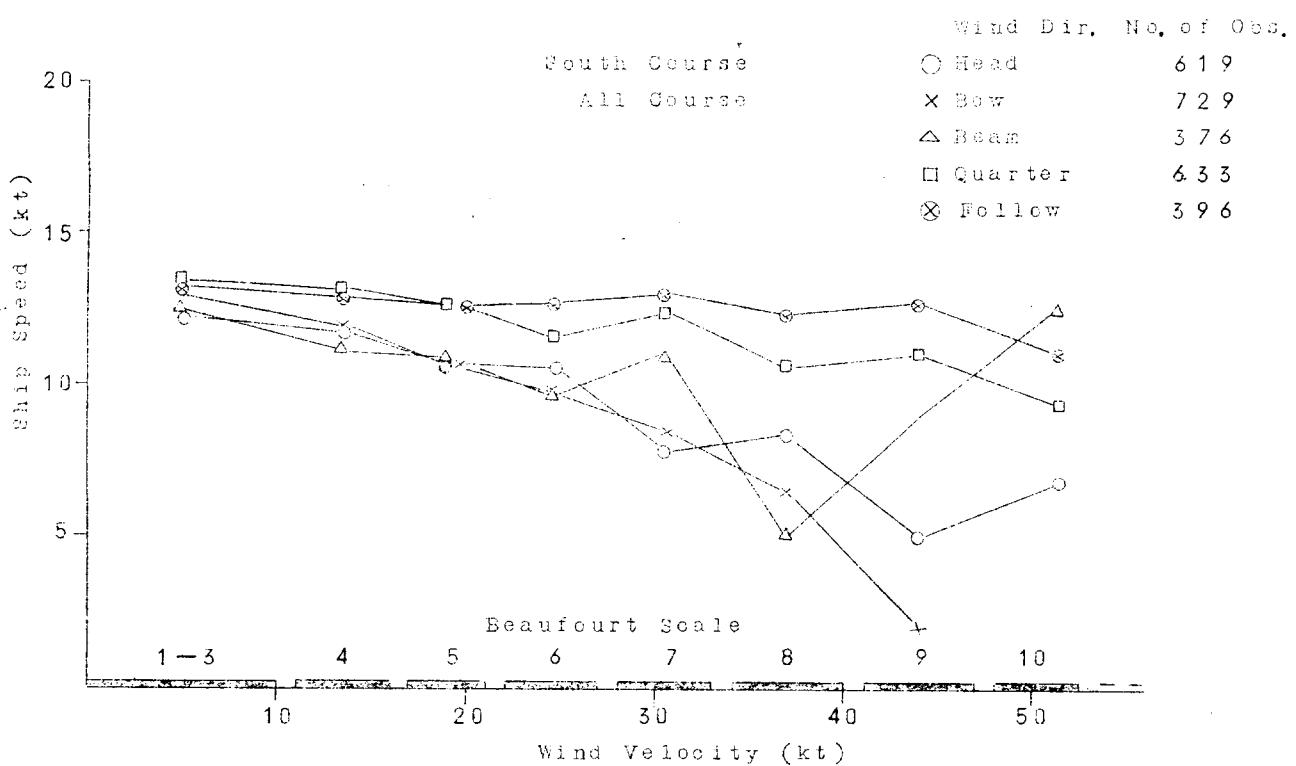
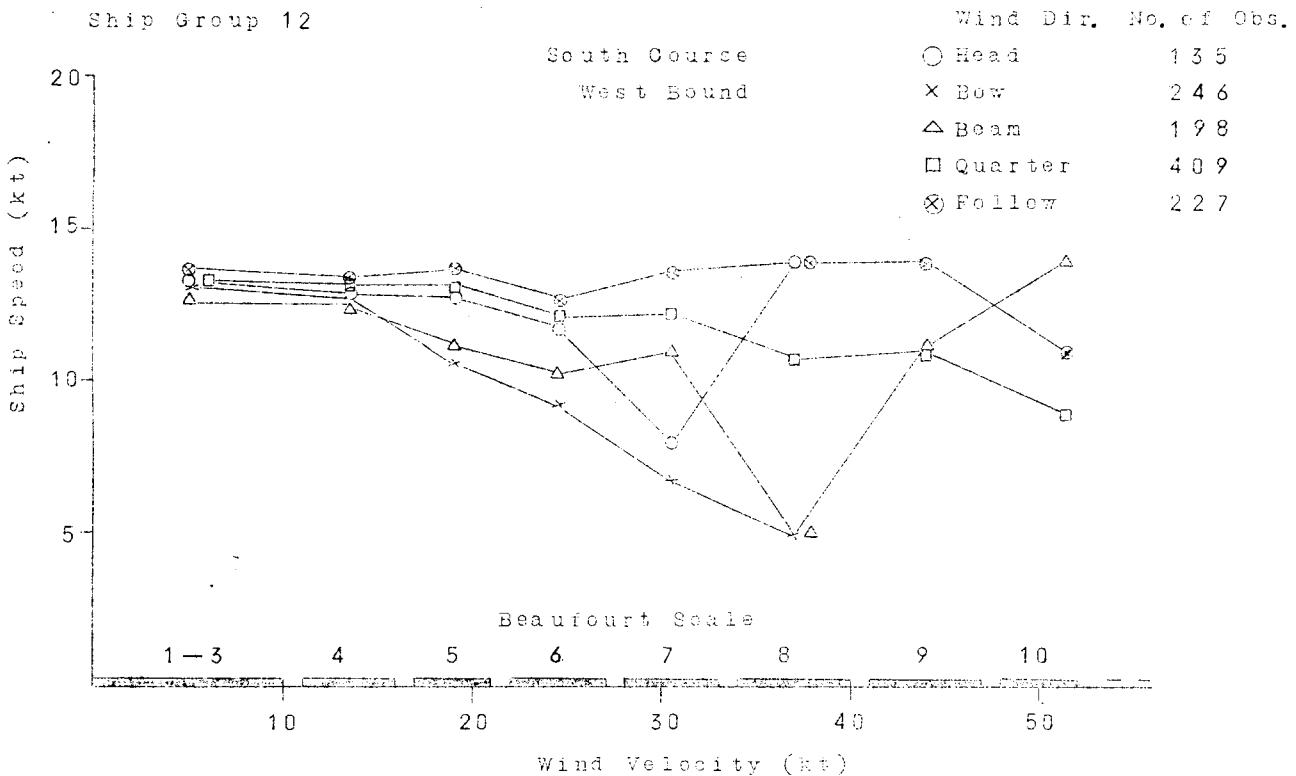


Fig. 5.10-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 13

$125 < L \leq 150\text{m}$

$15.5 < V \leq 17$

20

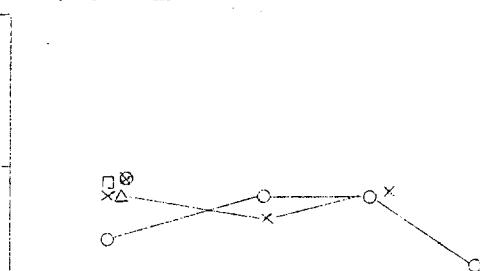
Ship Speed (kt)

Pacific

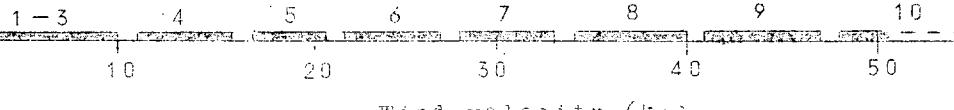
West Bound

Wind Dir. No. of Obs.

○ Head	2 6
× Bow	4 2
△ Beam	1
□ Quarter	3
⊗ Follow	1



Beaufort Scale



Wind velocity (kt)

20

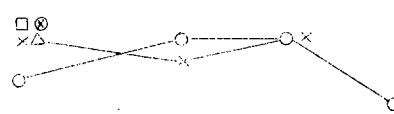
Ship speed (kt)

Pacific

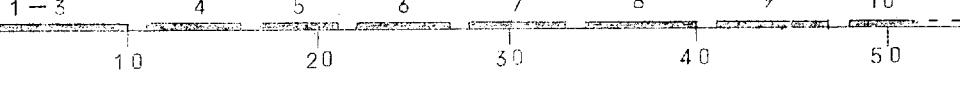
All Course

Wind Dir. No. of Obs.

○ Head	2 6
× Bow	4 2
△ Beam	1
□ Quarter	3
⊗ Follow	1



Beaufort Scale



Wind Velocity (kt)

Fig. 5.11-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

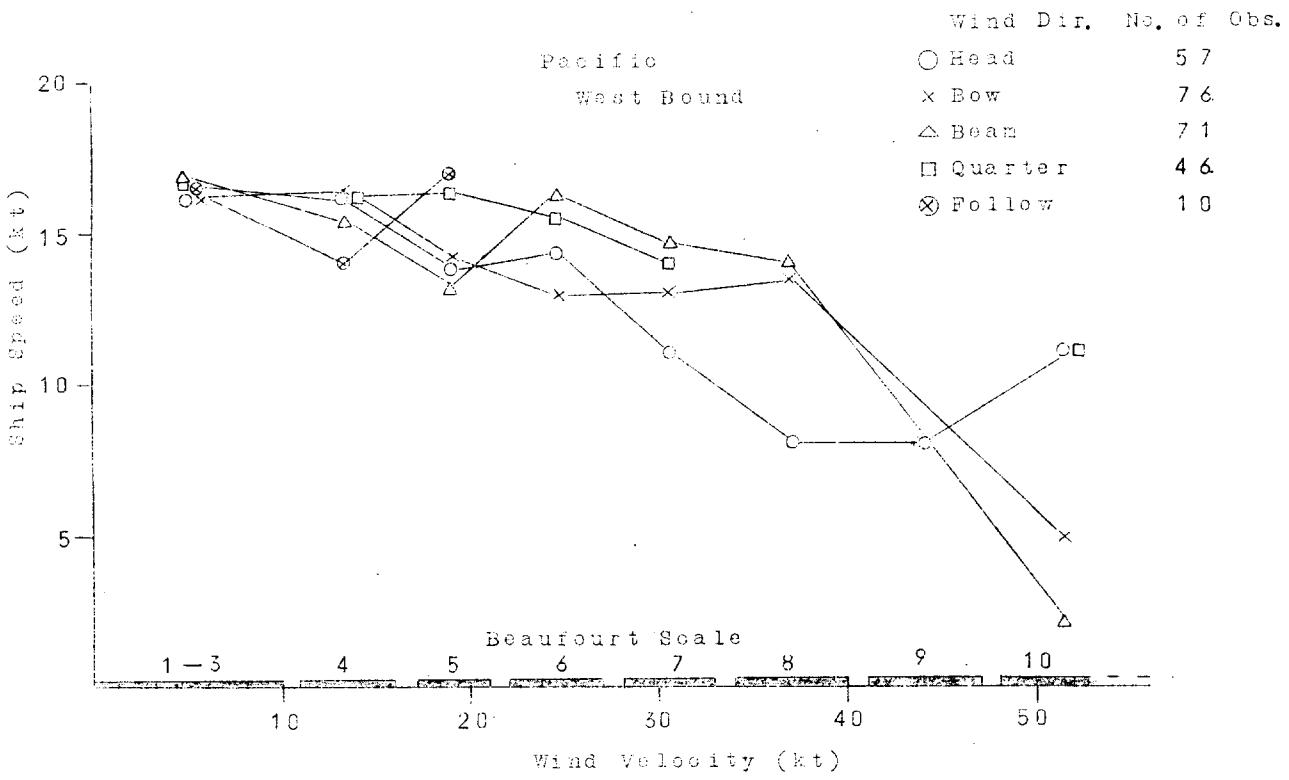
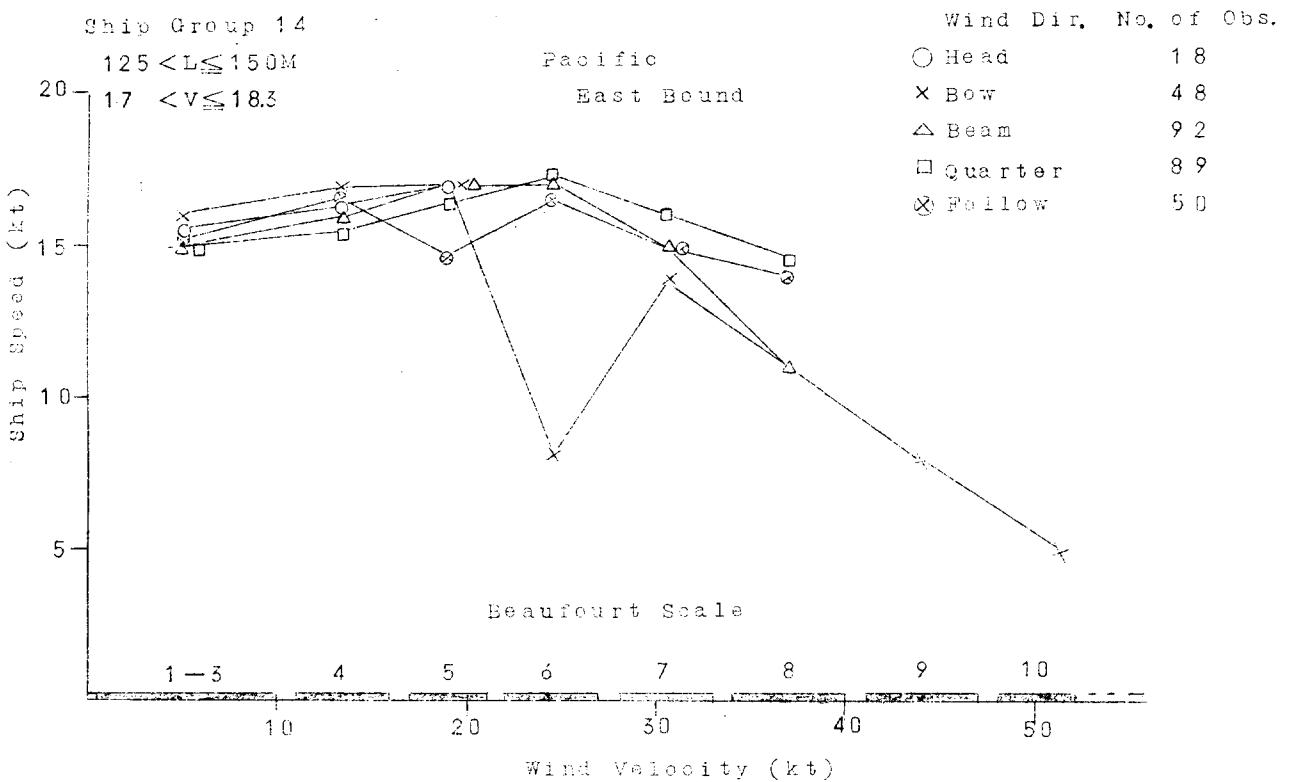


Fig. 5.12-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

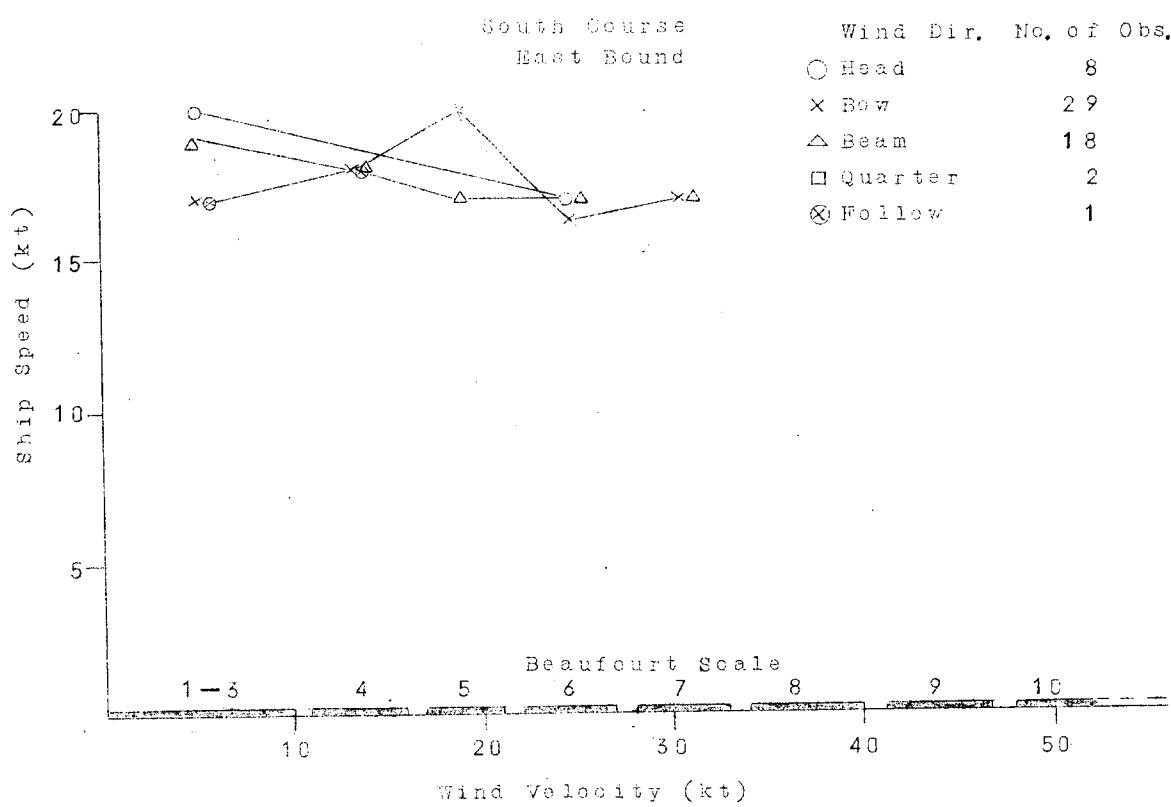
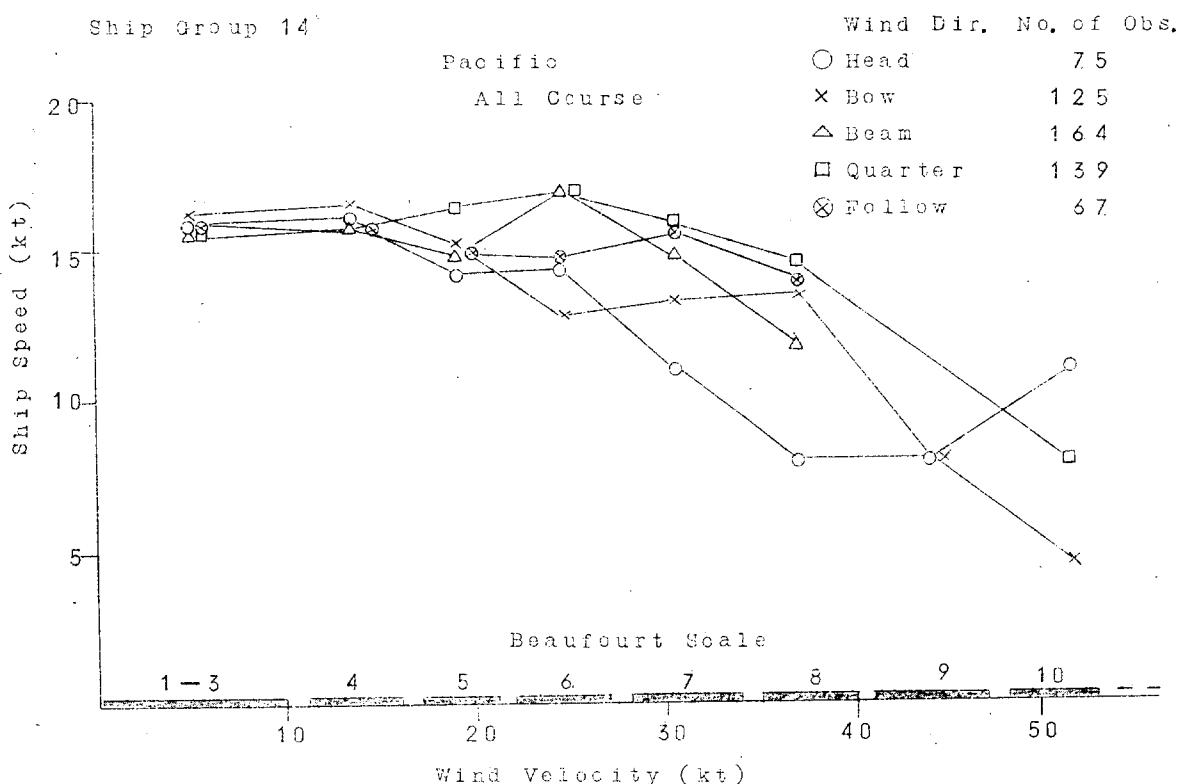
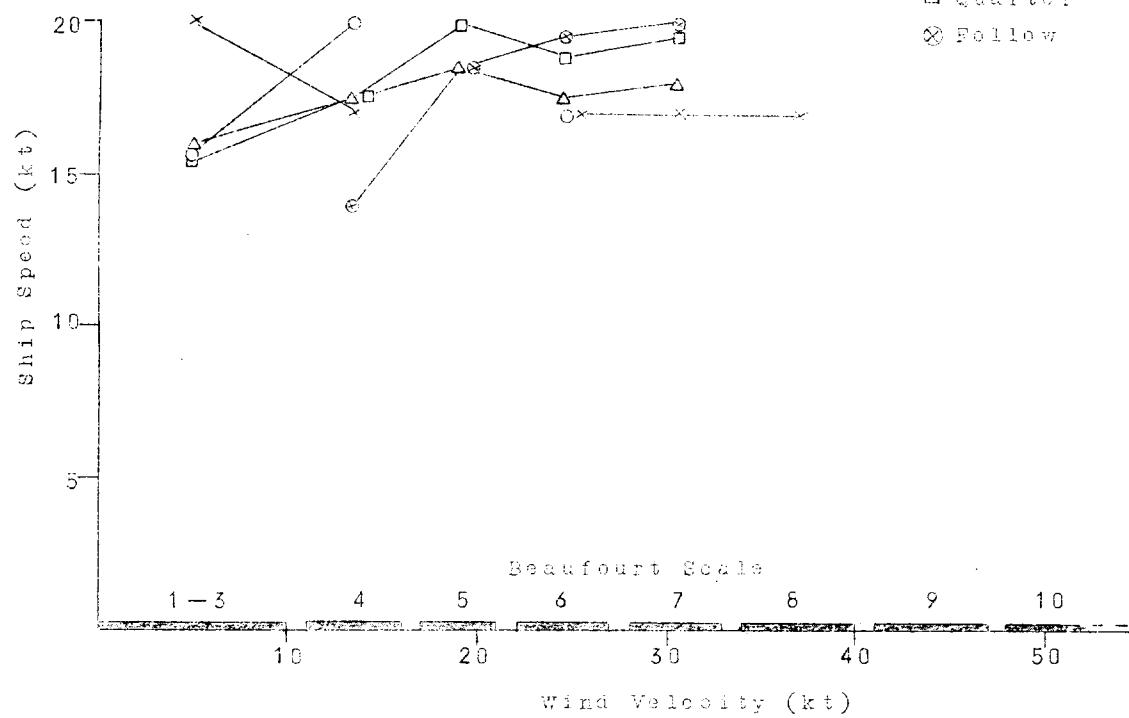


Fig. 5.12-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 14

South Course
West Bound

Wind Dir.	No. of Obs.
Head	5
Bow	12
Beam	25
Quarter	27
Follow	15



South Course All Course

Wind Dir.	No. of Obs.
Head	13
Bow	41
Beam	43
Quarter	29
Follow	16

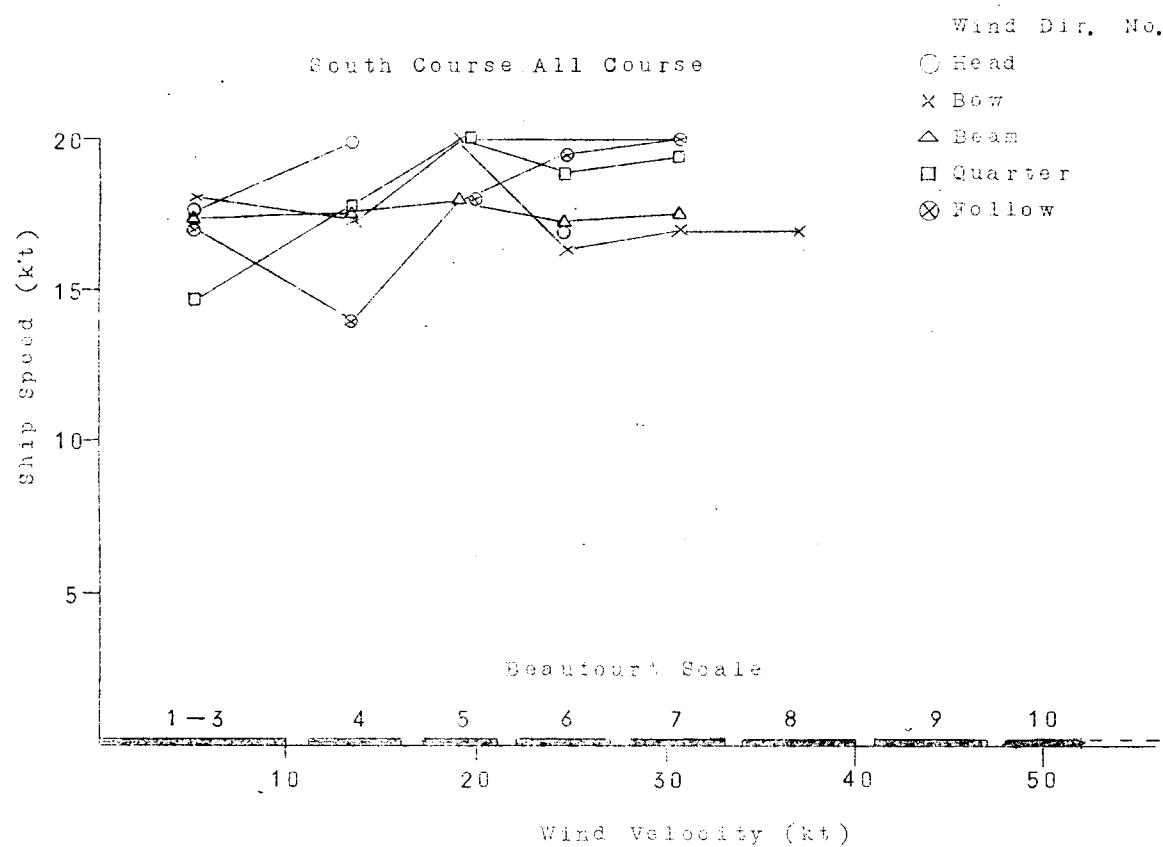


Fig. 512-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

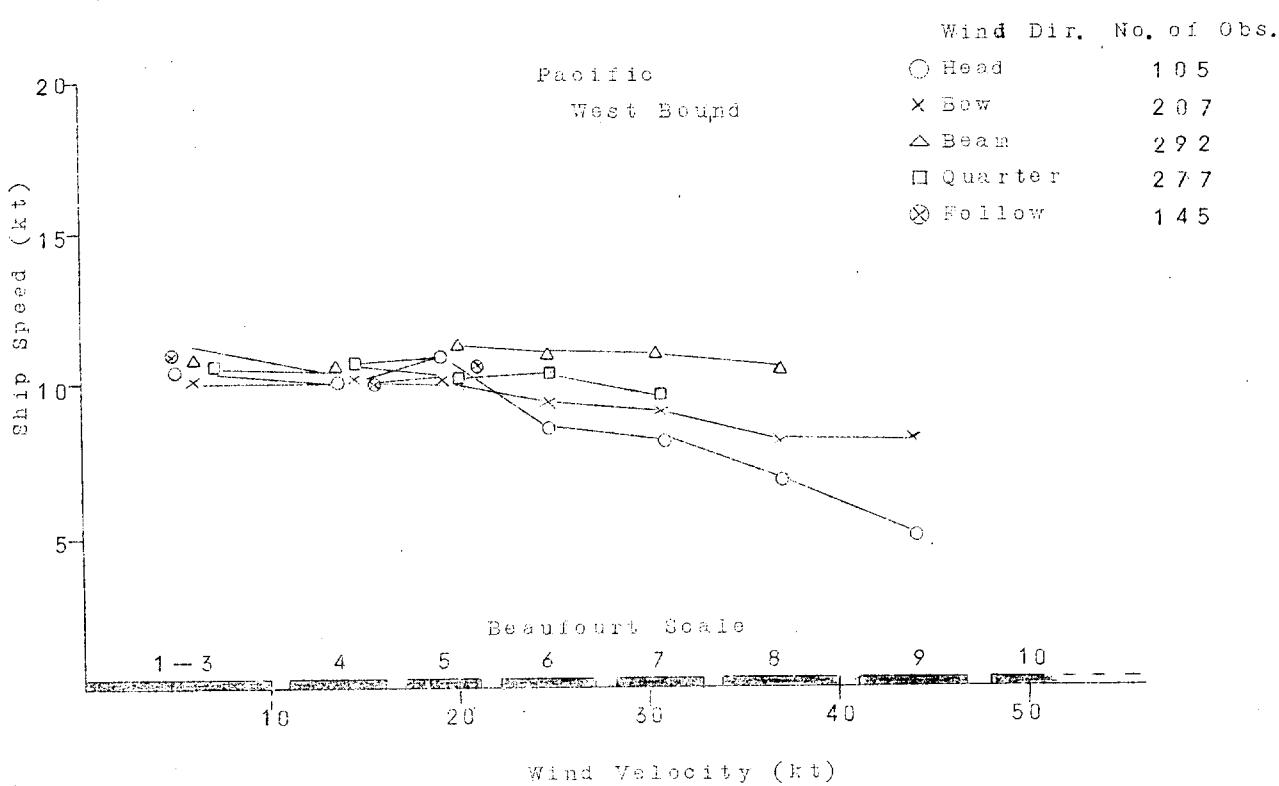
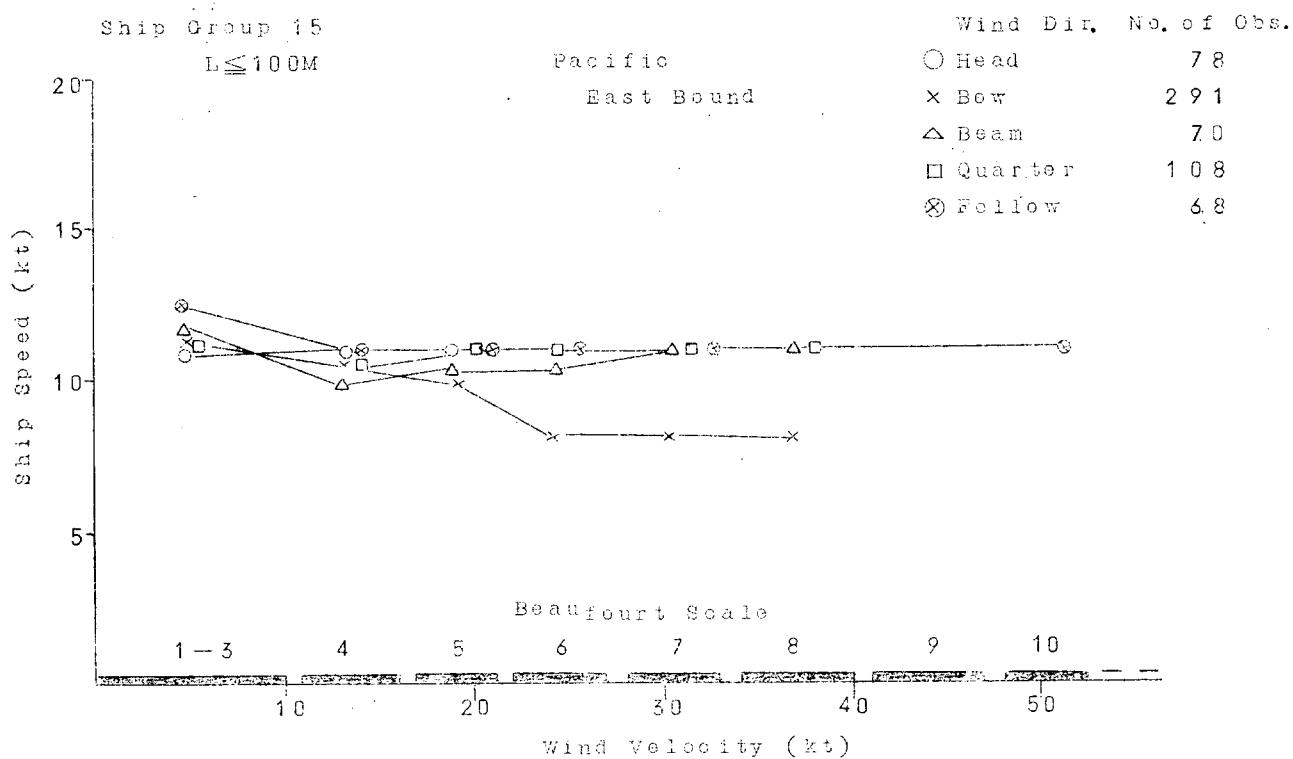


Fig. 5.16--(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

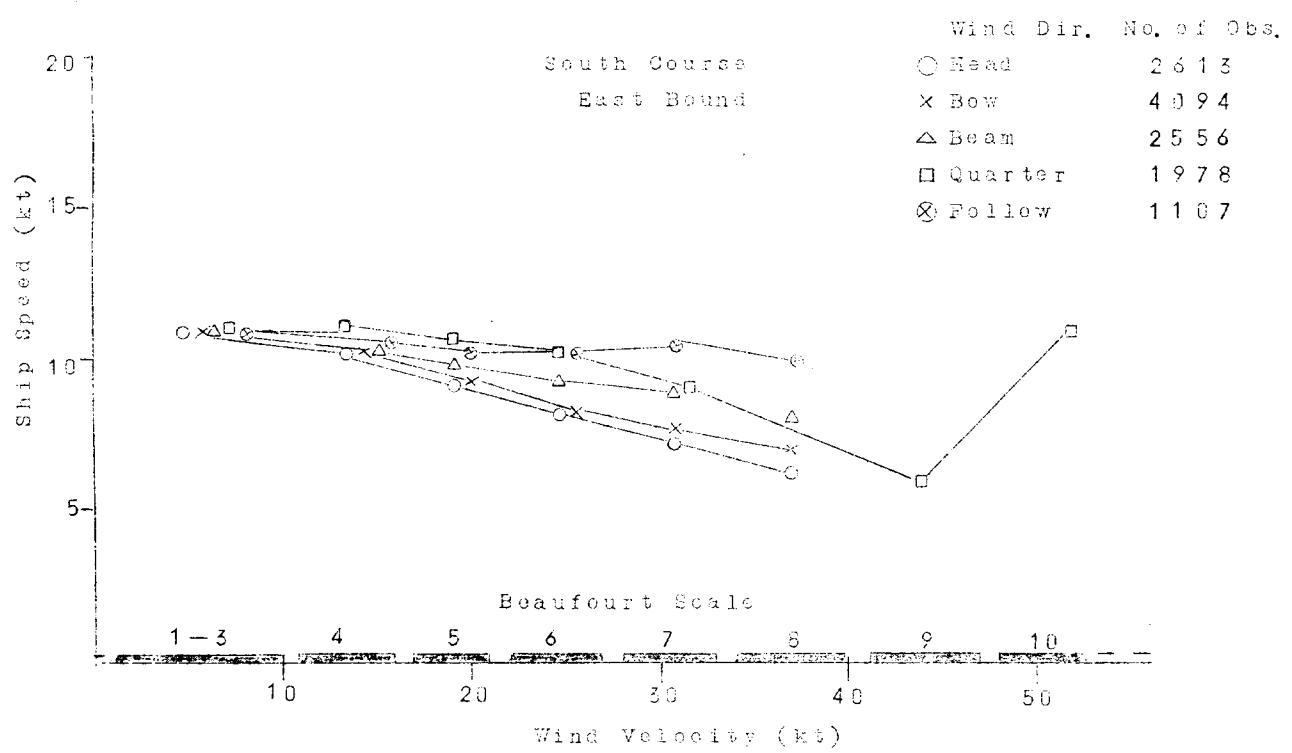
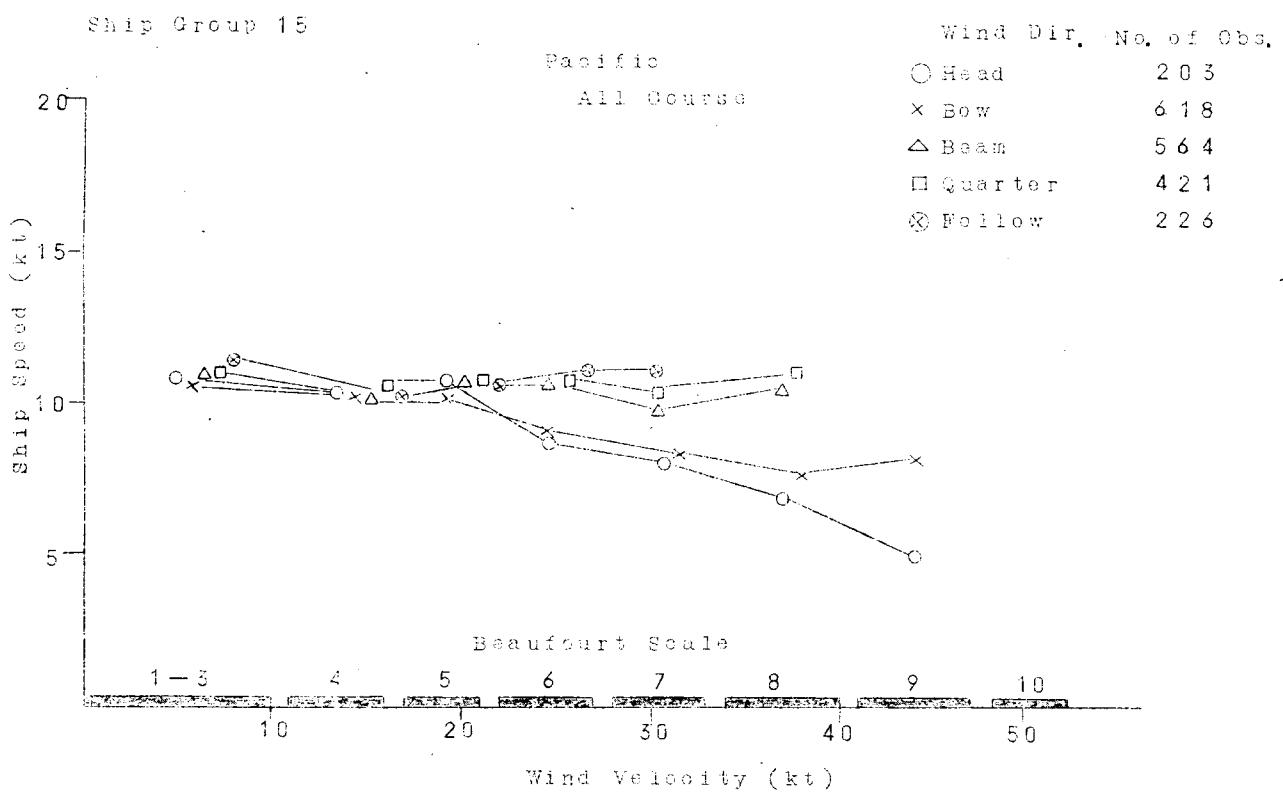


Fig. 5.13-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 15

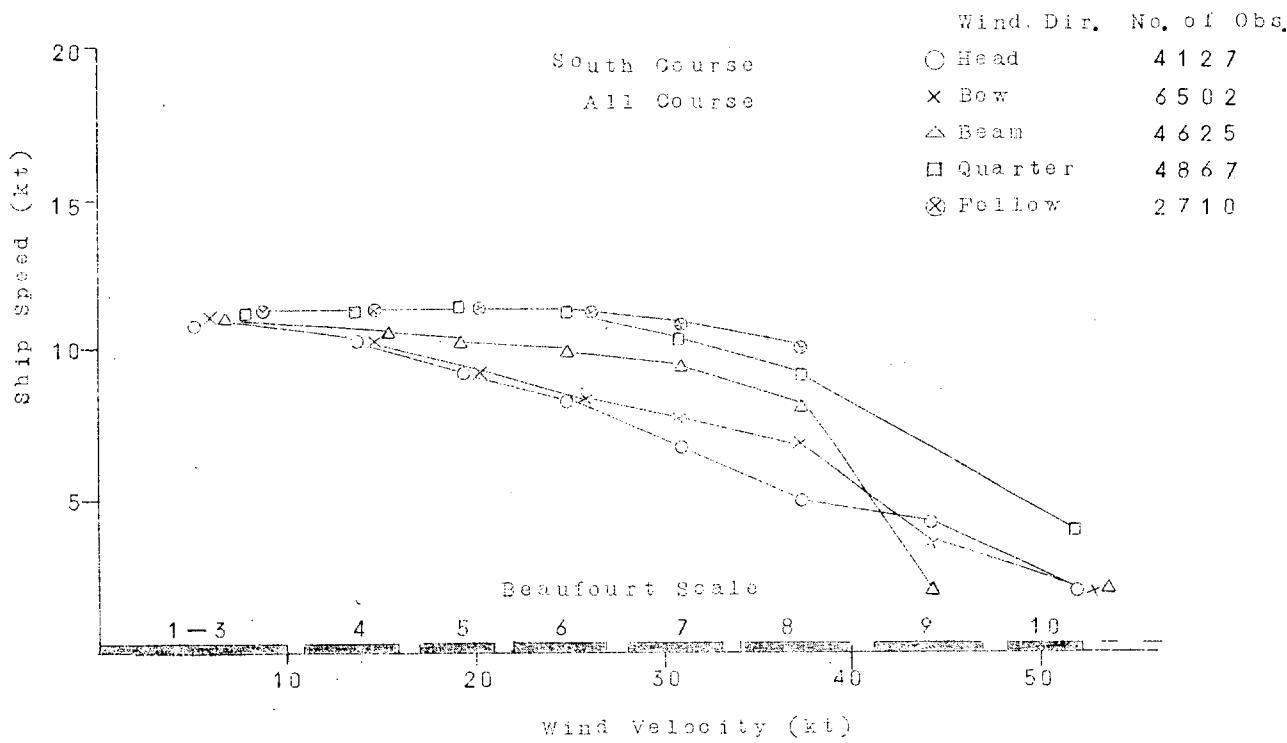
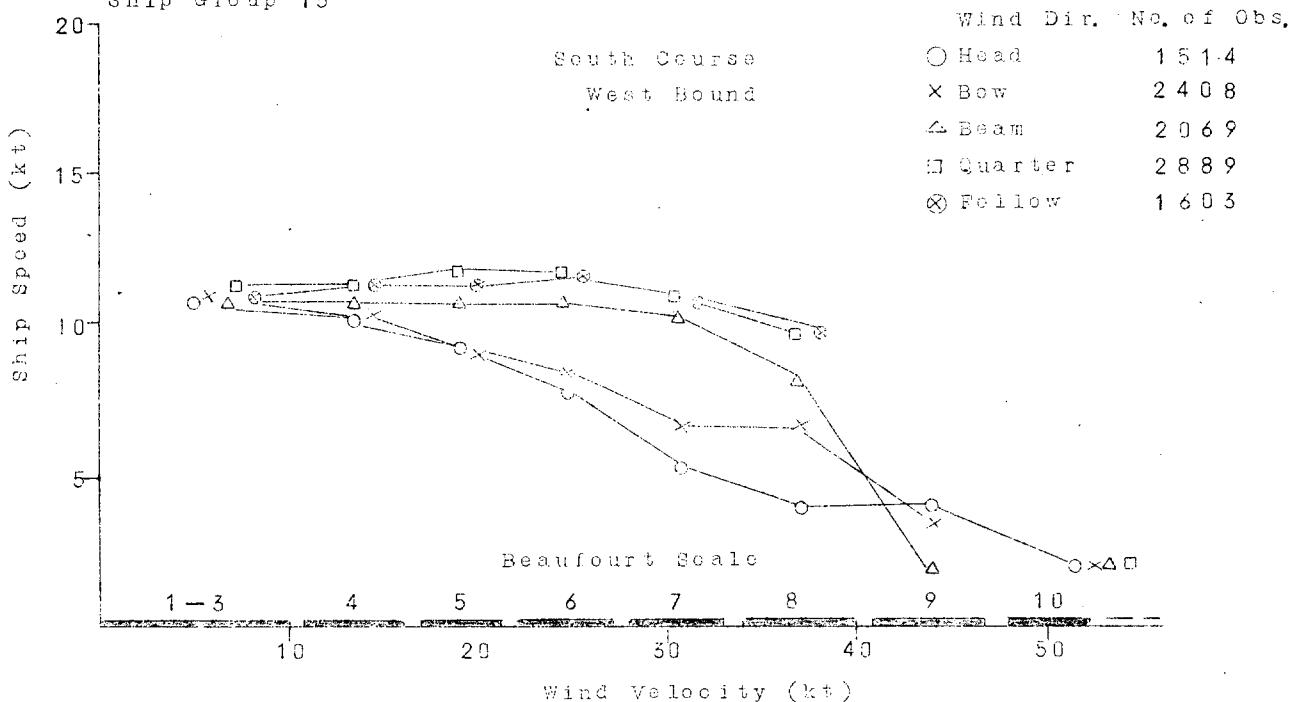


Fig. 5.13-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

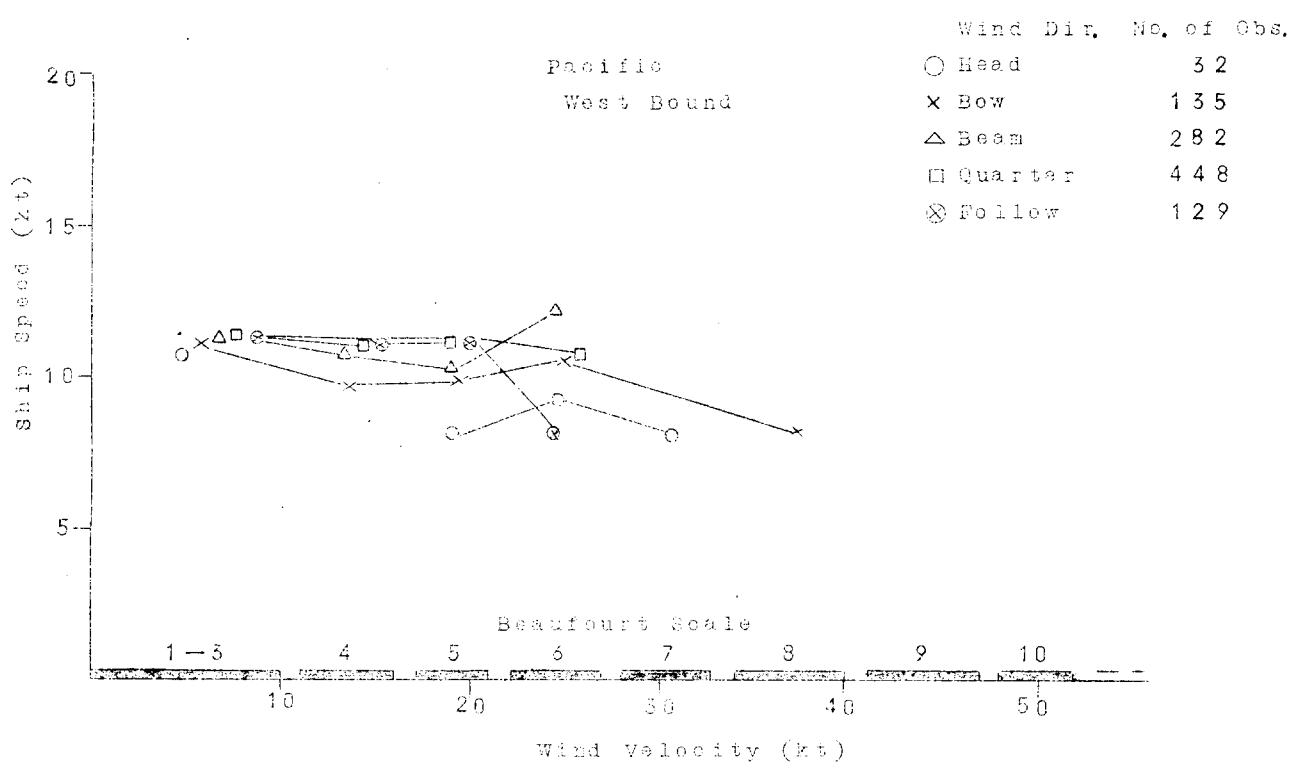
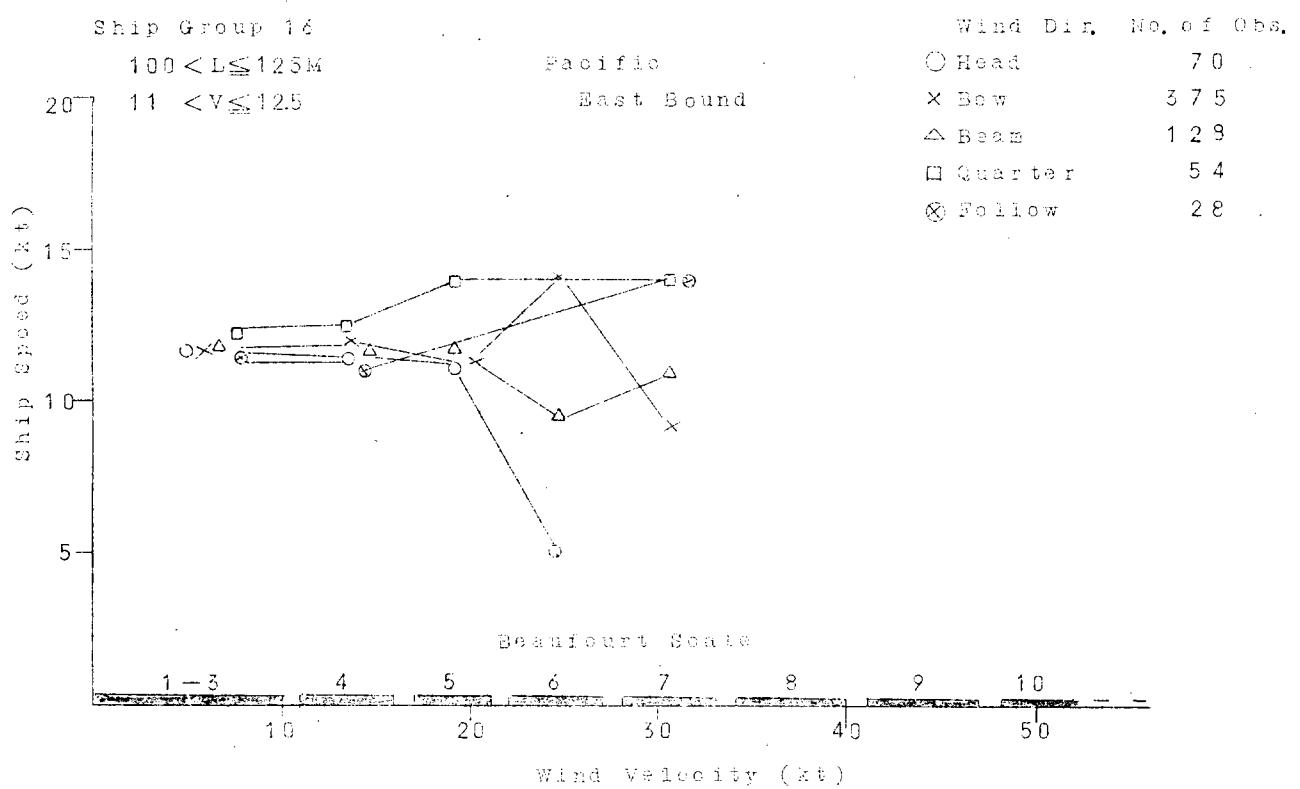


Fig. 5.14-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 16

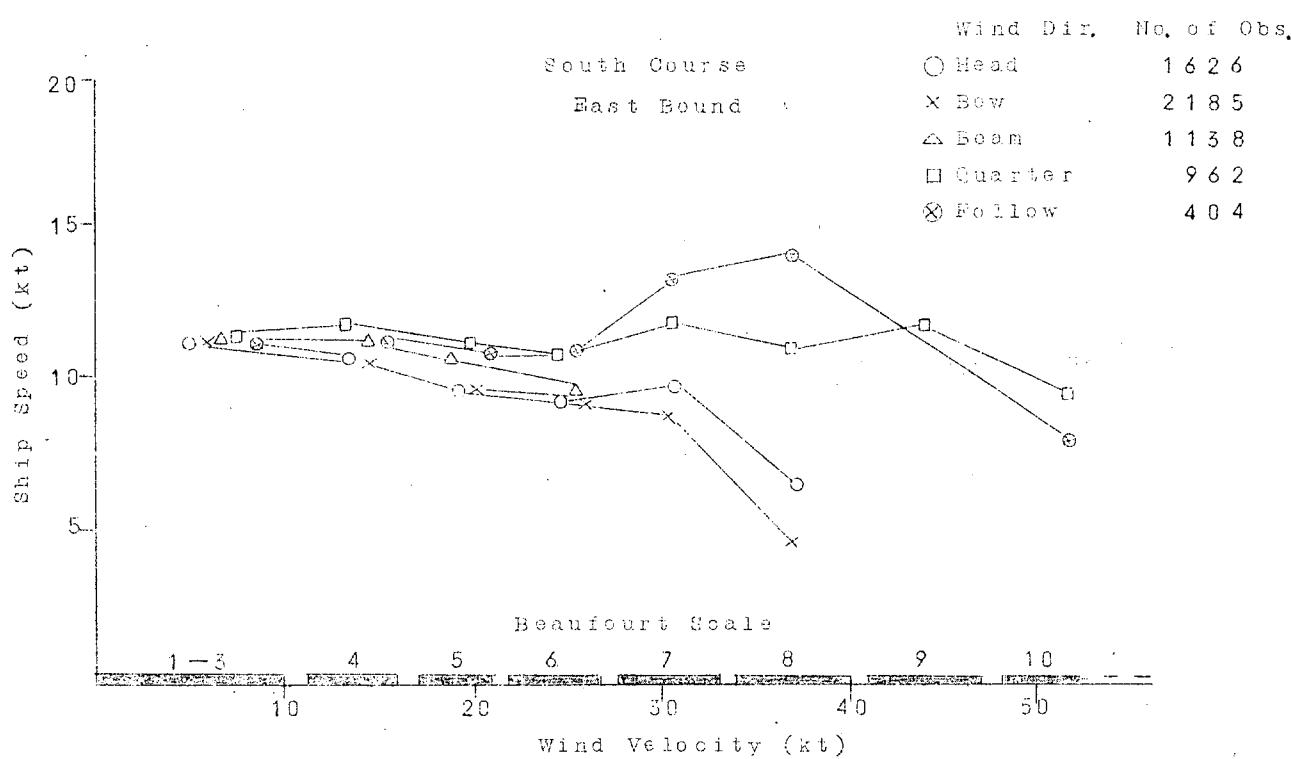
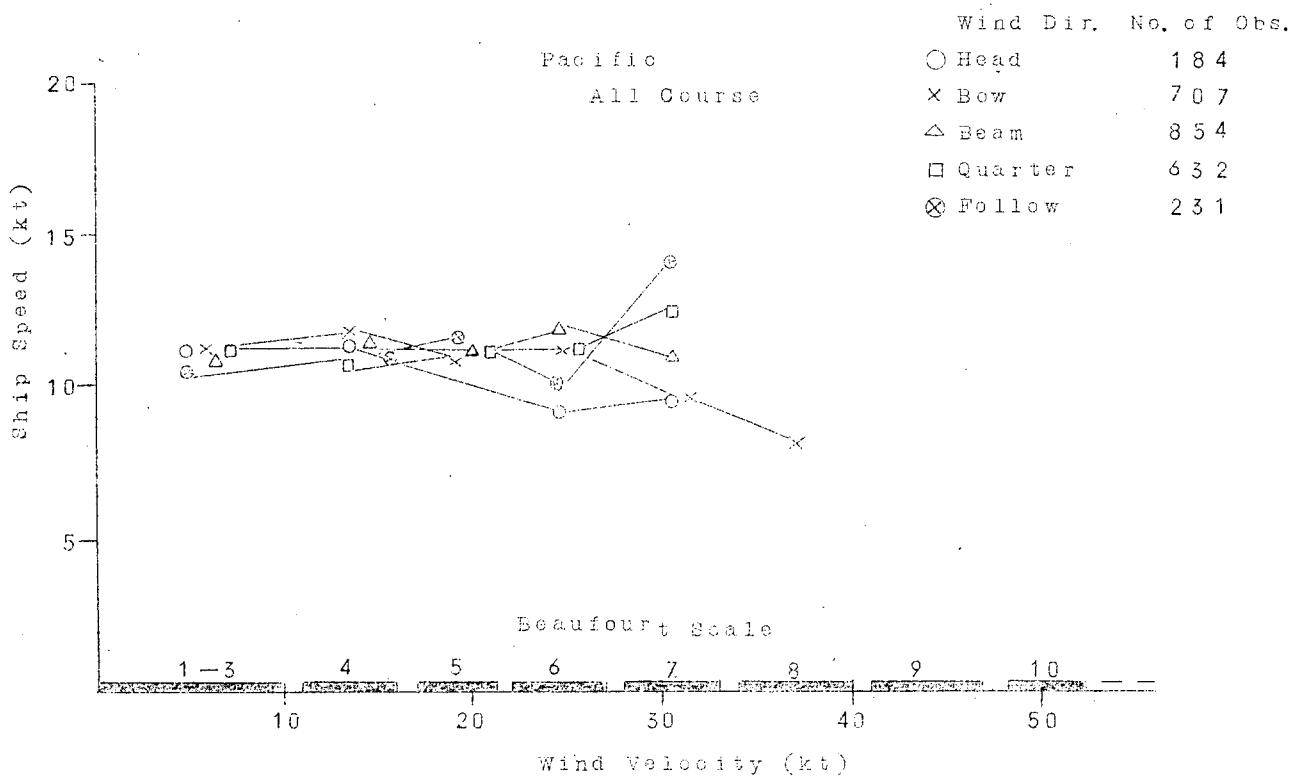
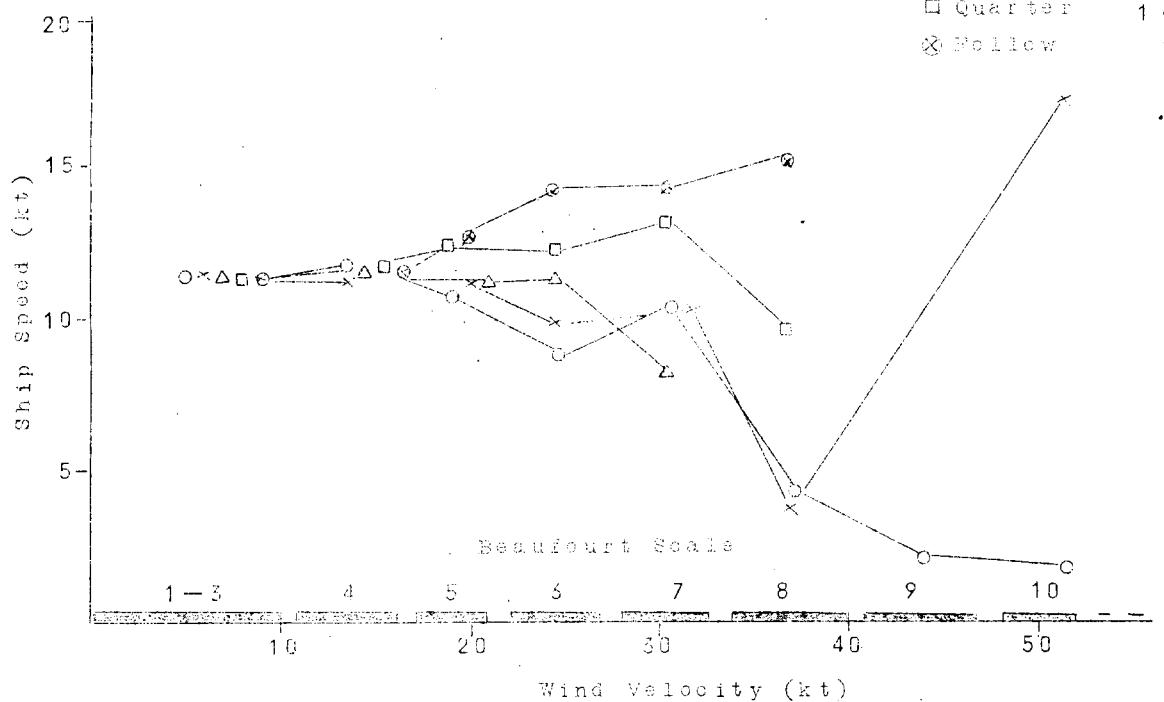


Fig. 5.14-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 16

South Course
West Bound

Wind Dir.	No. of Obs.
○ Head	634
× Bow	1010
△ Beam	1130
□ Quarter	1671
⊗ Follow	936



Course Course
All Course

Wind Dir.	No. of Obs.
○ Head	2260
× Bow	3195
△ Beam	2268
□ Quarter	2653
⊗ Follow	1340

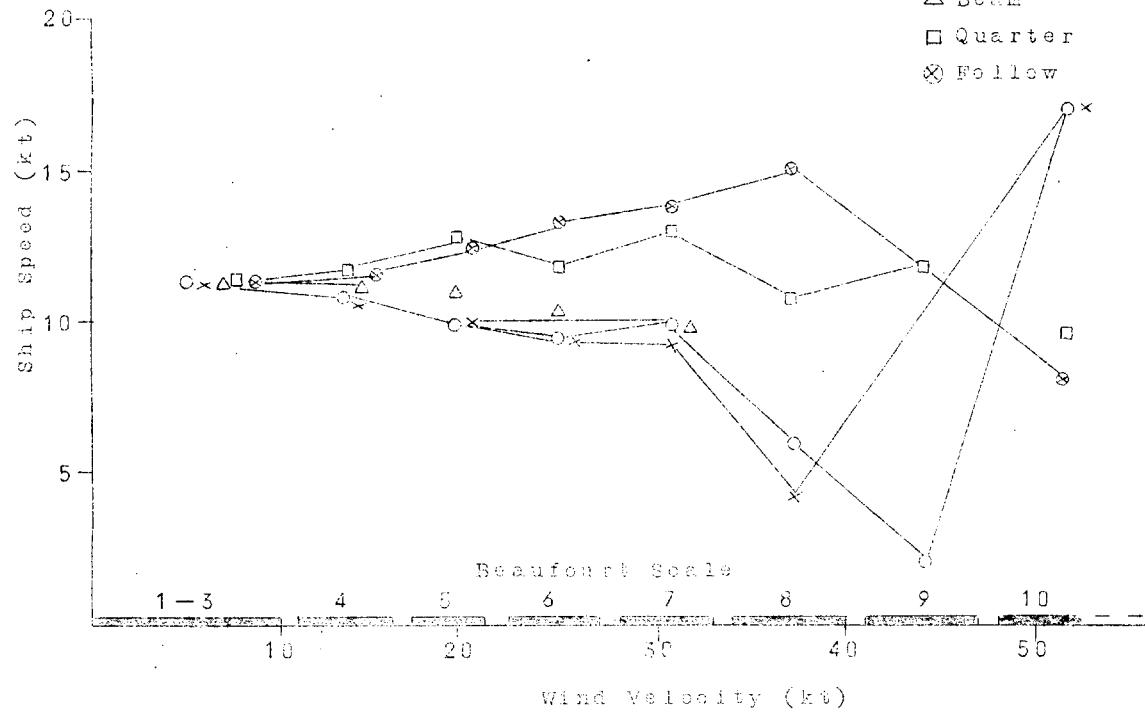


Fig. 5.14-(e) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 17

 $100 < L \leq 125 \text{M}$ $12.5 < V \leq 14$

Pacific

East Bound

Wind Dir. No. of Obs.

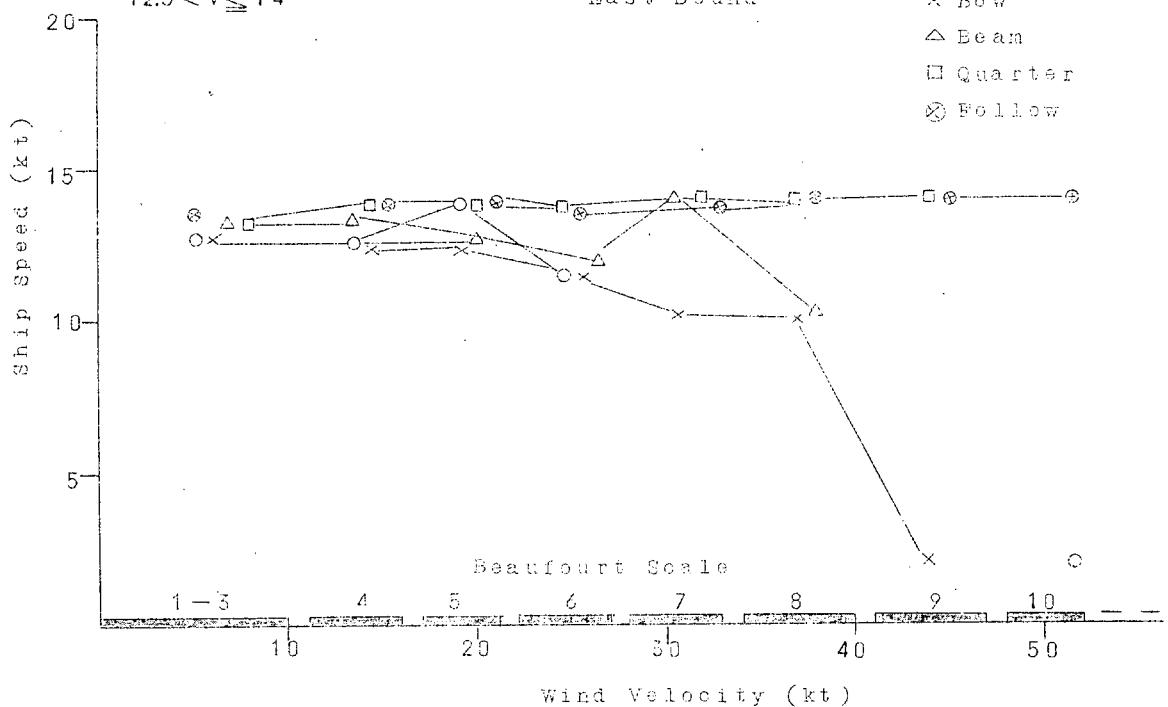
○ Head 140

× Bow 531

△ Beam 300

□ Quarter 245

⊗ Follow 161



Wind Dir. No. of Obs.

○ Head 552

× Bow 572

△ Beam 602

□ Quarter 666

⊗ Follow 223

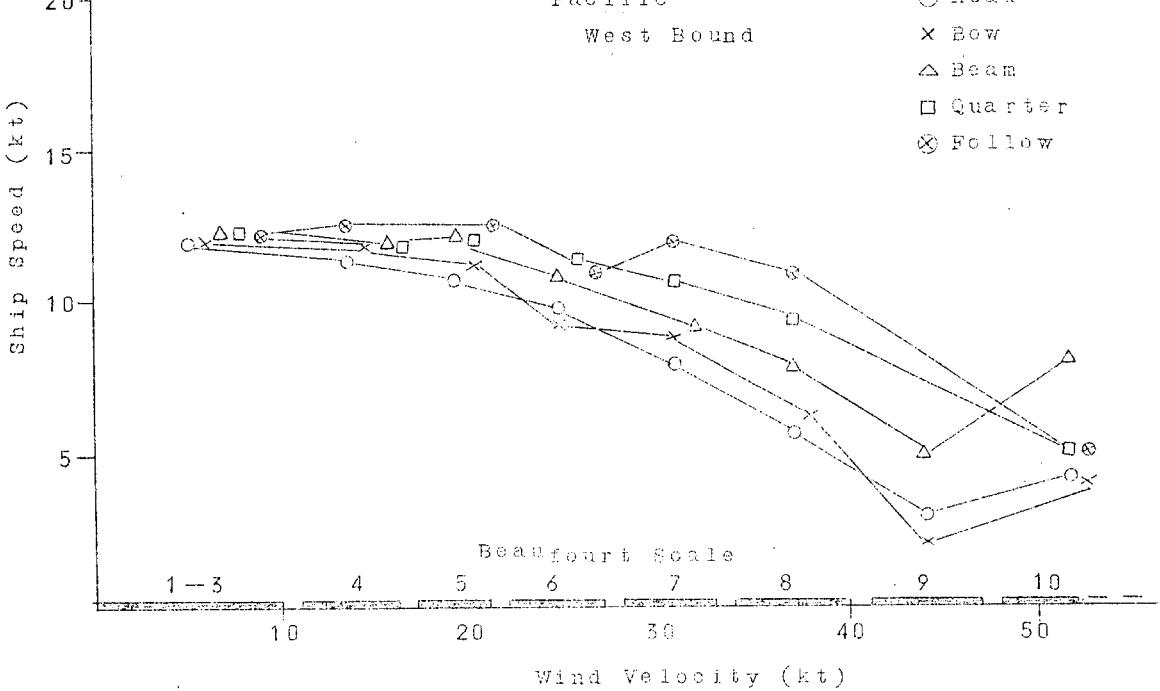


Fig. 5.15-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

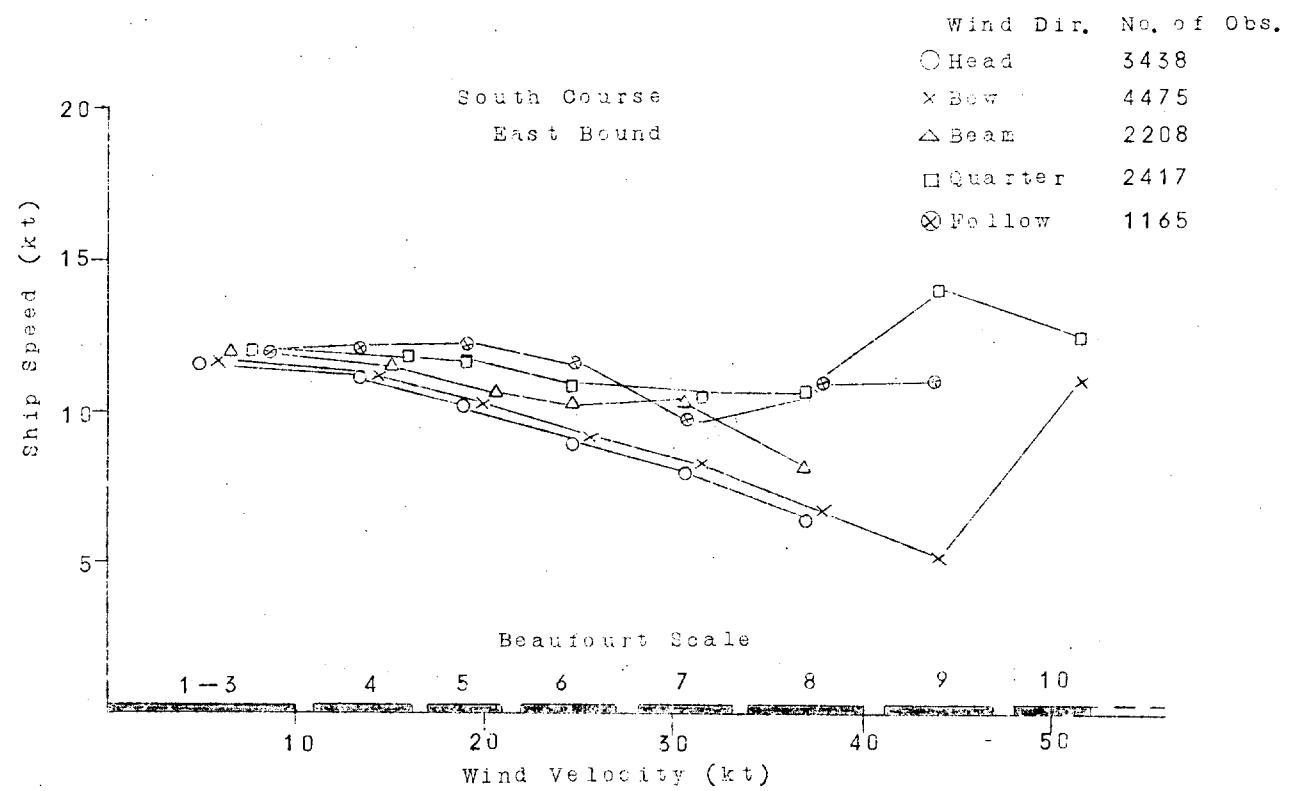
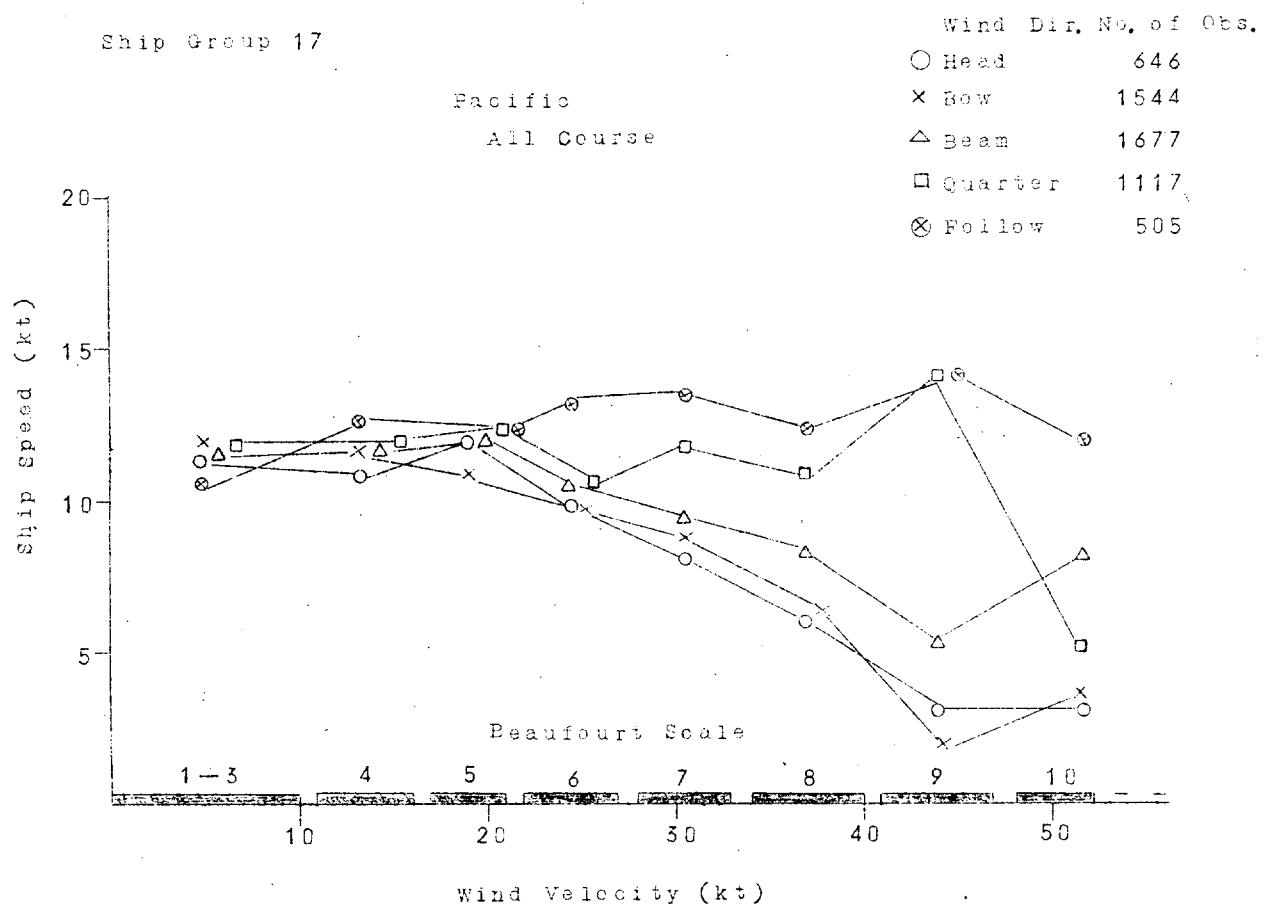


Fig. 5.15-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

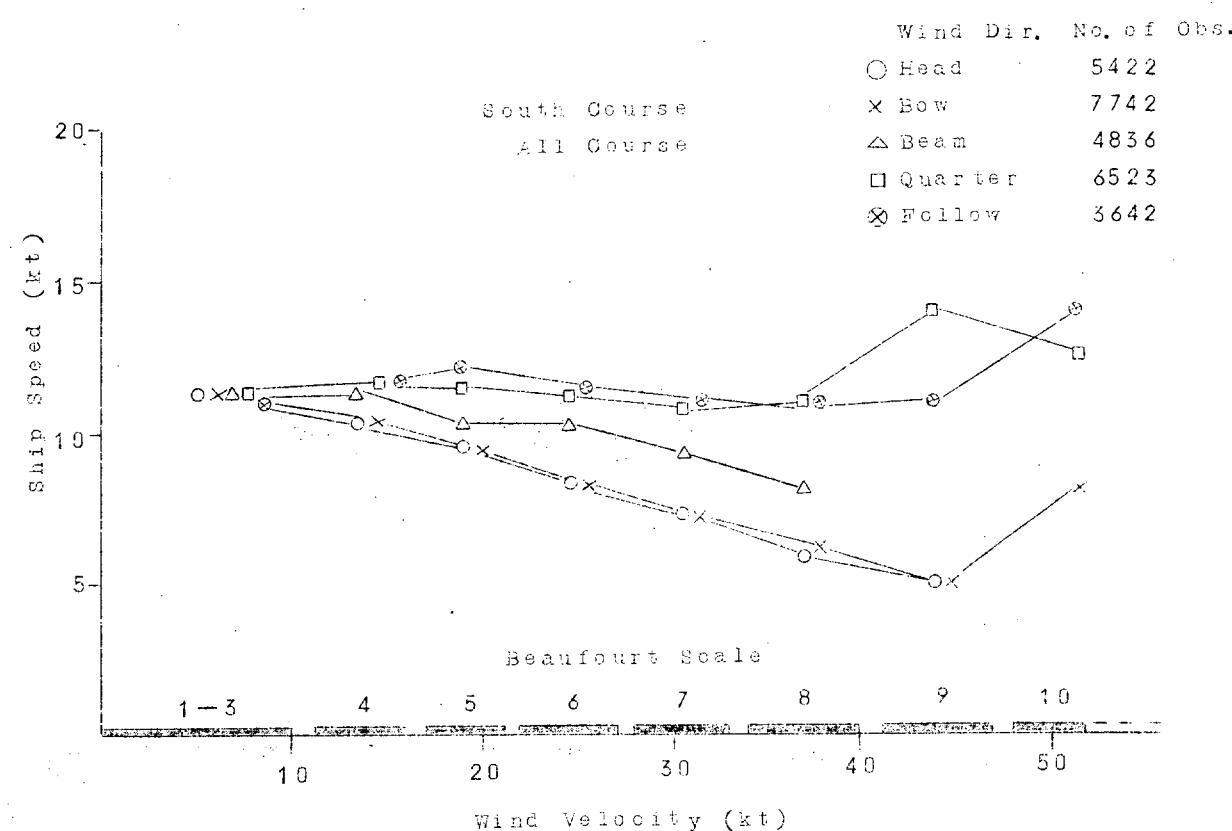
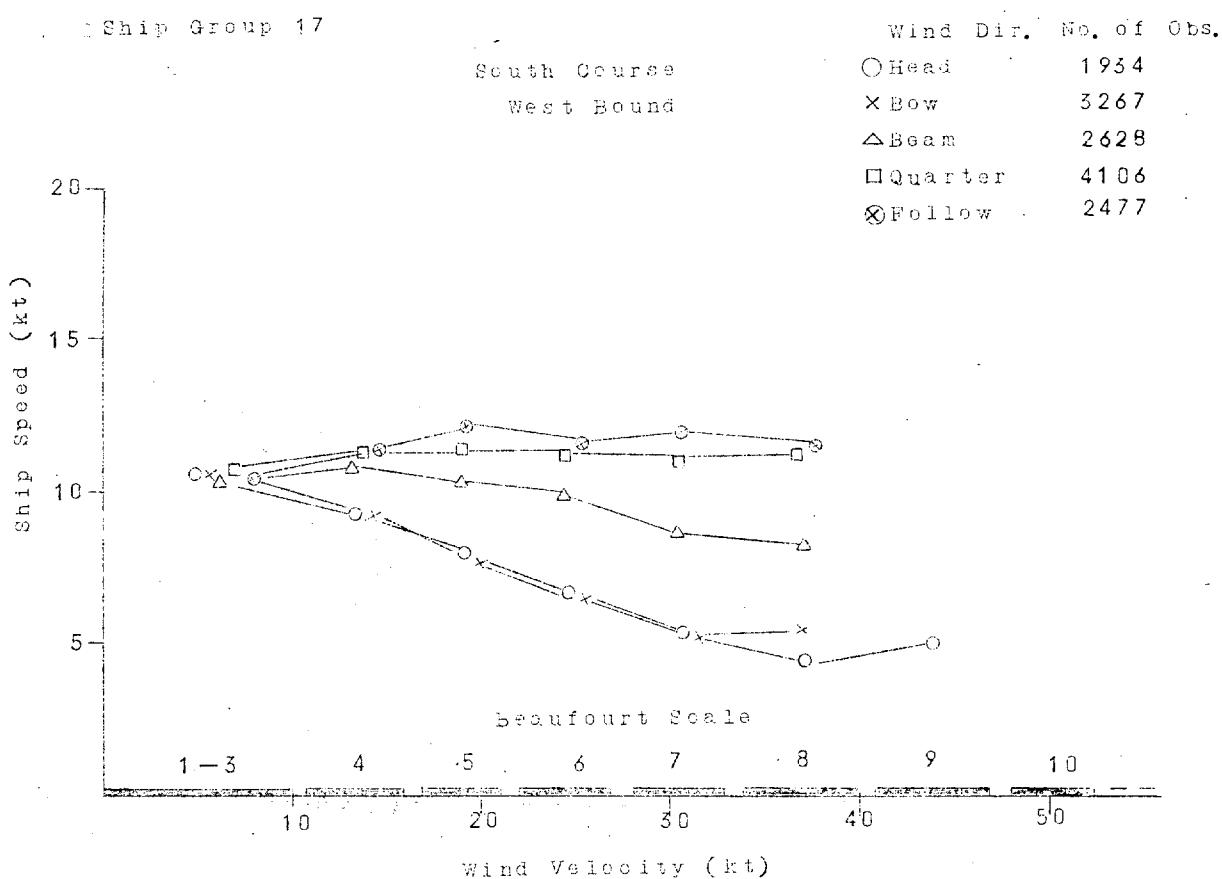


Fig. 5.15-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

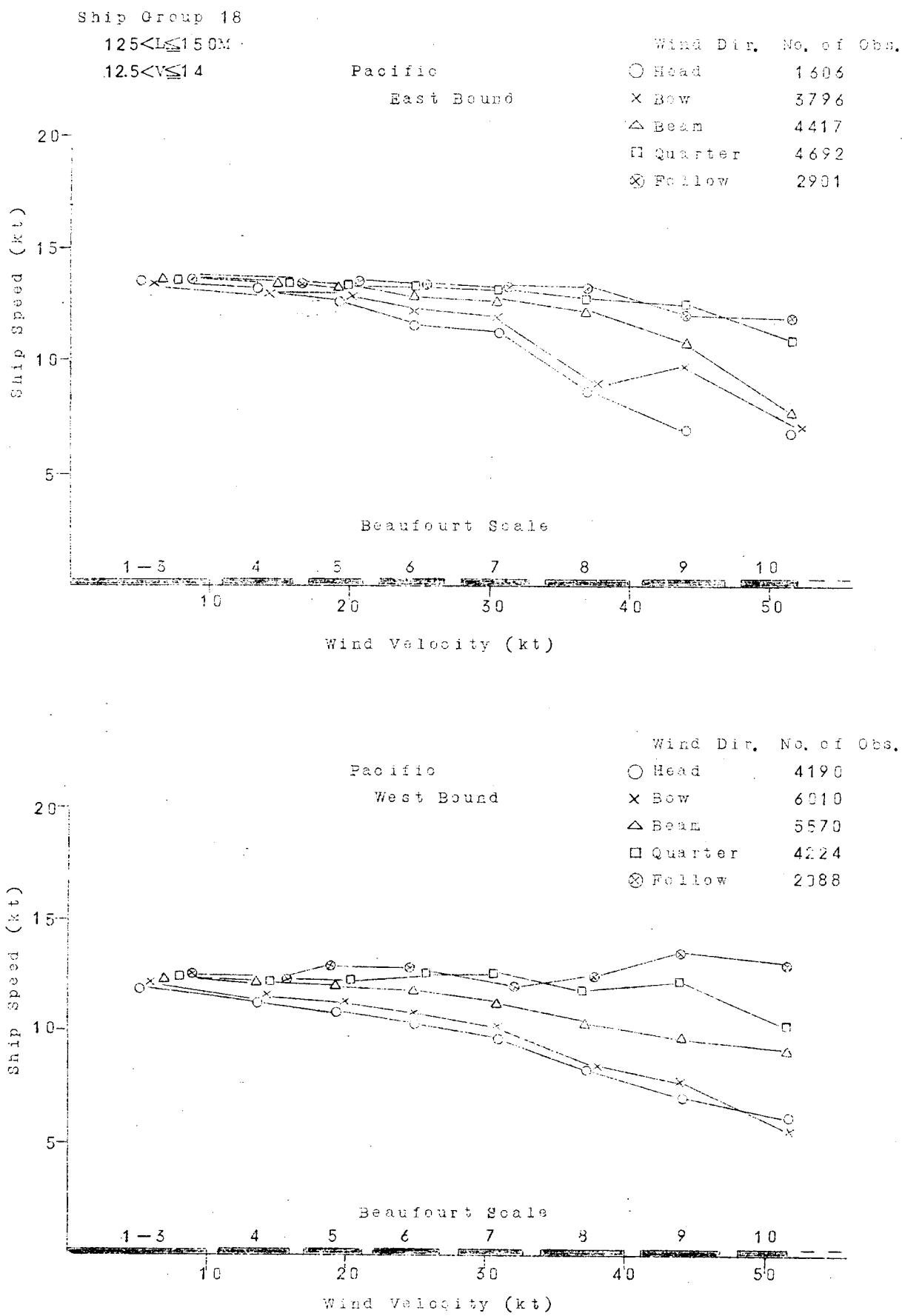


Fig. 5.16-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 18

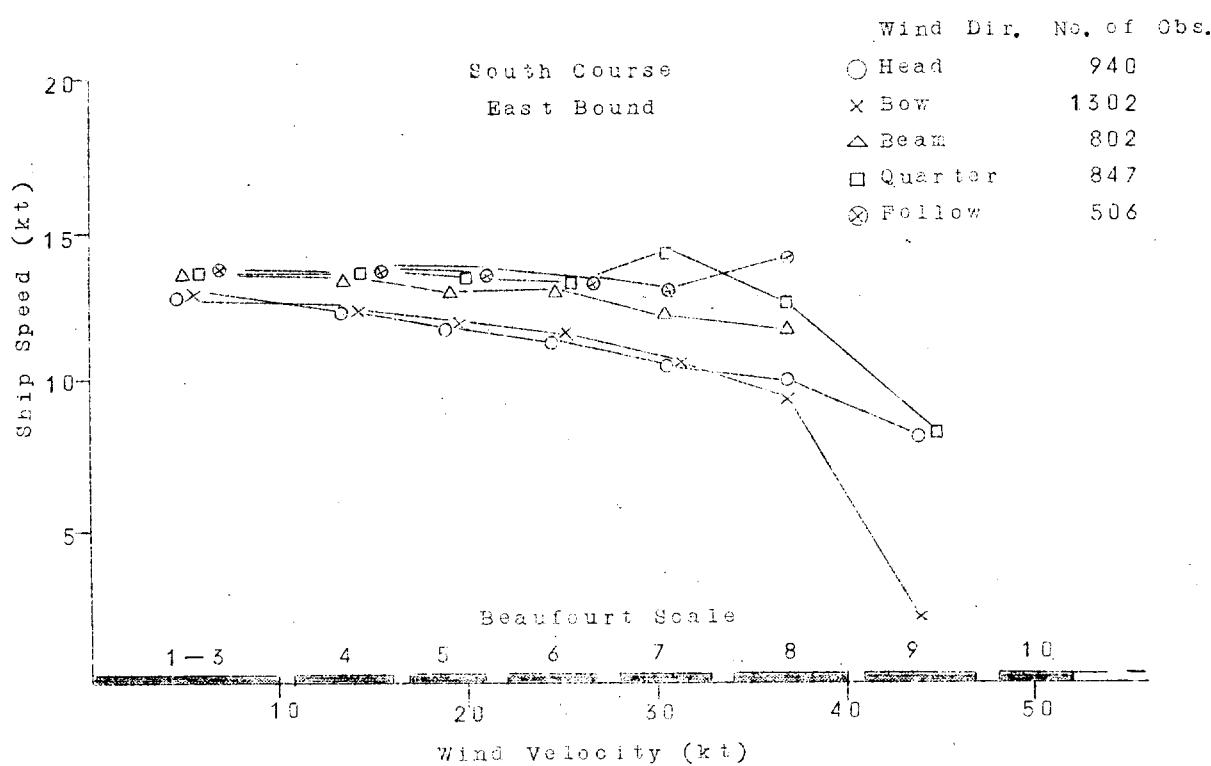
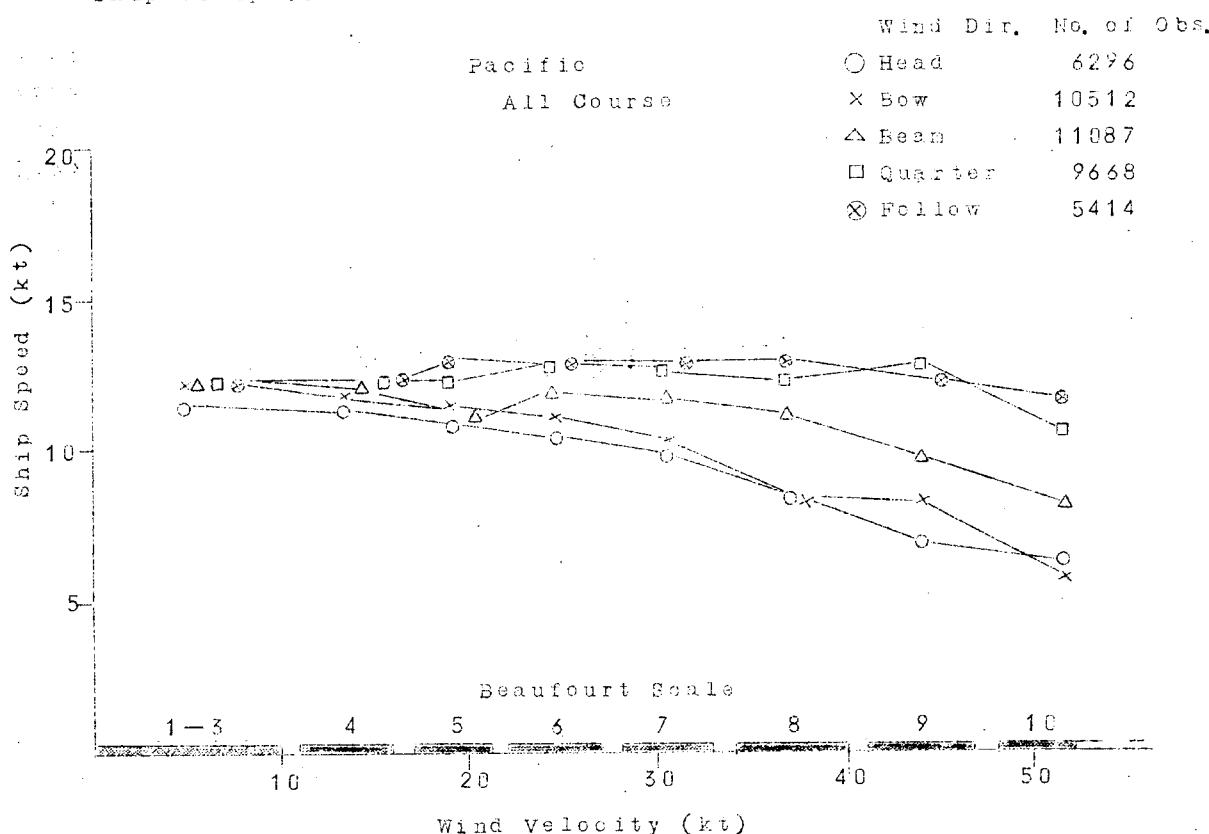


Fig. 5.16-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

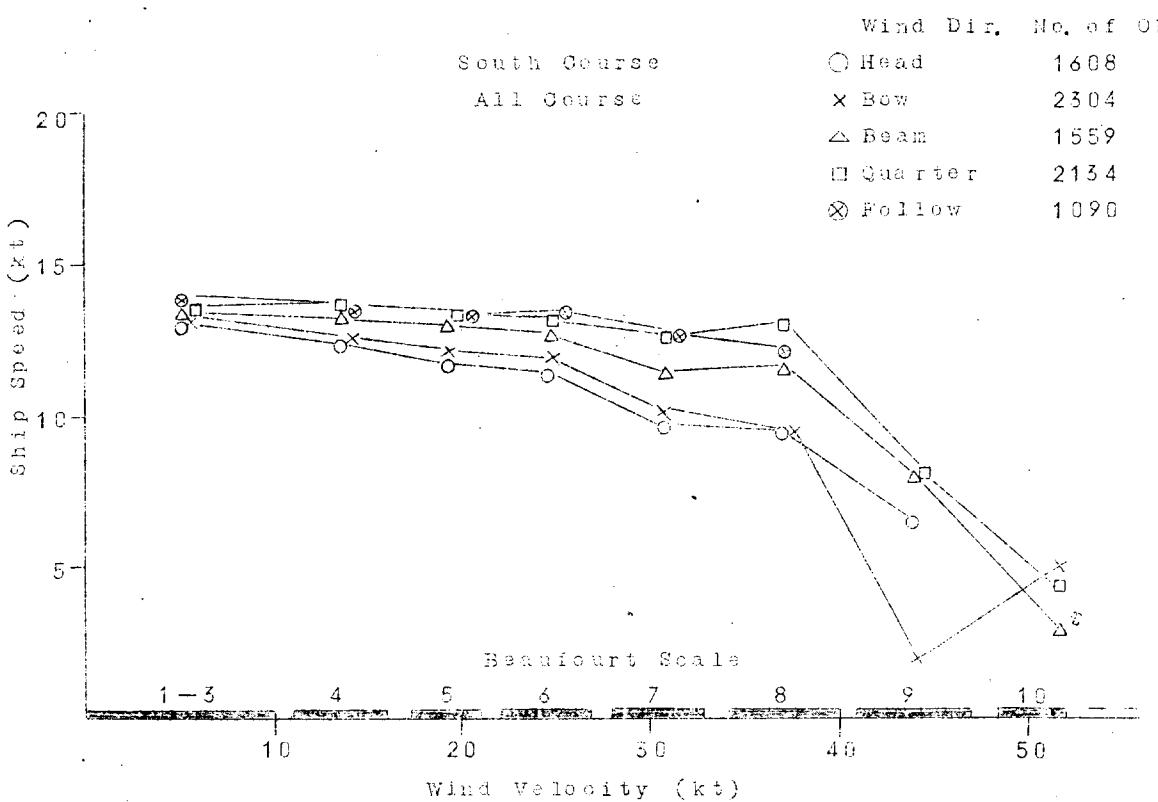
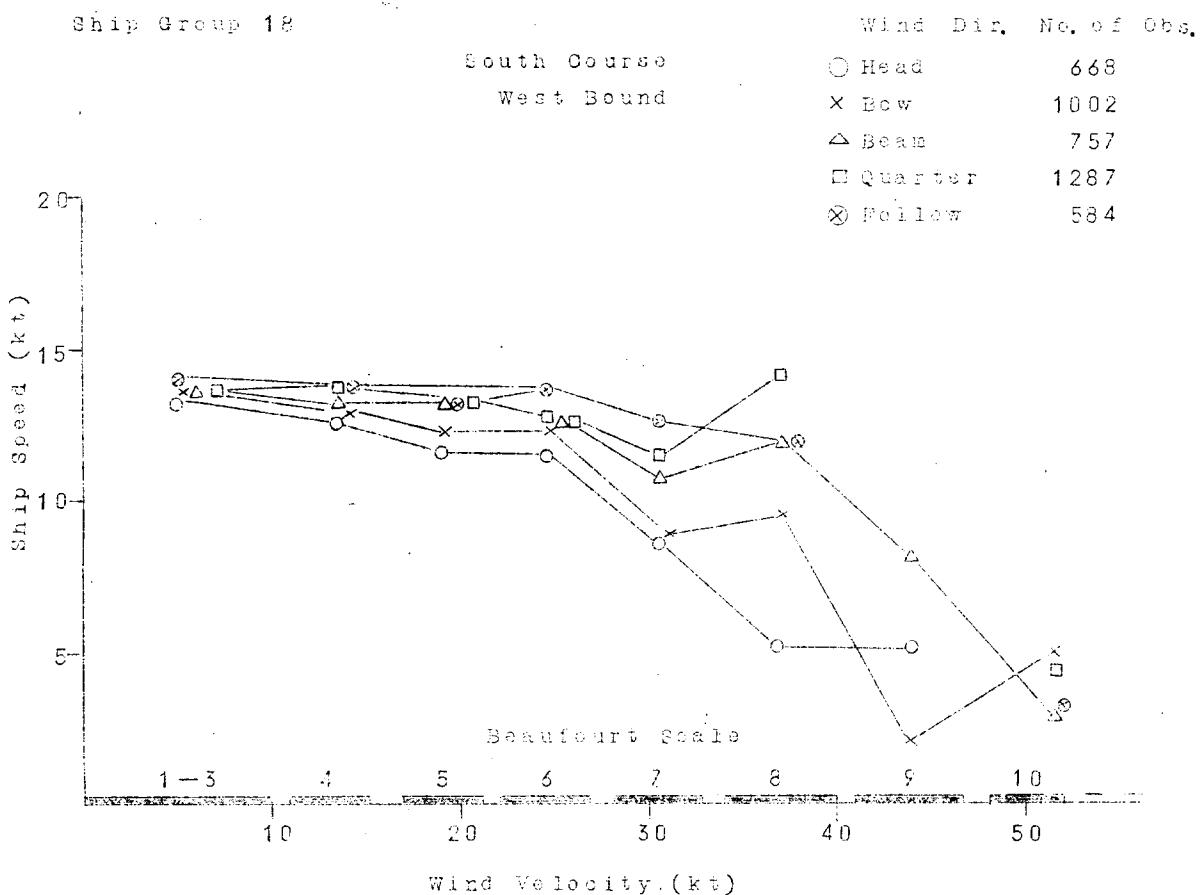


Fig. 5.16-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

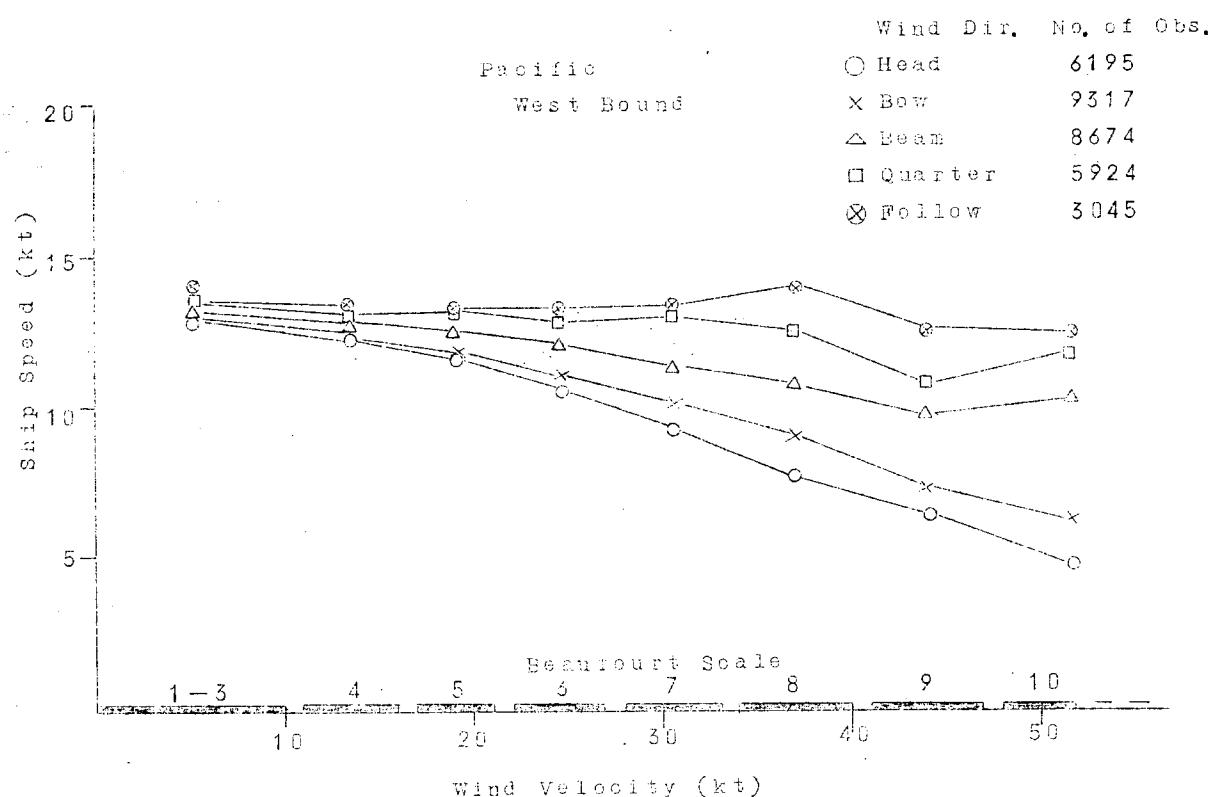
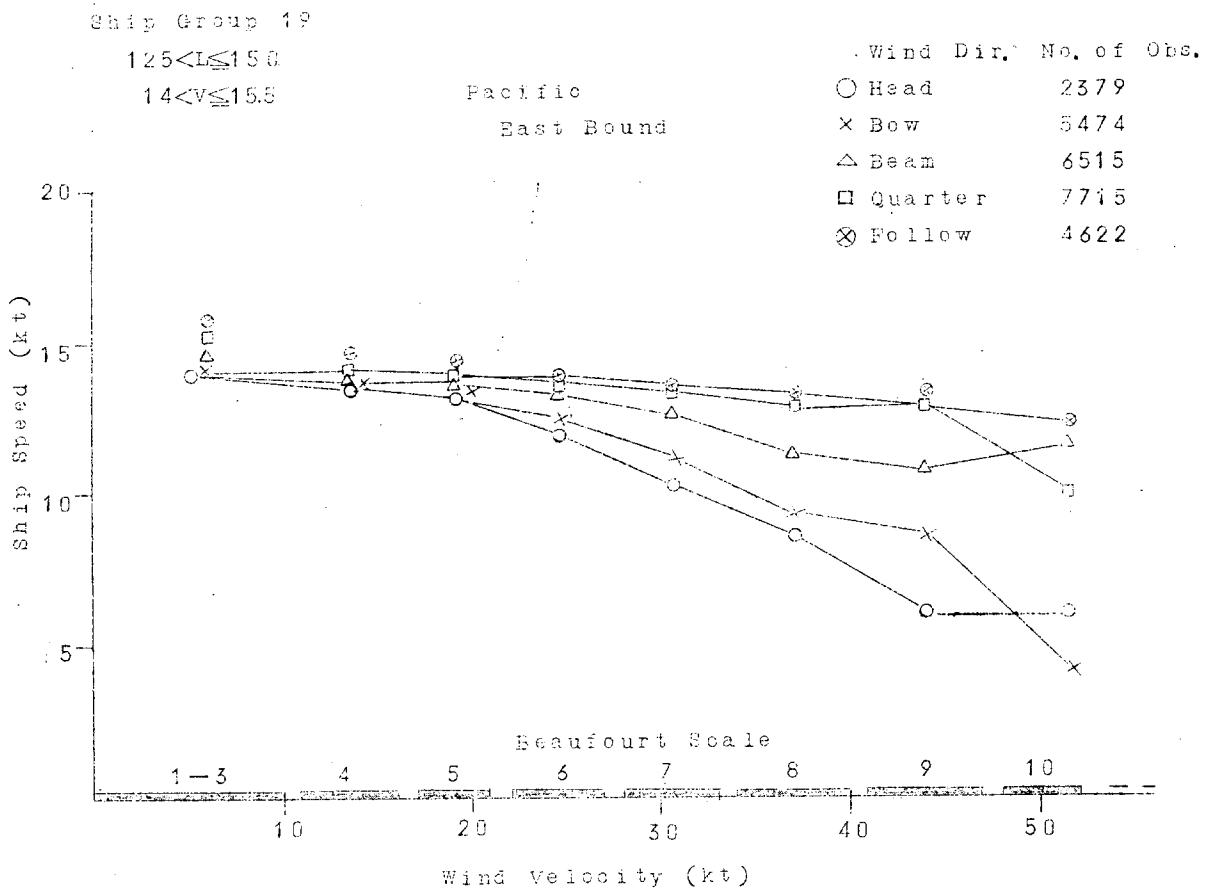


Fig. 5.17-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

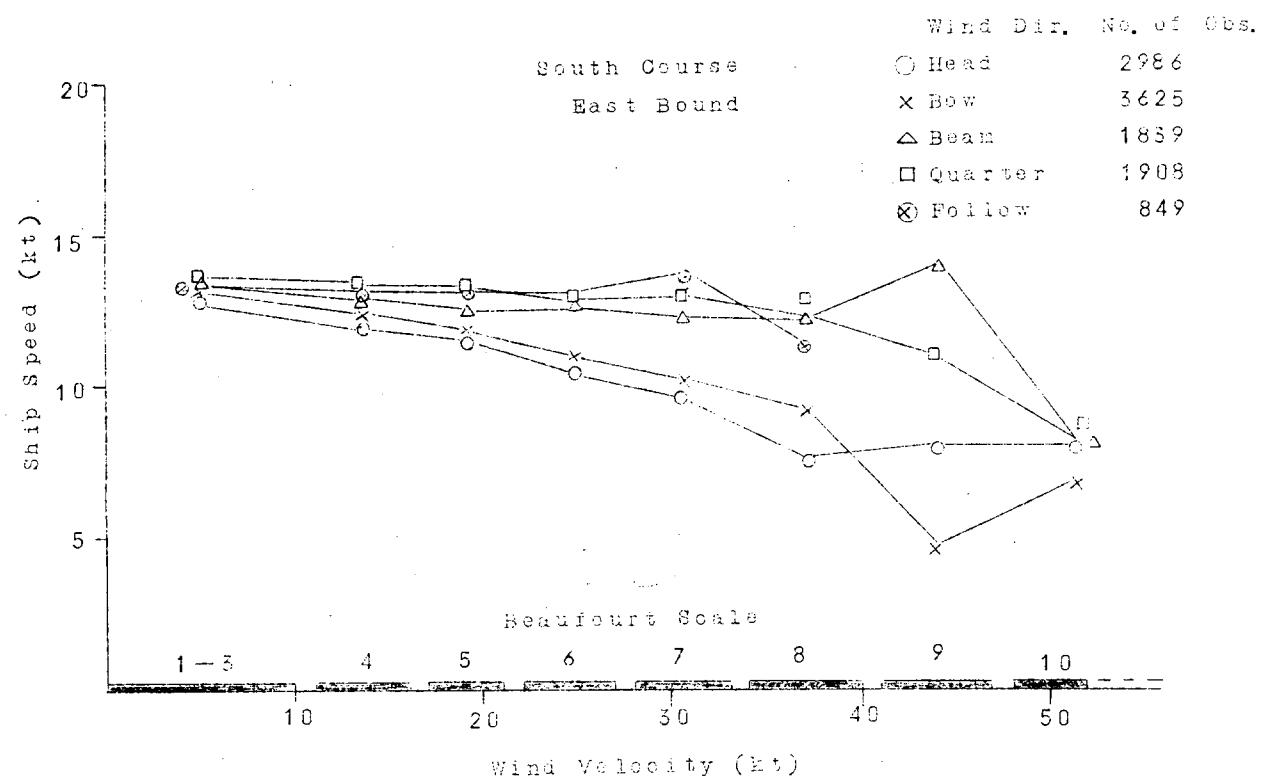
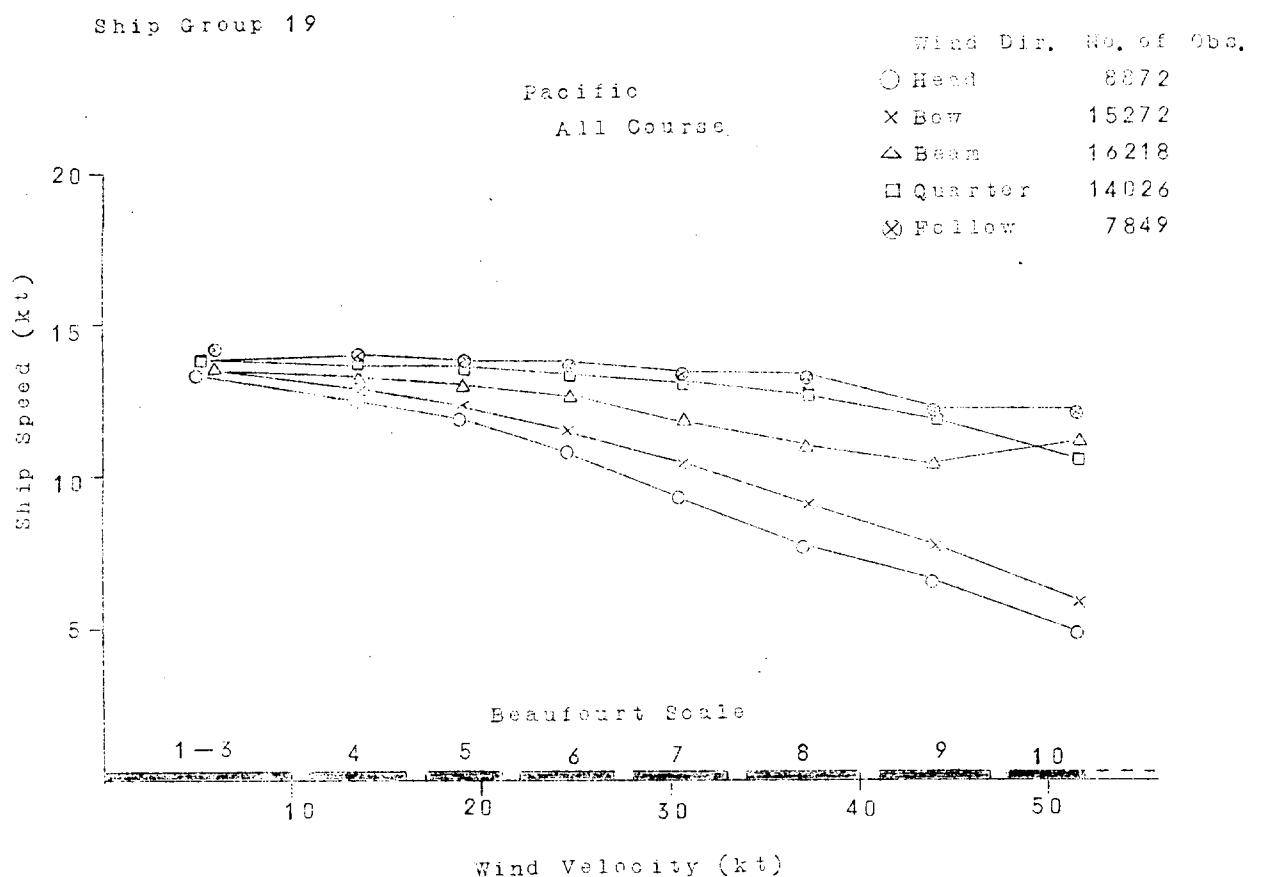


Fig. 5.17-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 19

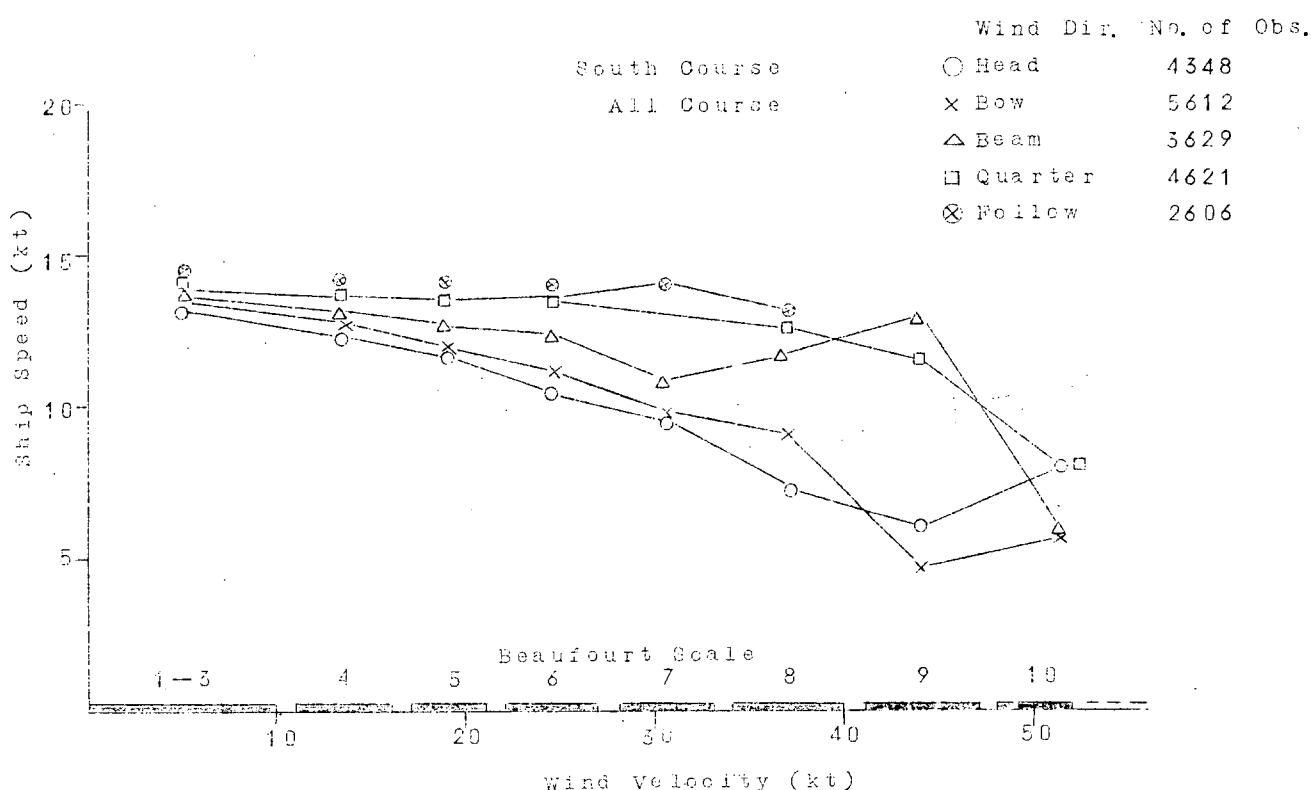
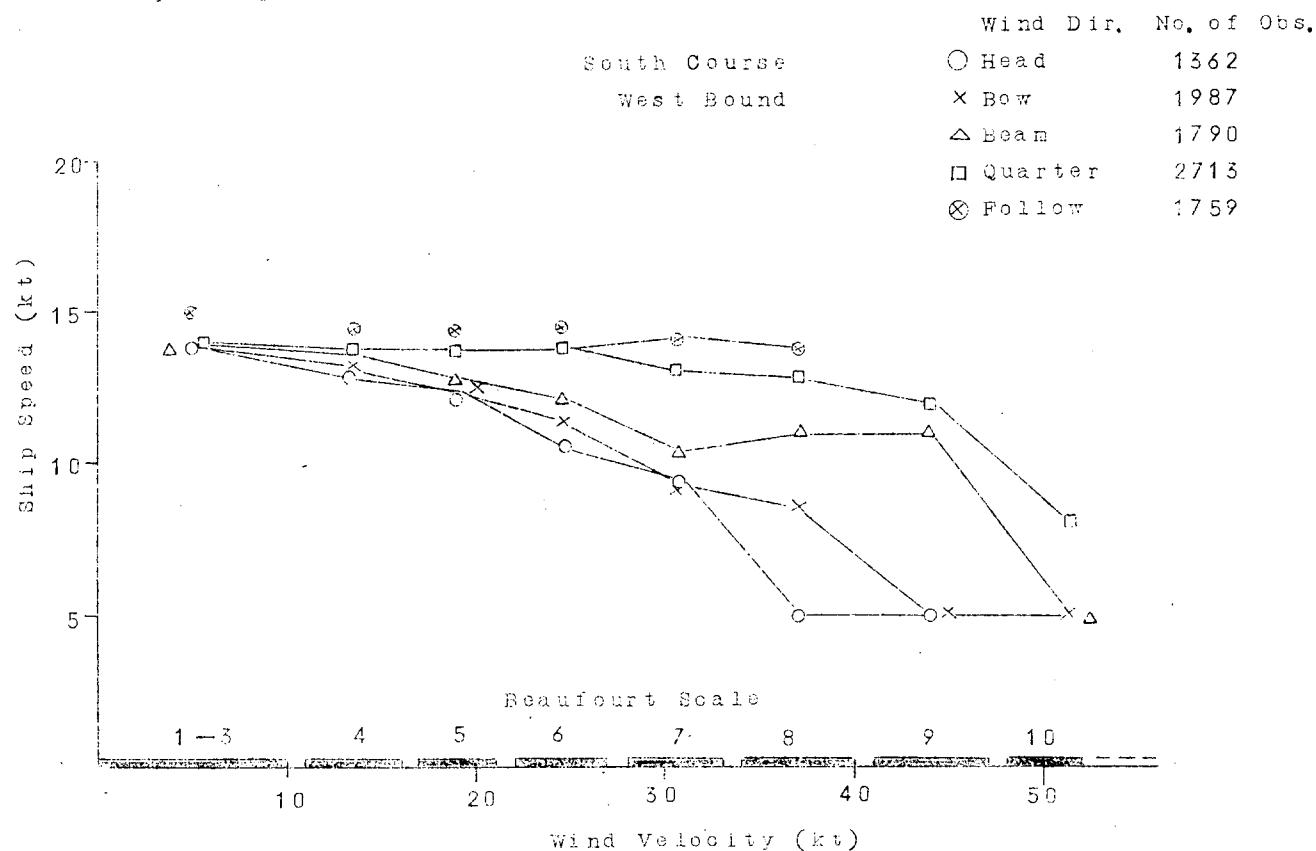


Fig. 5.17--(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

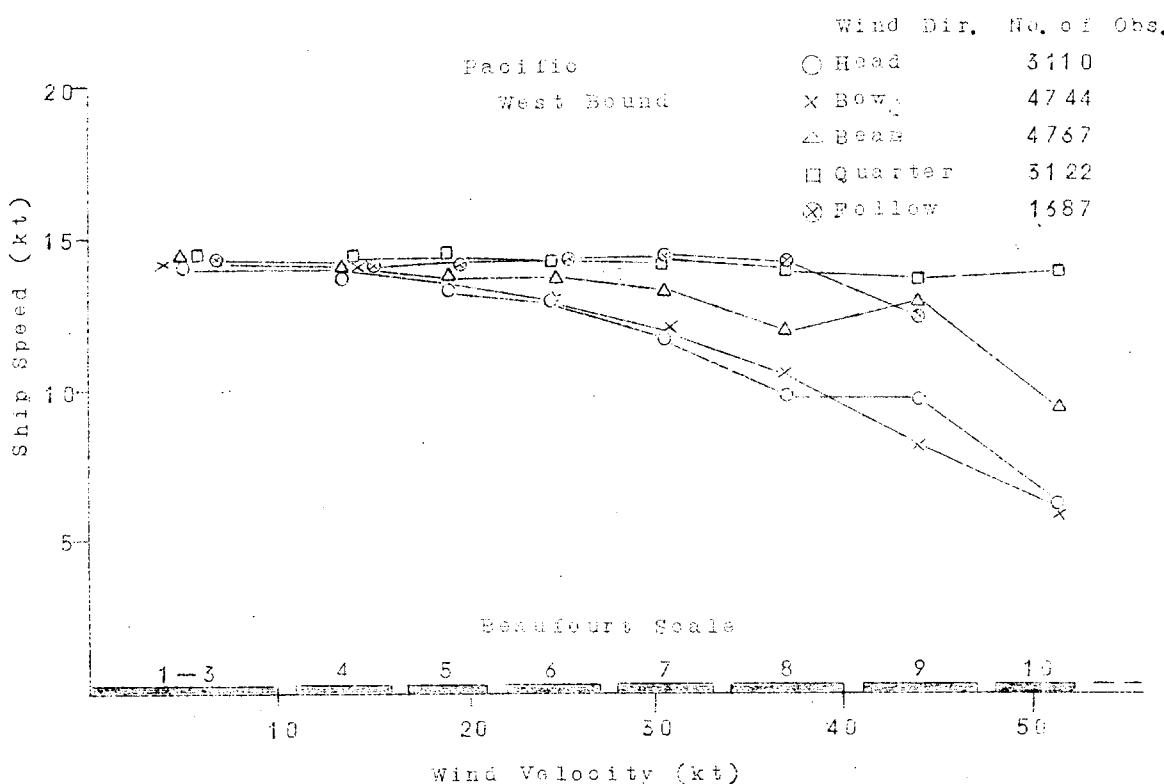
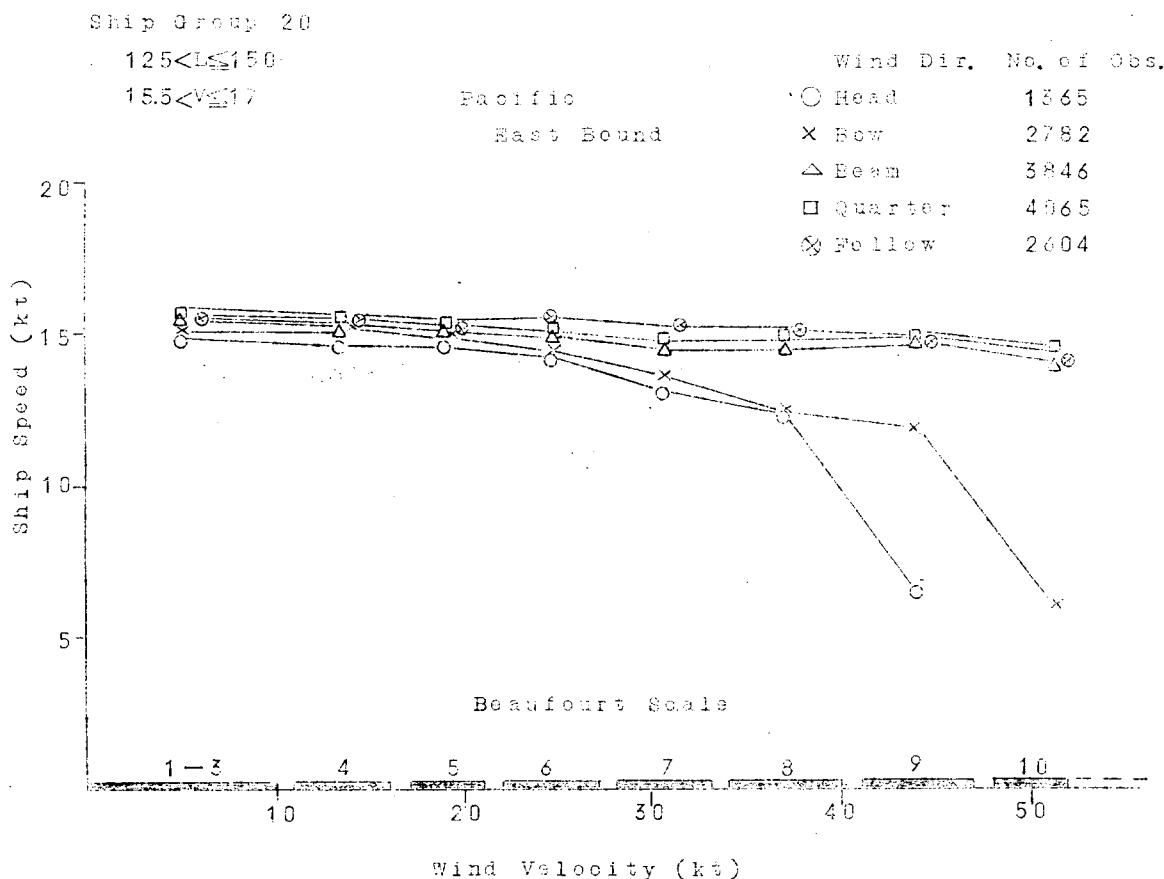


Fig. 5.18-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 20

	Wind Dir.	No. of Obs.
Pacific	○ Head	4643
All Course	× Bow	7781
	△ Beam	8991
	□ Quarter	7401
	⊗ Follow	4419

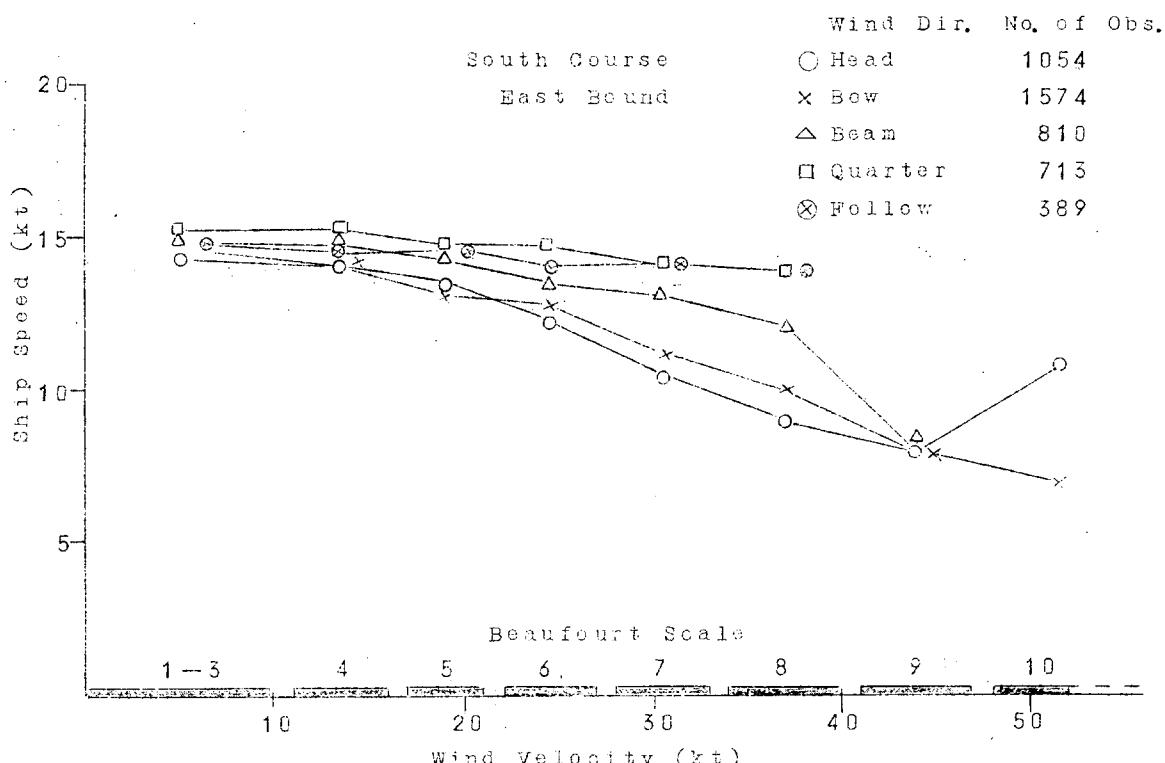
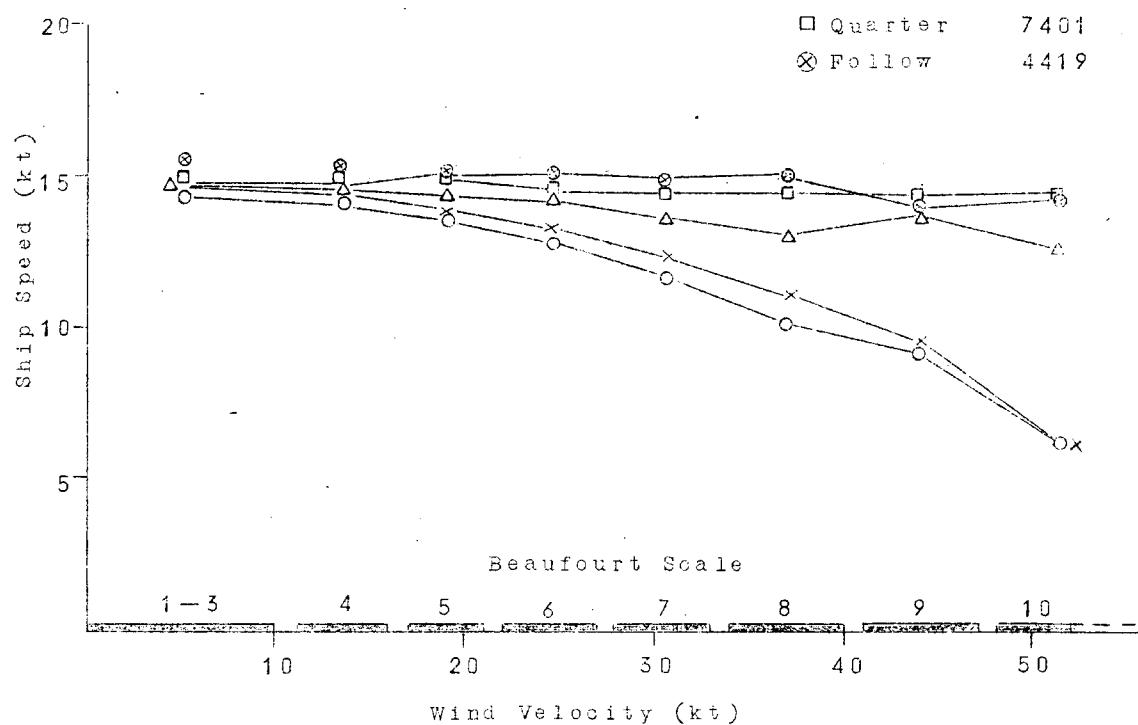


Fig. 5.18-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 20

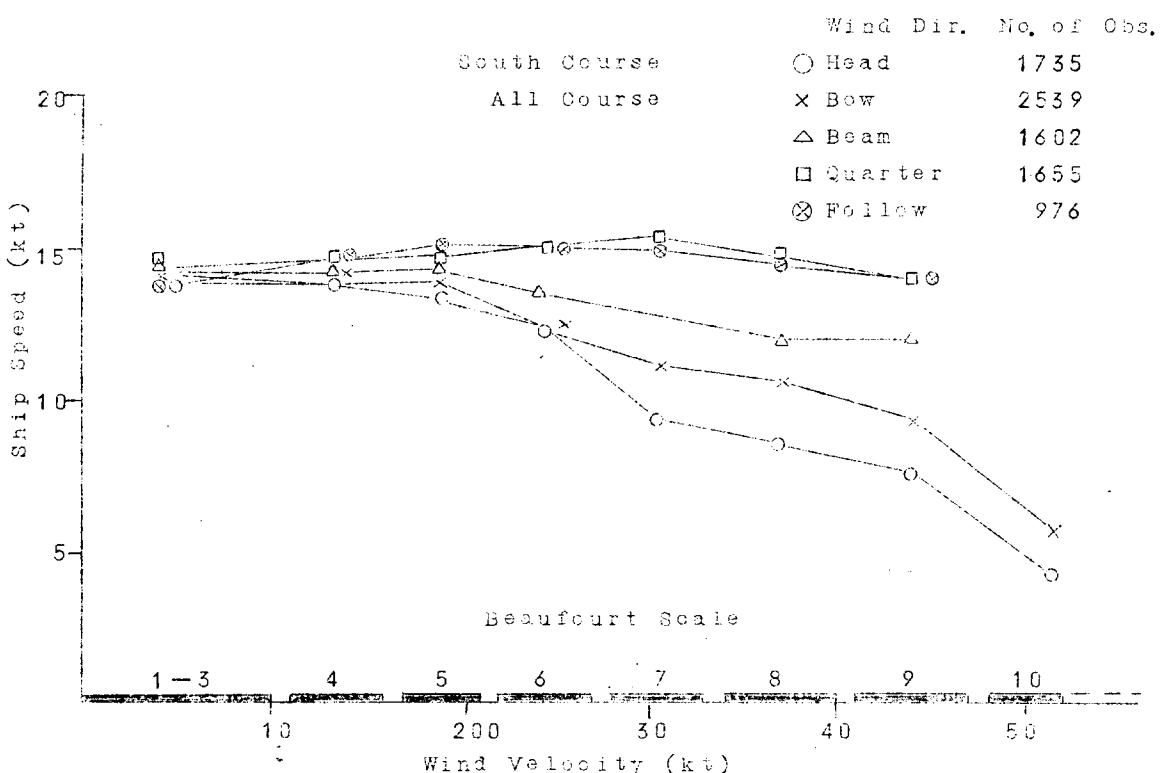
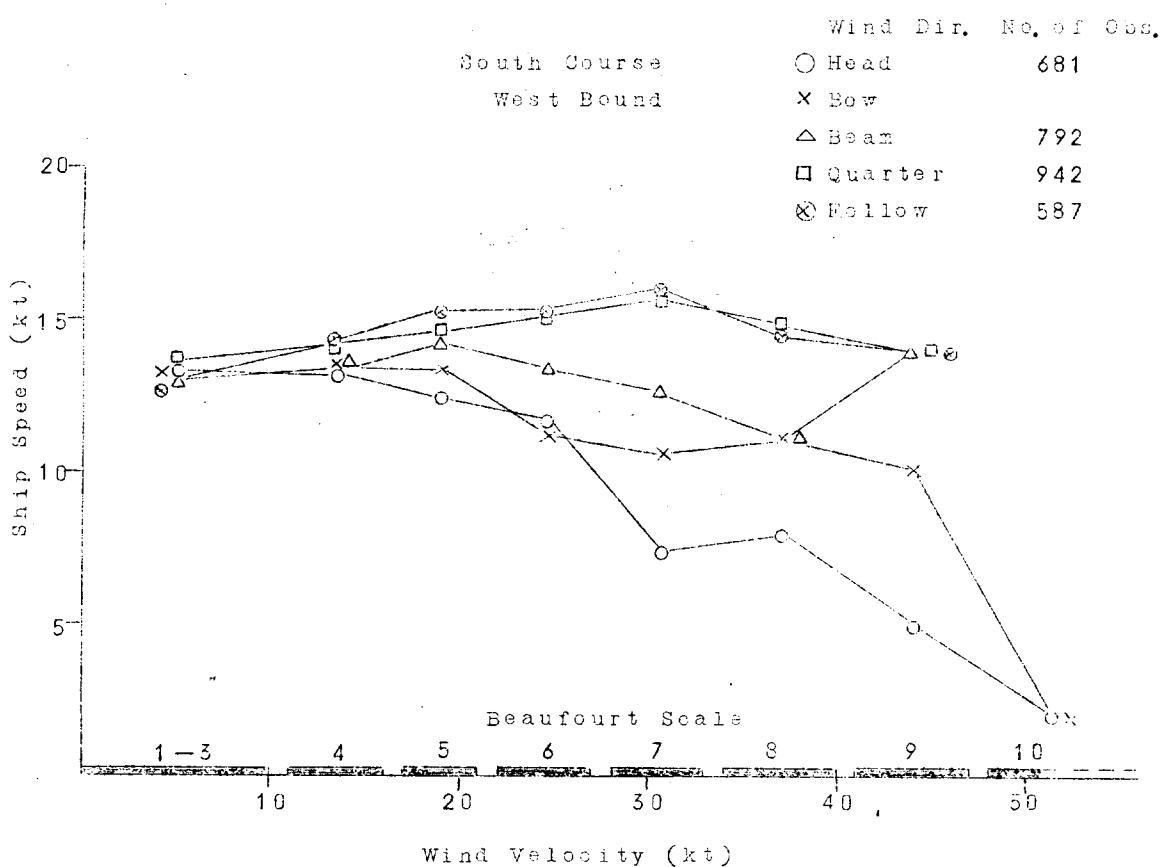


Fig. 5.18-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 21

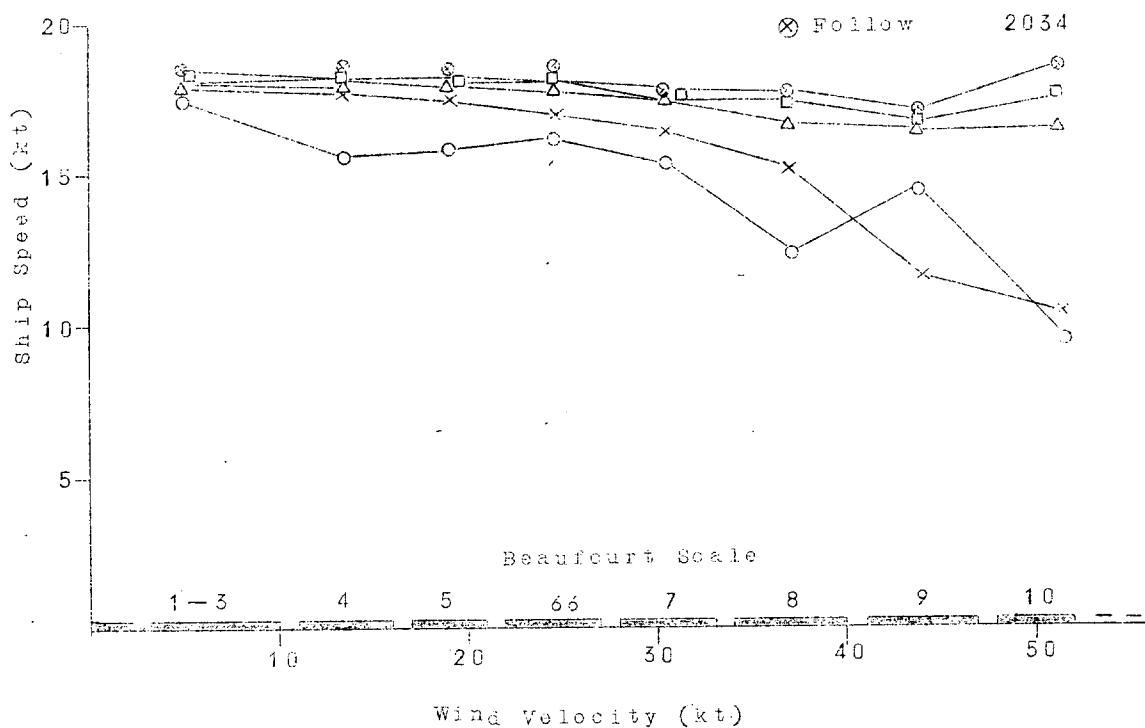
$125 < L \leq 150\text{M}$

$17 < v \leq 18.5$

Pacific
East Bound

Wind Dir. No. of Obs.

○ Head	865
× Bow	1974
△ Beam	5437
□ Quarter	3352
⊗ Follow	2034



Pacific

West Bound

Wind Dir. No. of Obs.

○ Head	2292
× Bow	3992
△ Beam	4178
□ Quarter	2515
⊗ Follow	1273

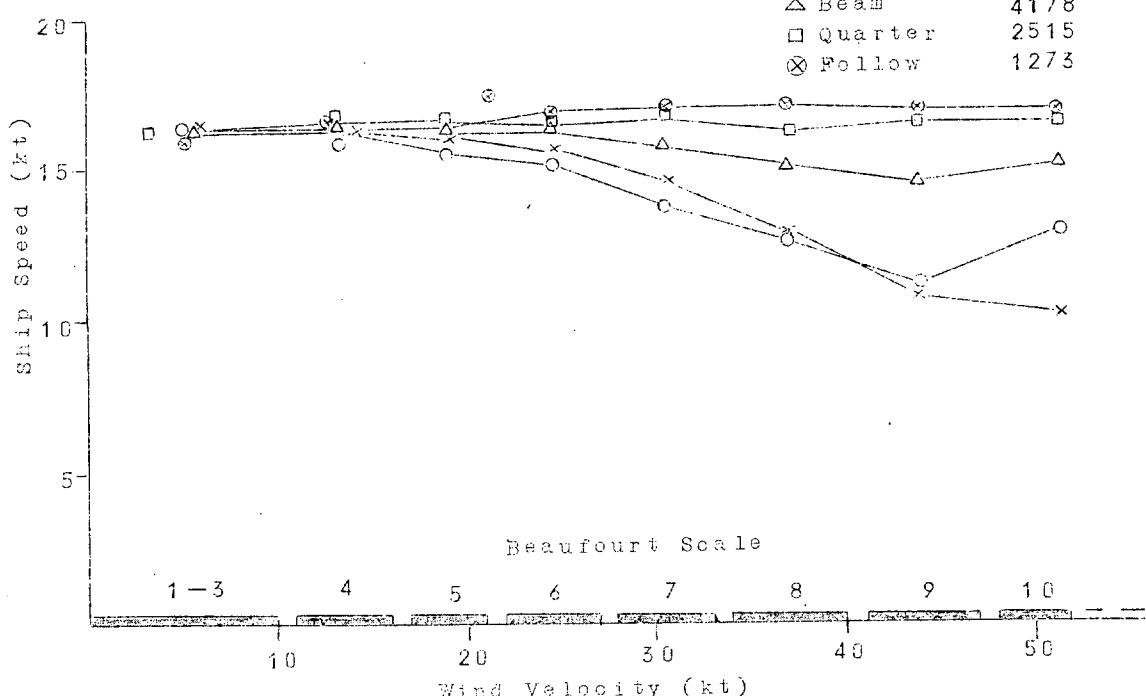


Fig. 5.19-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 21

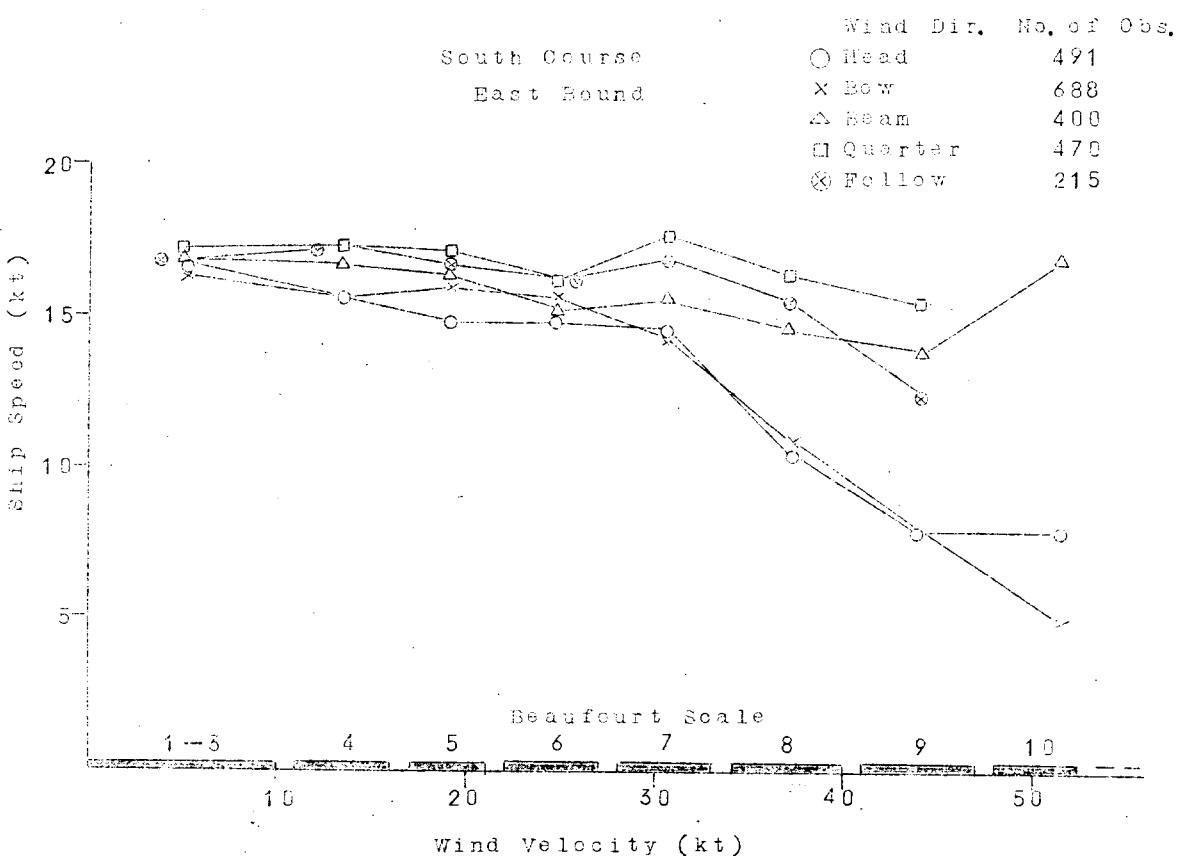
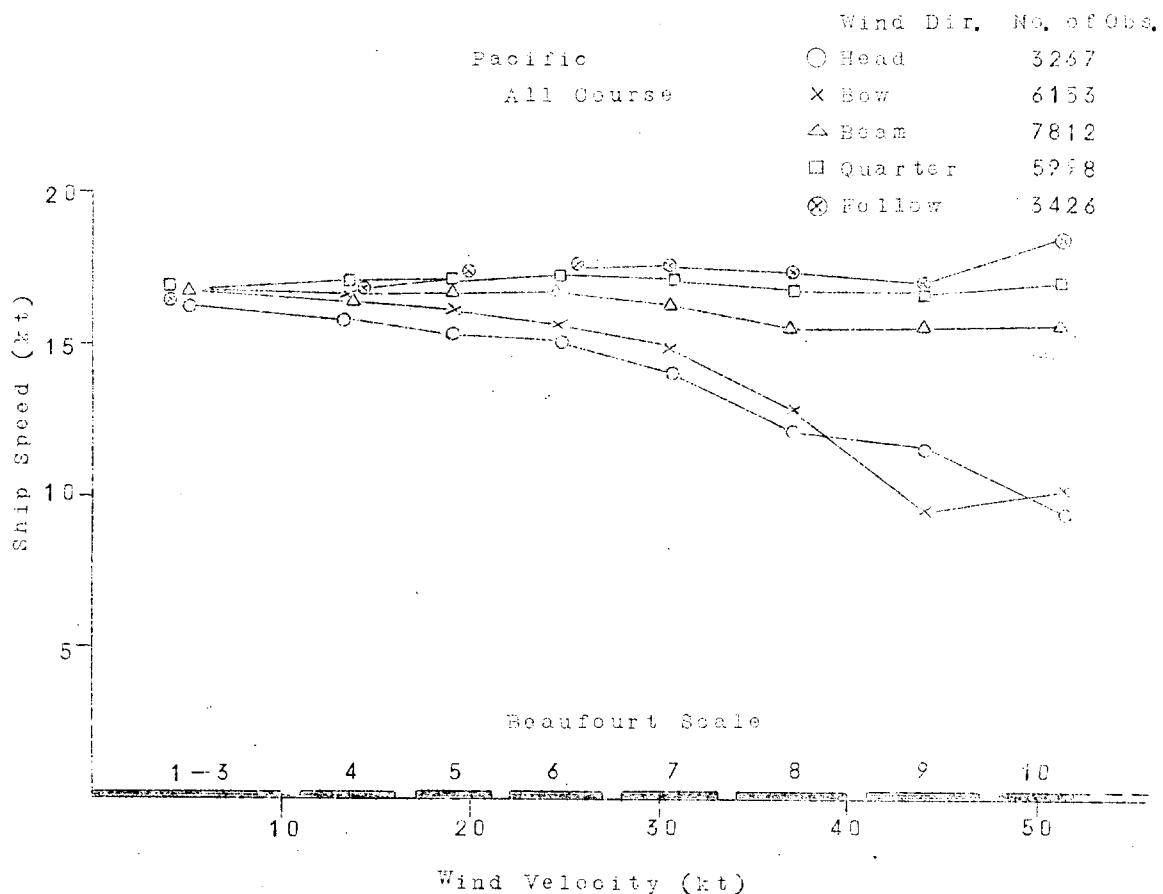


Fig. 5.19-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

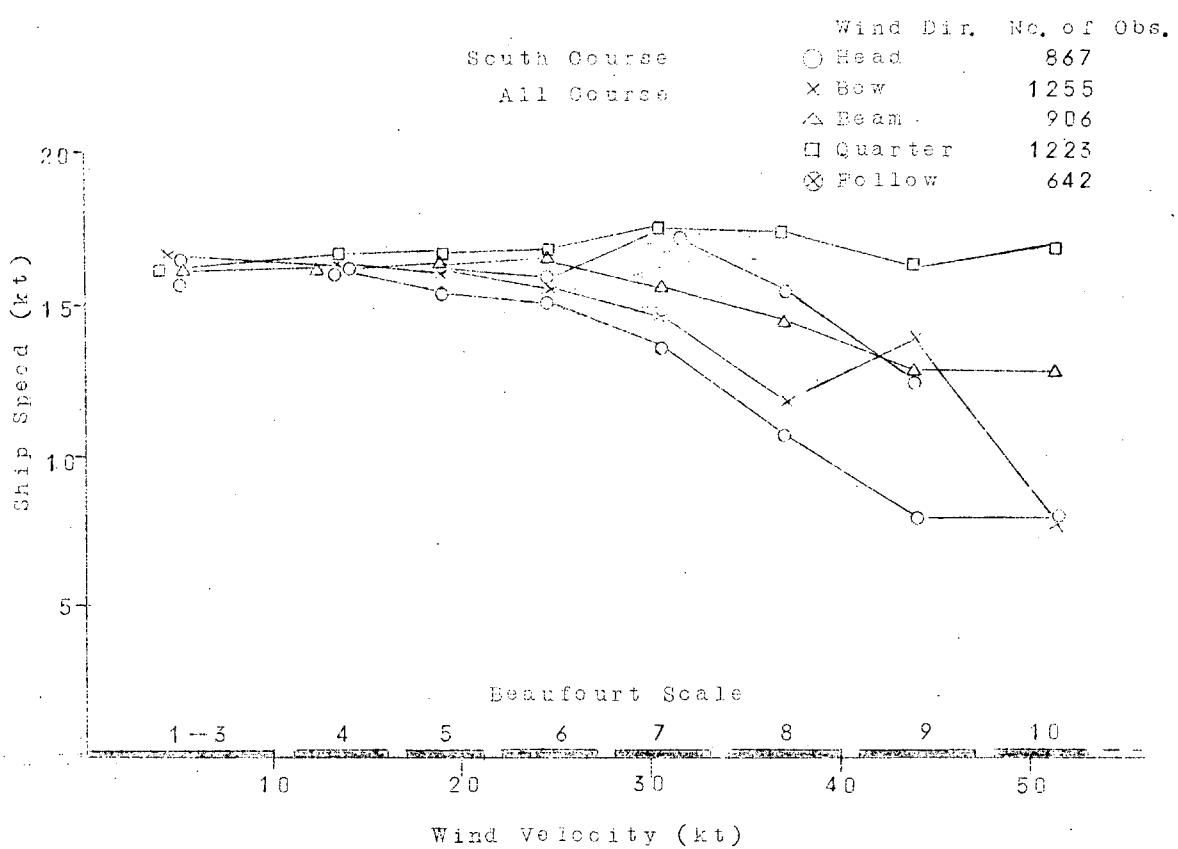
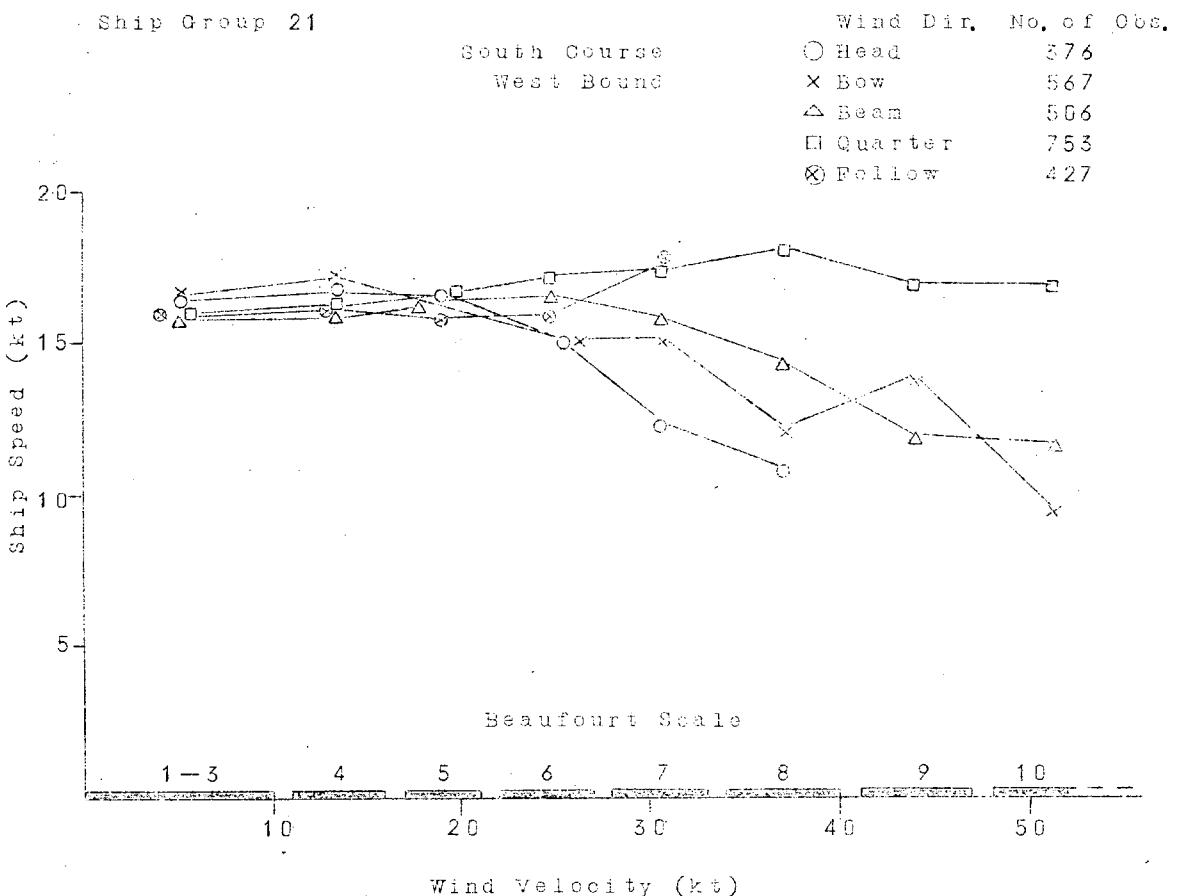


Fig. 5.19-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

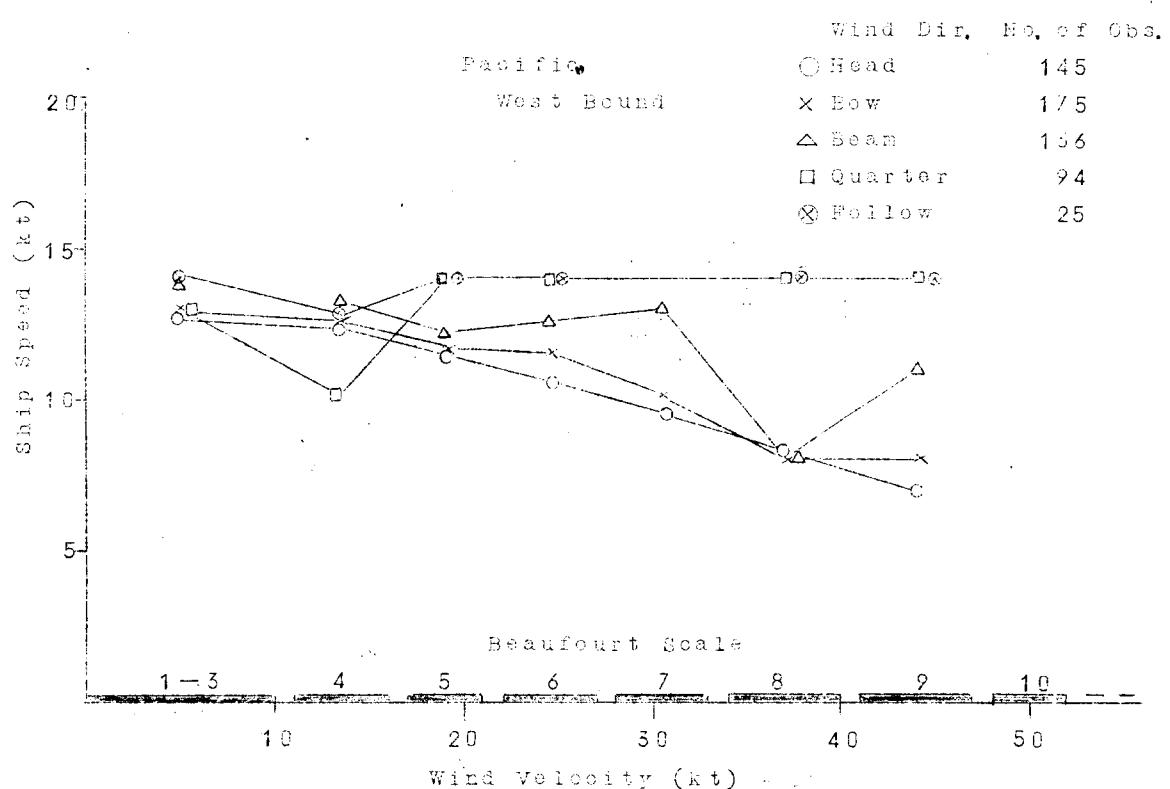
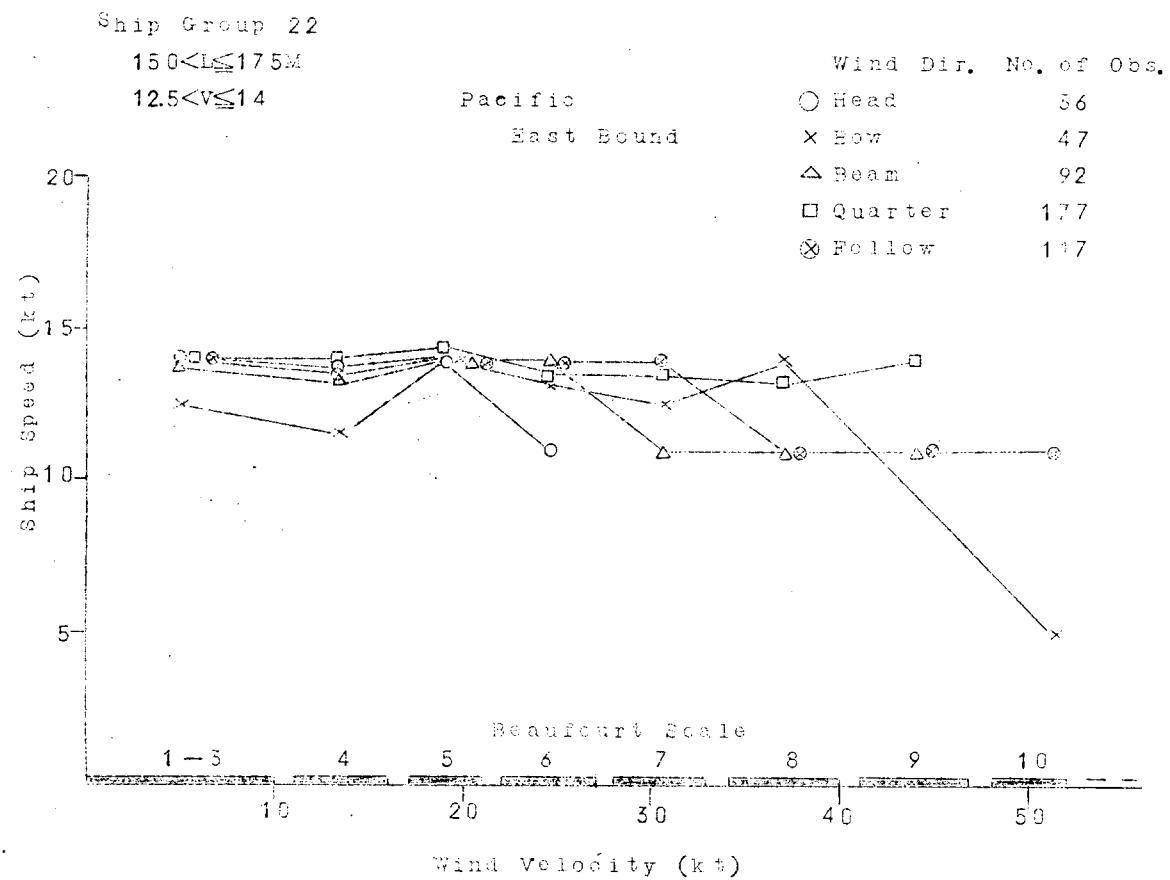
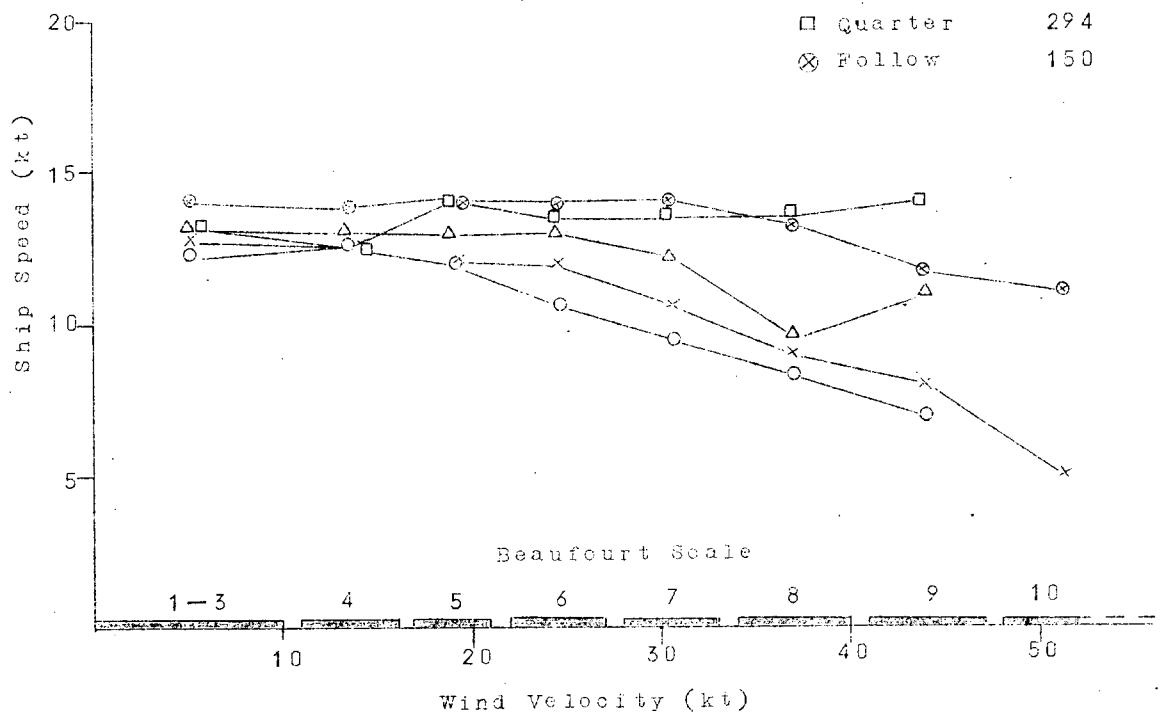


Fig. 5.20-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 22

	Wind Dir.	No. of Obs.
Pacific	○ Head	200
All Course	× Bow	238
	△ Beam	244
	□ Quarter	294
	⊗ Follow	150



	Wind Dir.	No. of Obs.
South Course	○ Head	383
East Bound	× Bow	363
	△ Beam	176
	□ Quarter	259
	⊗ Follow	149

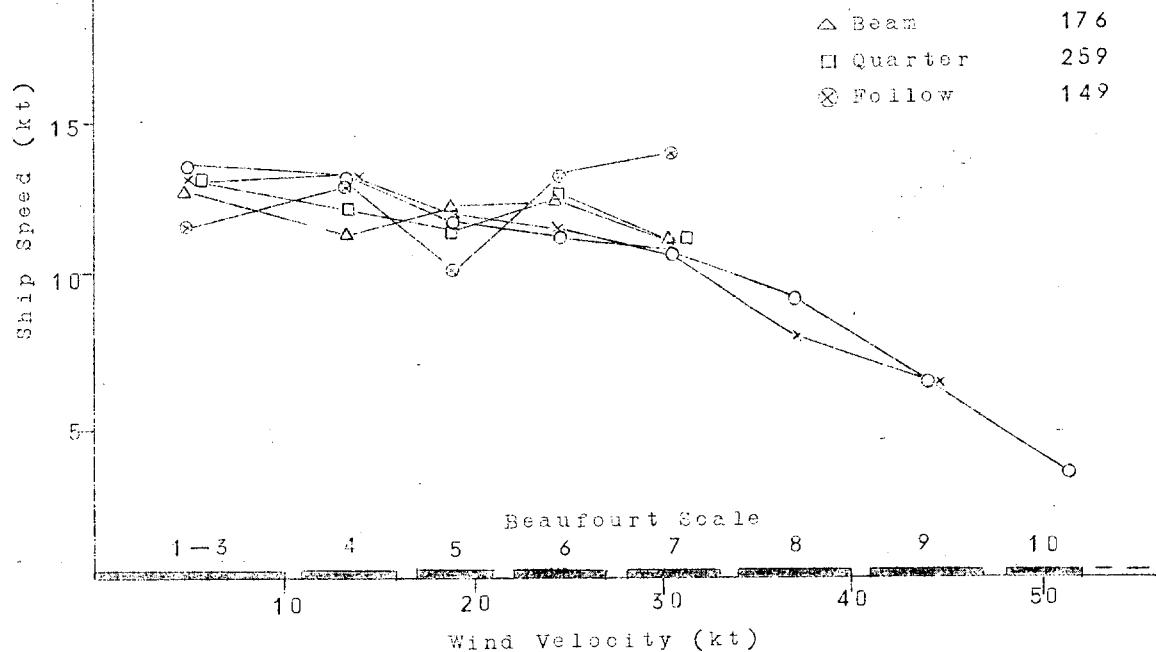


Fig. 5.20-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 22

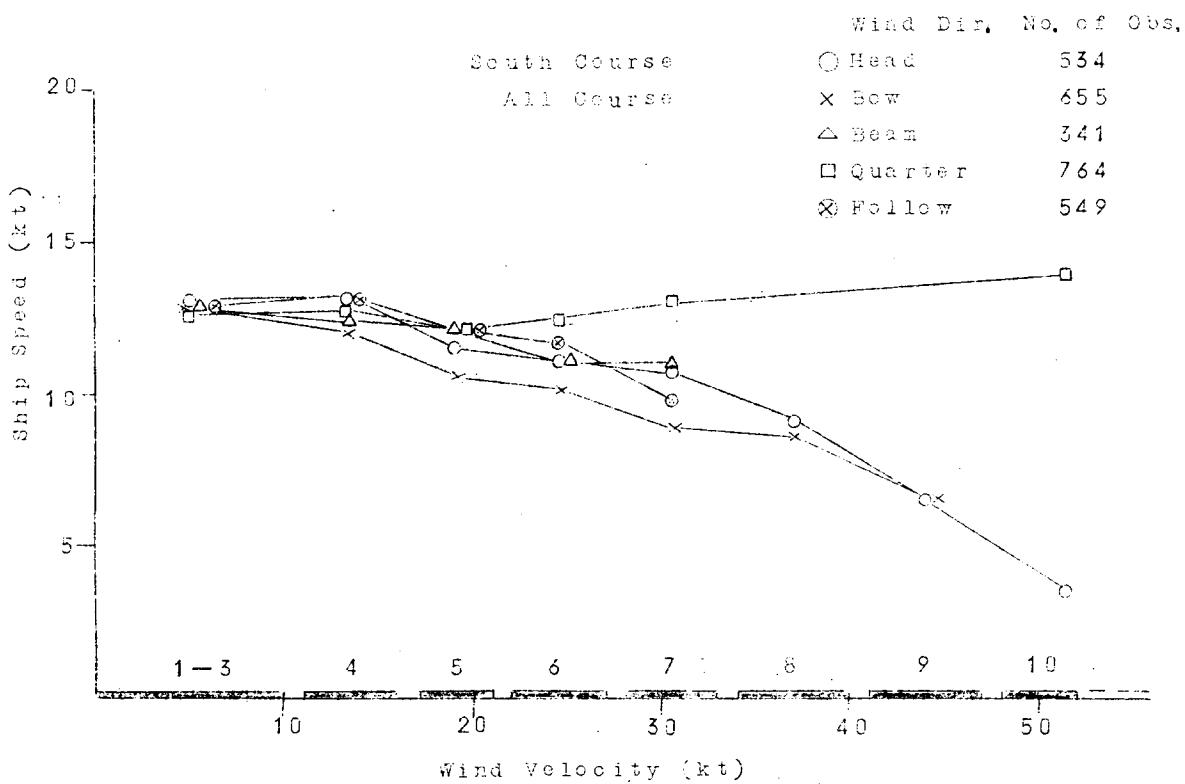
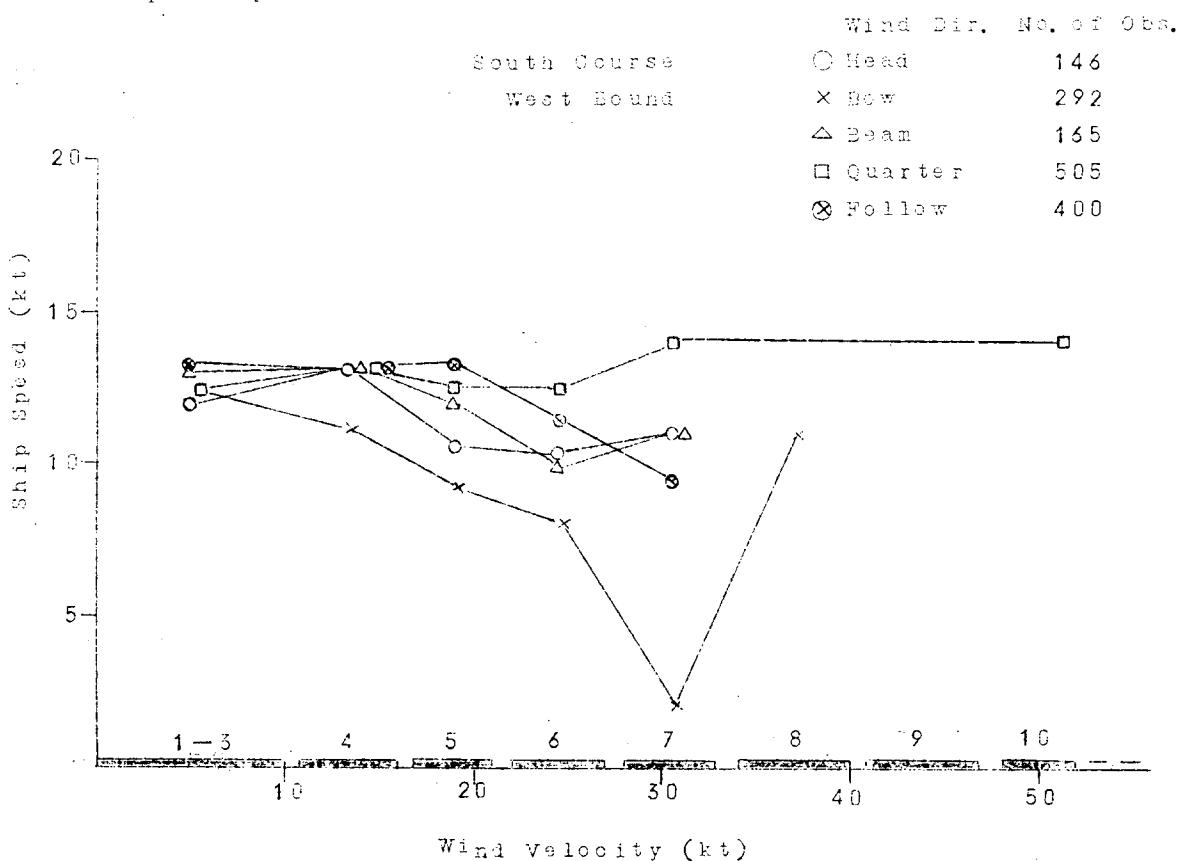


Fig. 5.20-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 23

 $15.0 < L \leq 17.5$ $14 < V \leq 15.5$

Pacific

East Bound

Wind Dir. No. of Obs.

○ Head	454
× Bow	1055
△ Beam	1402
□ Quarter	1655
⊗ Follow	939

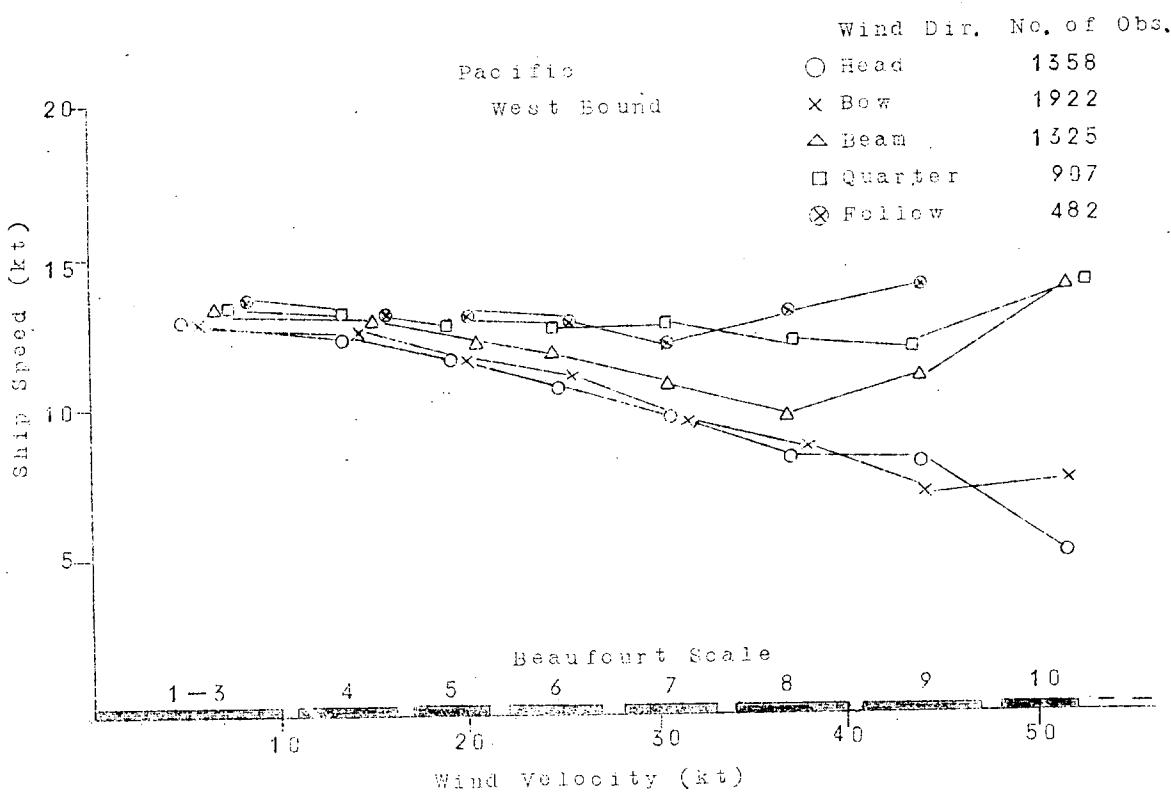
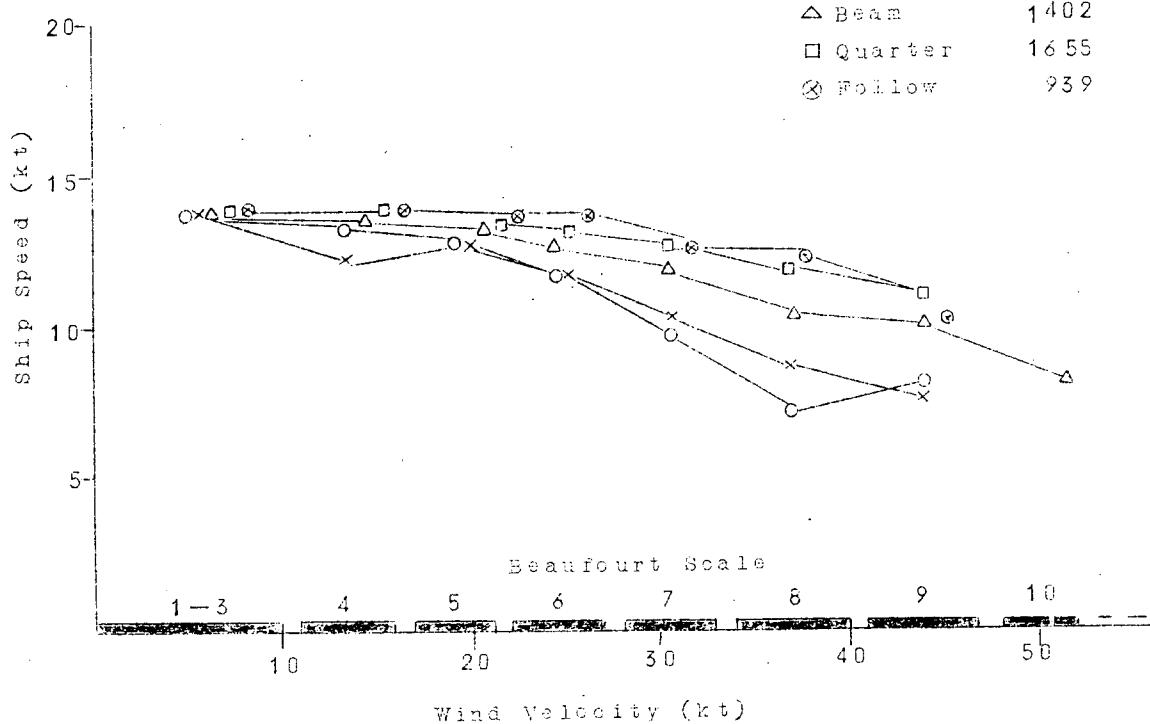


Fig. 5.21-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 23

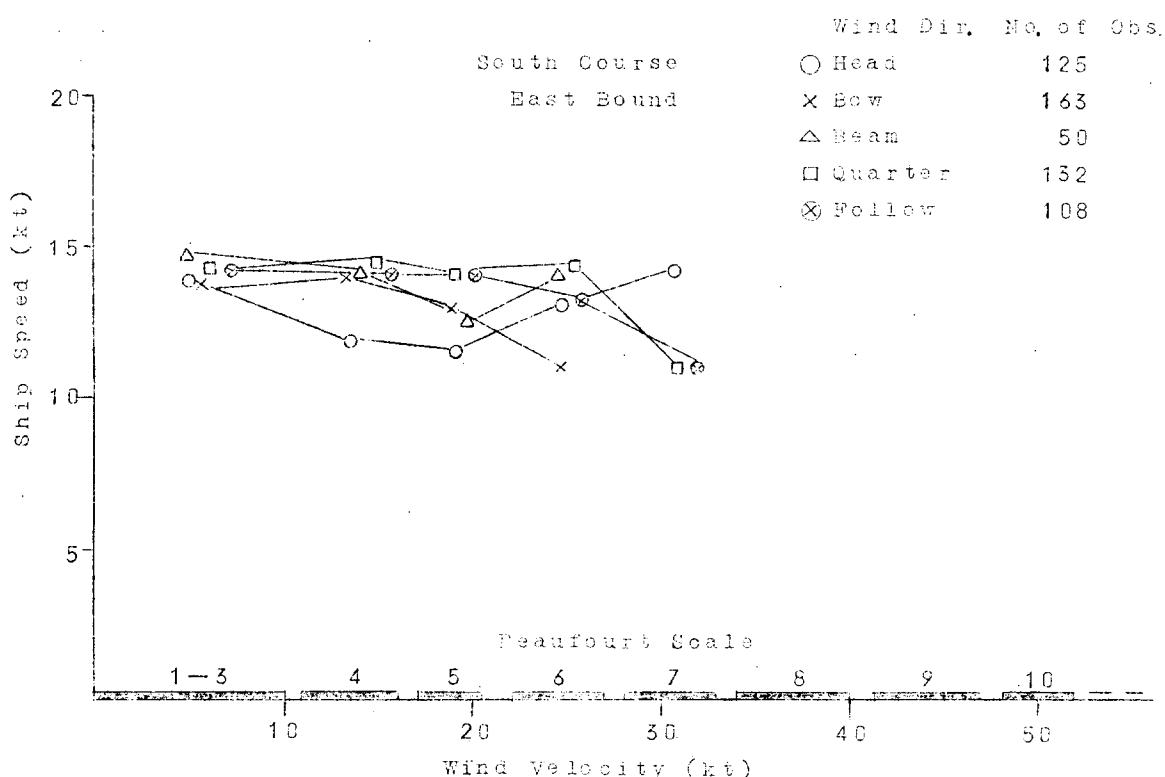
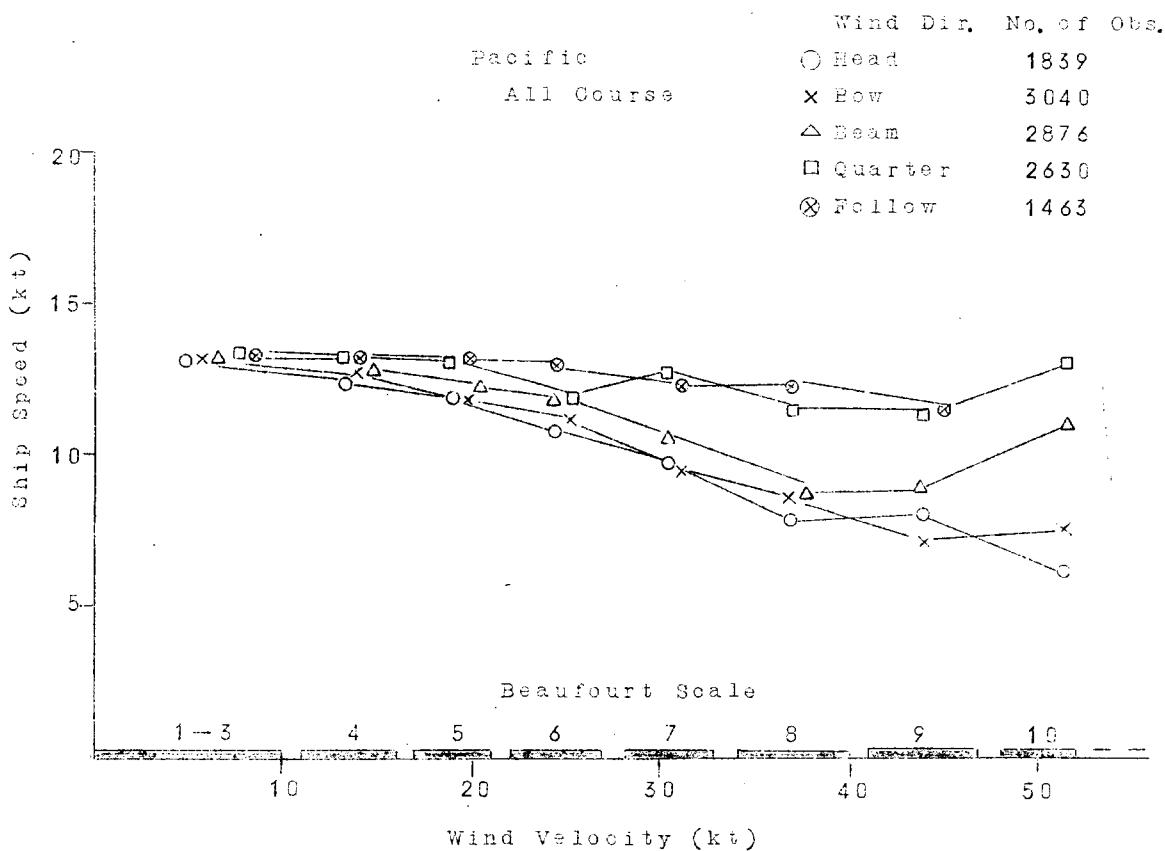


Fig. 5.21-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 23

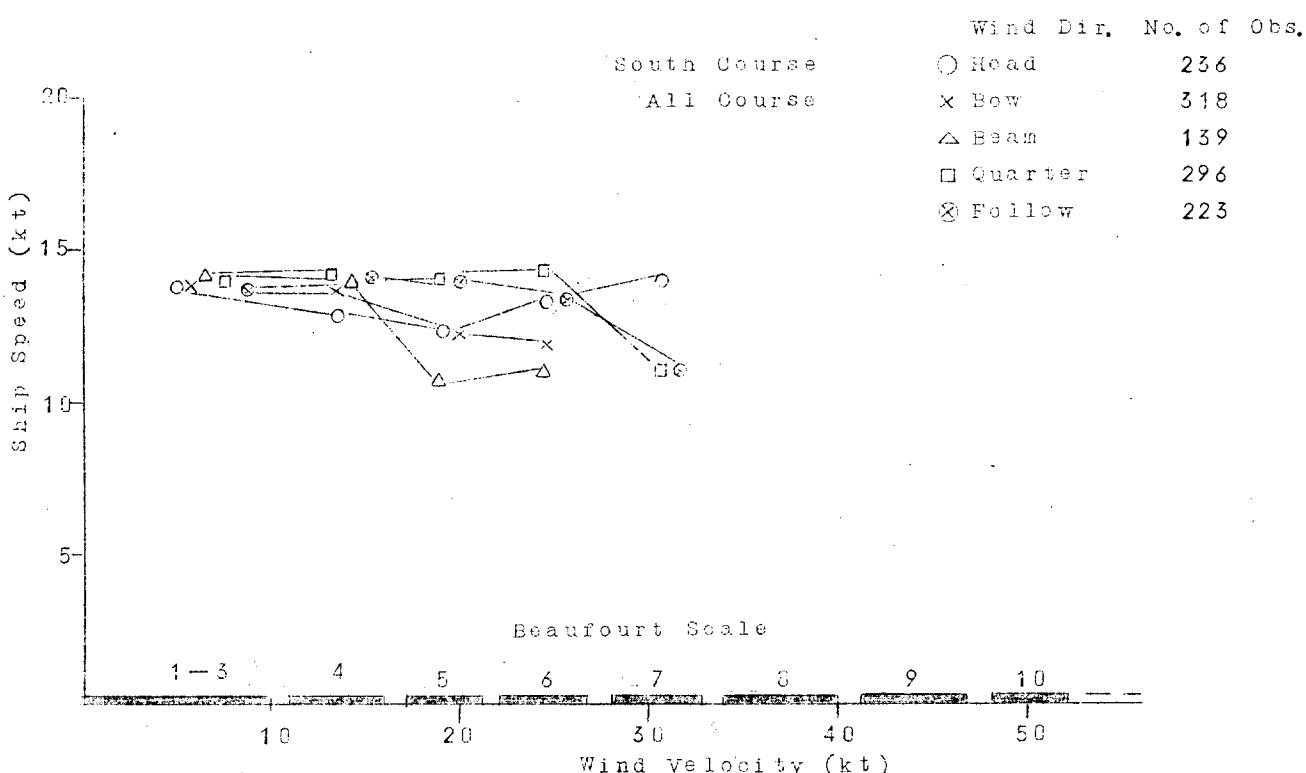
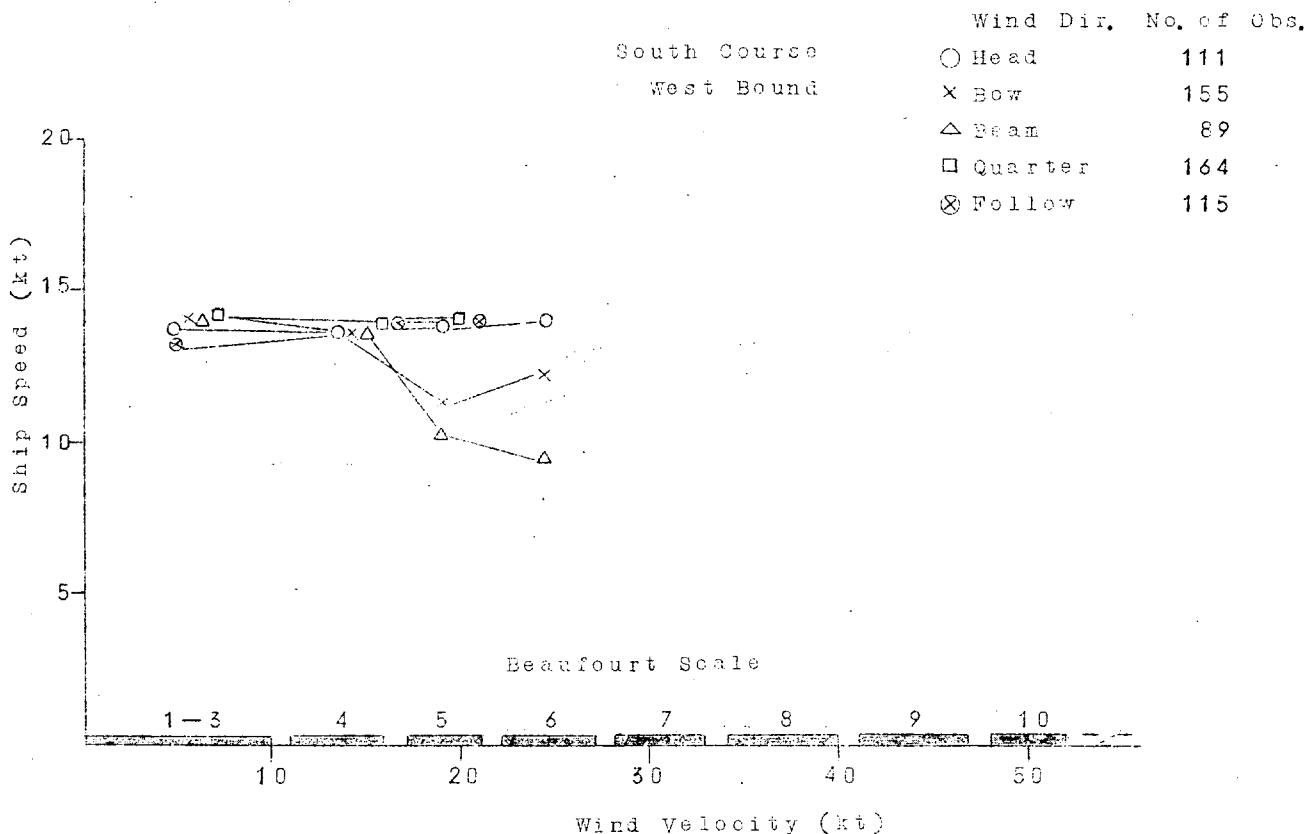


Fig. 5.21-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

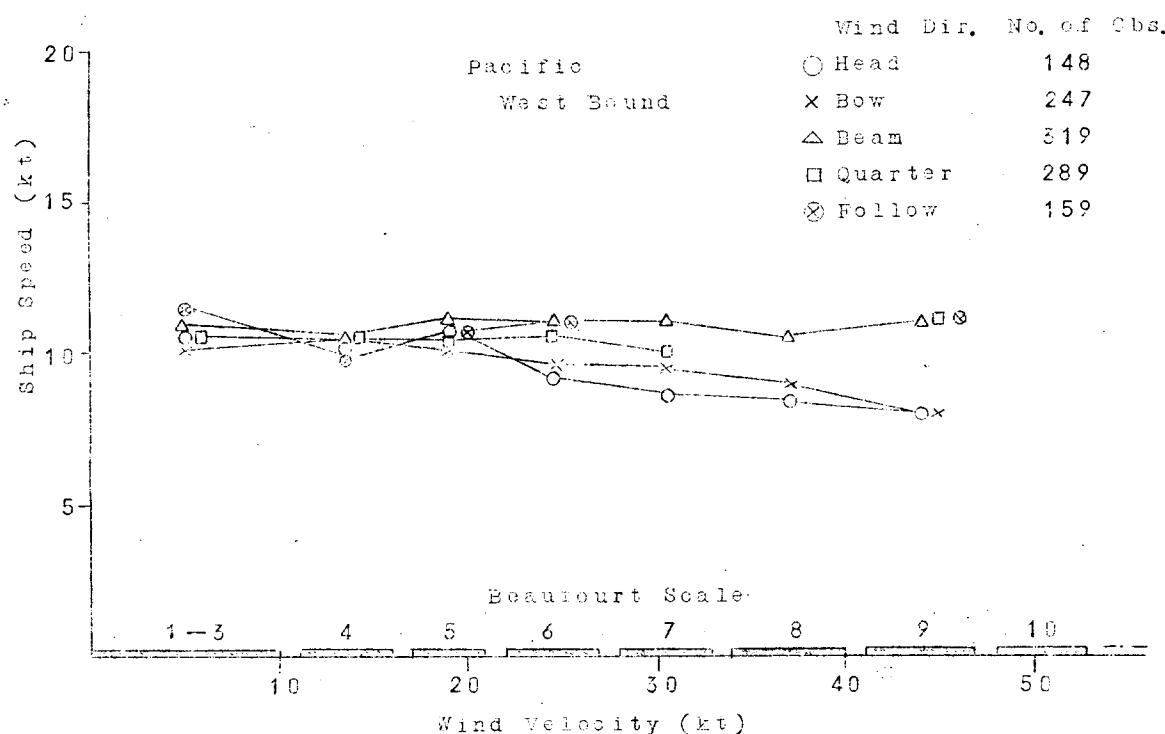
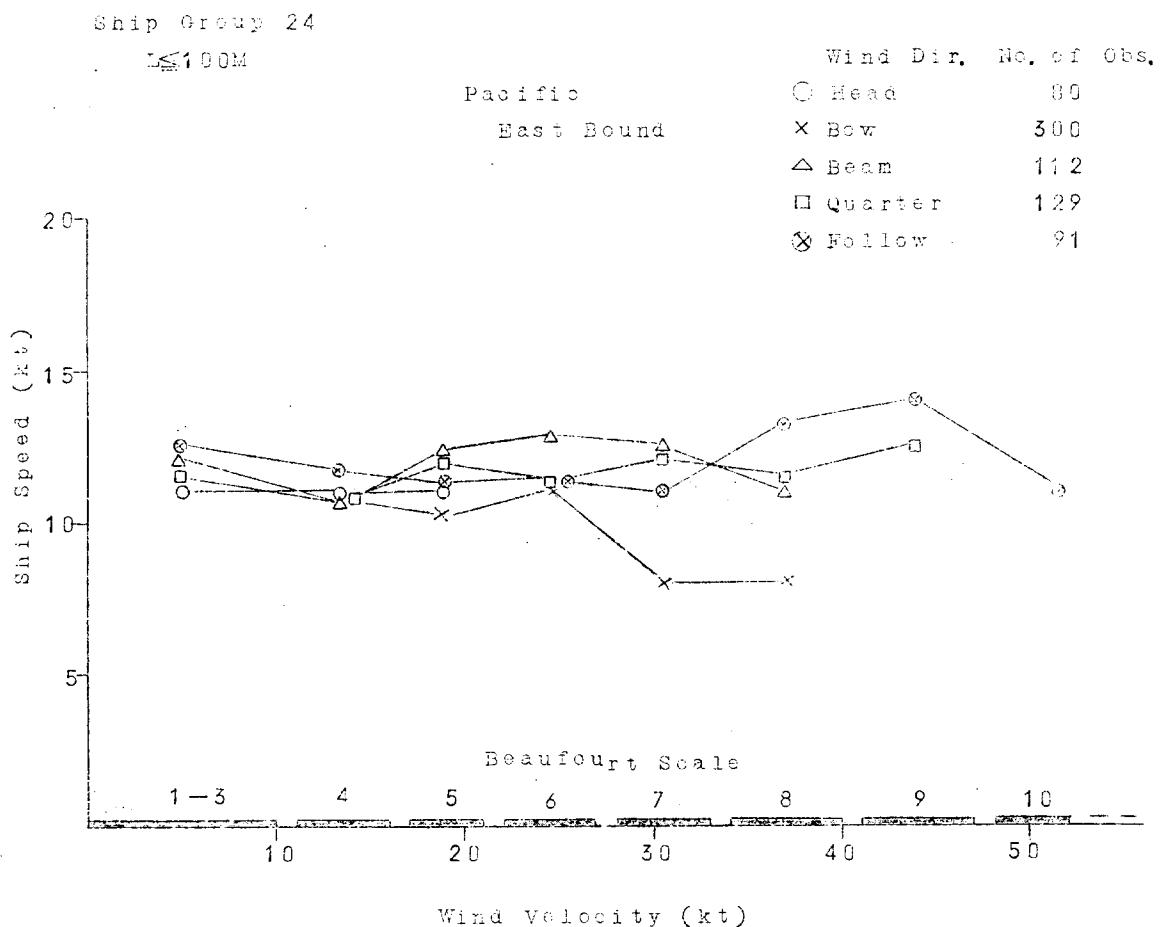


Fig. 5.22-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 24

	Wind Dir.	No. of Obs.
Pacific	○ Head	248
All Course	× Bow	667
	△ Beam	634
	□ Quarter	454
	⊗ Follow	263

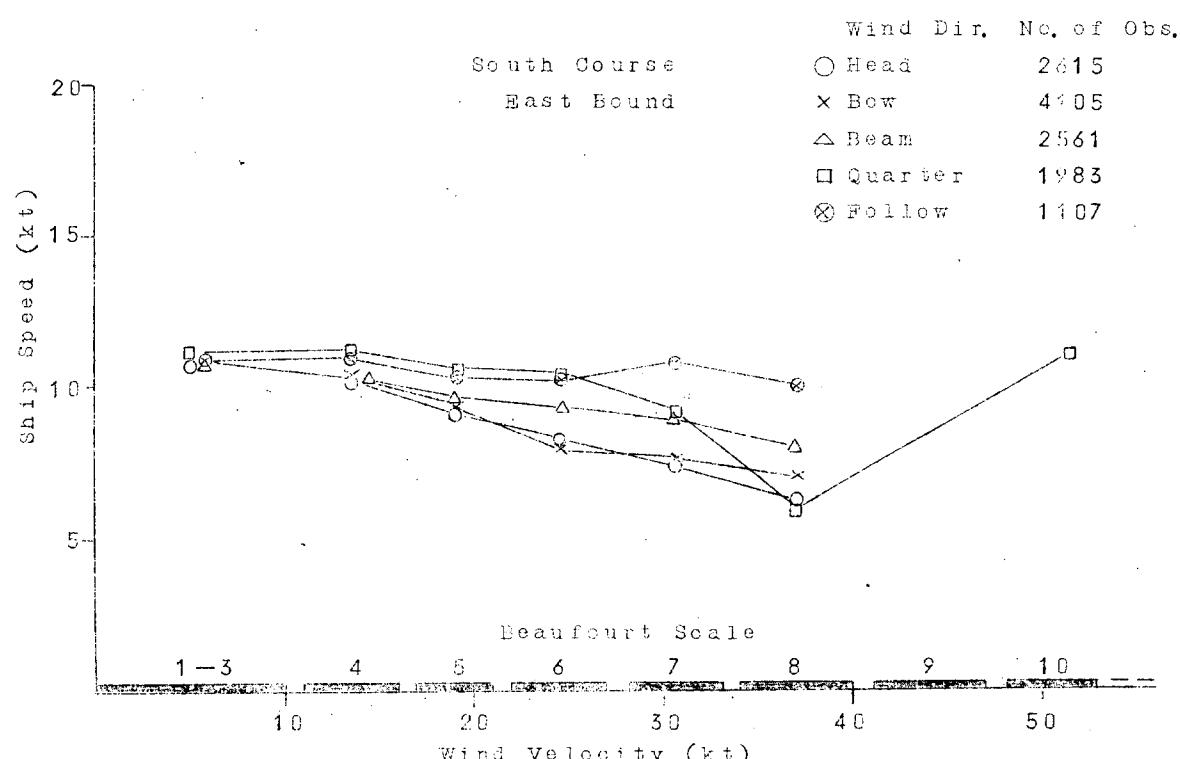
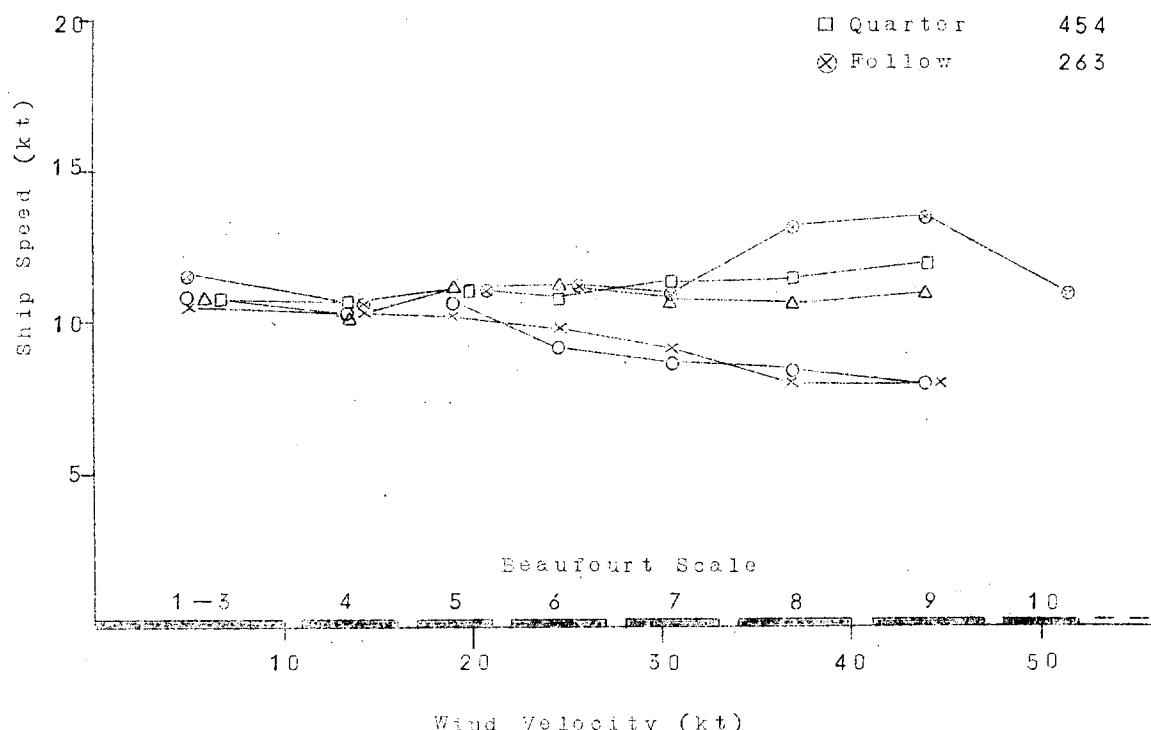


Fig. 5.22-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 24

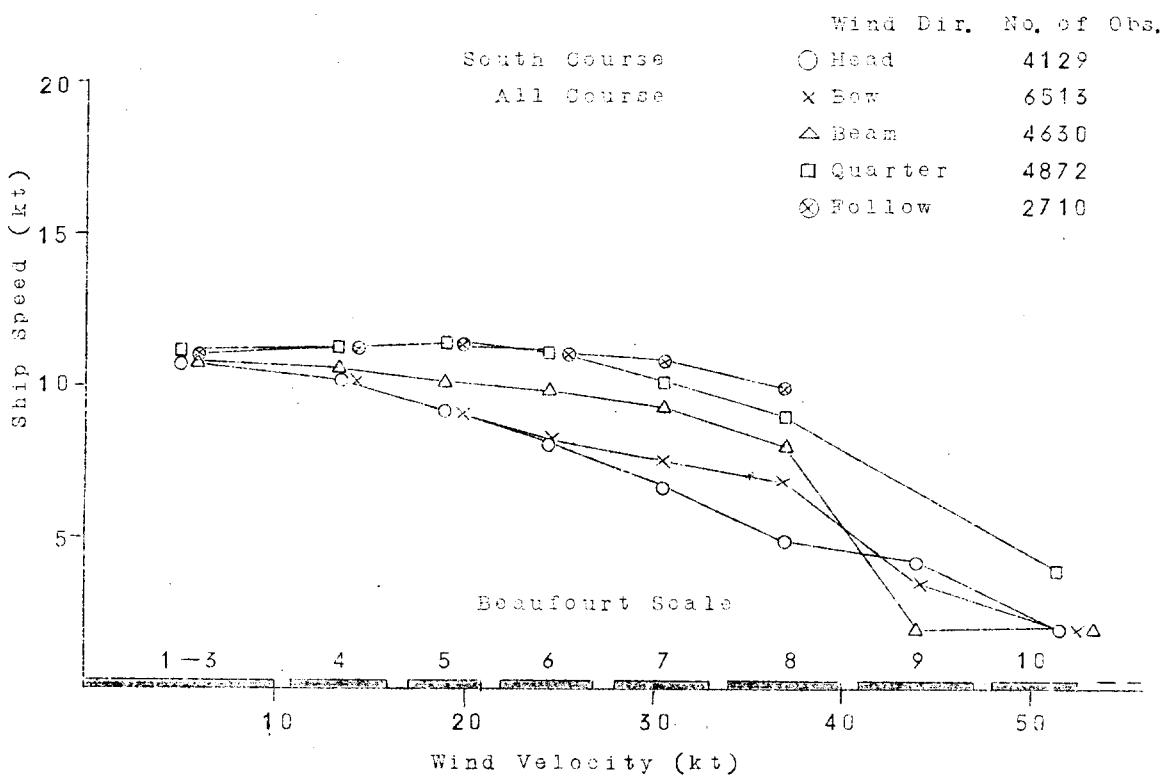
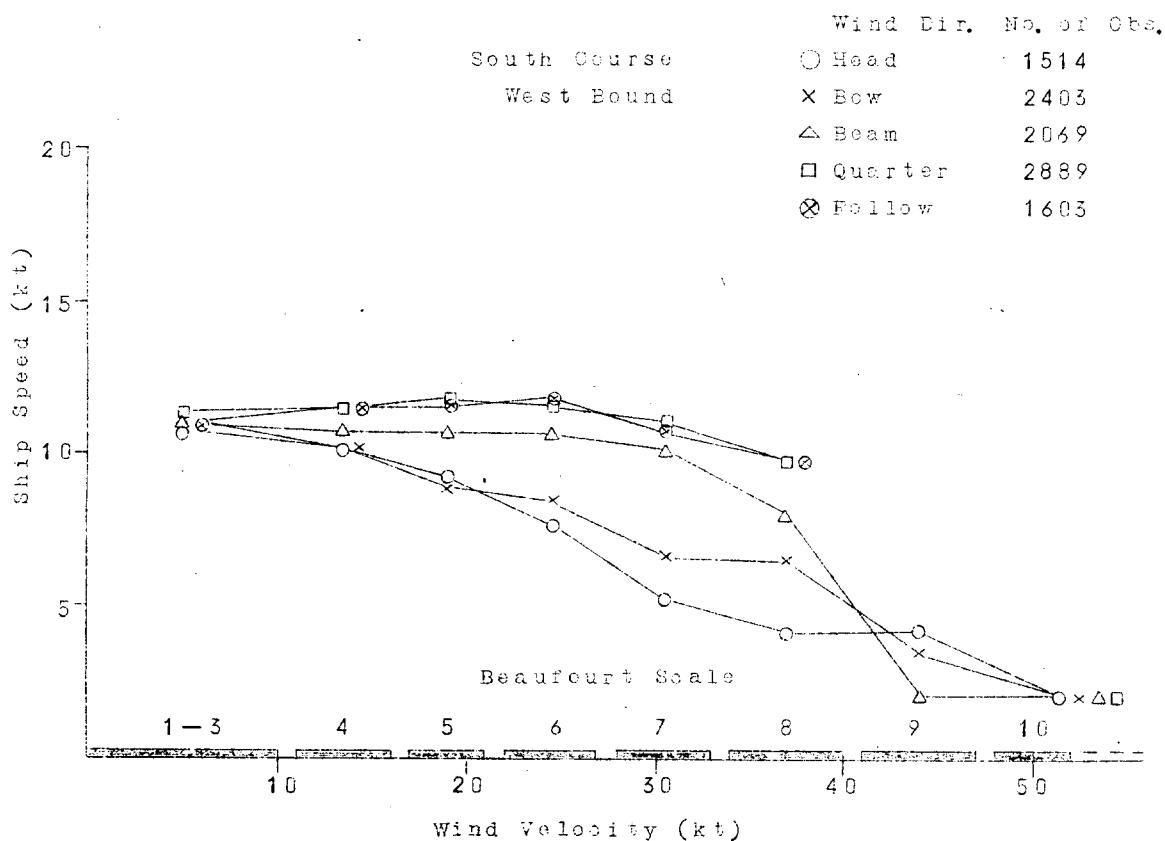


Fig. 5.22-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

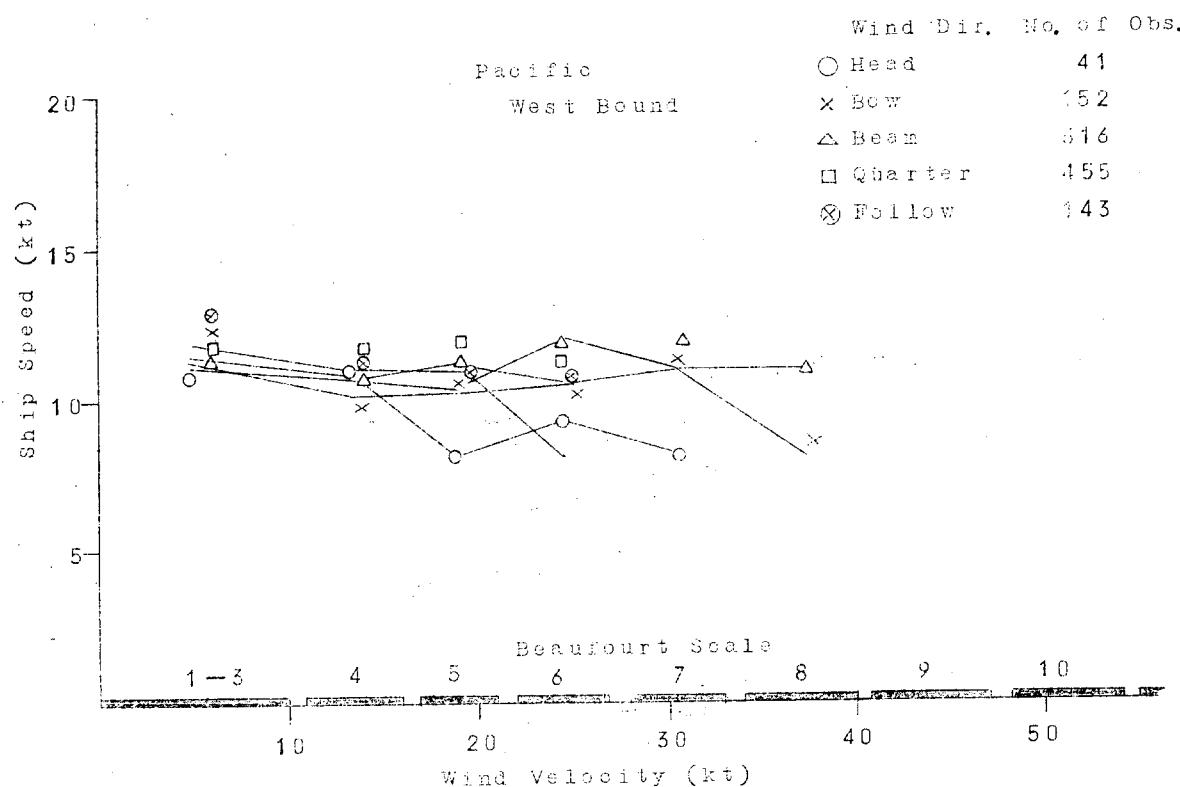
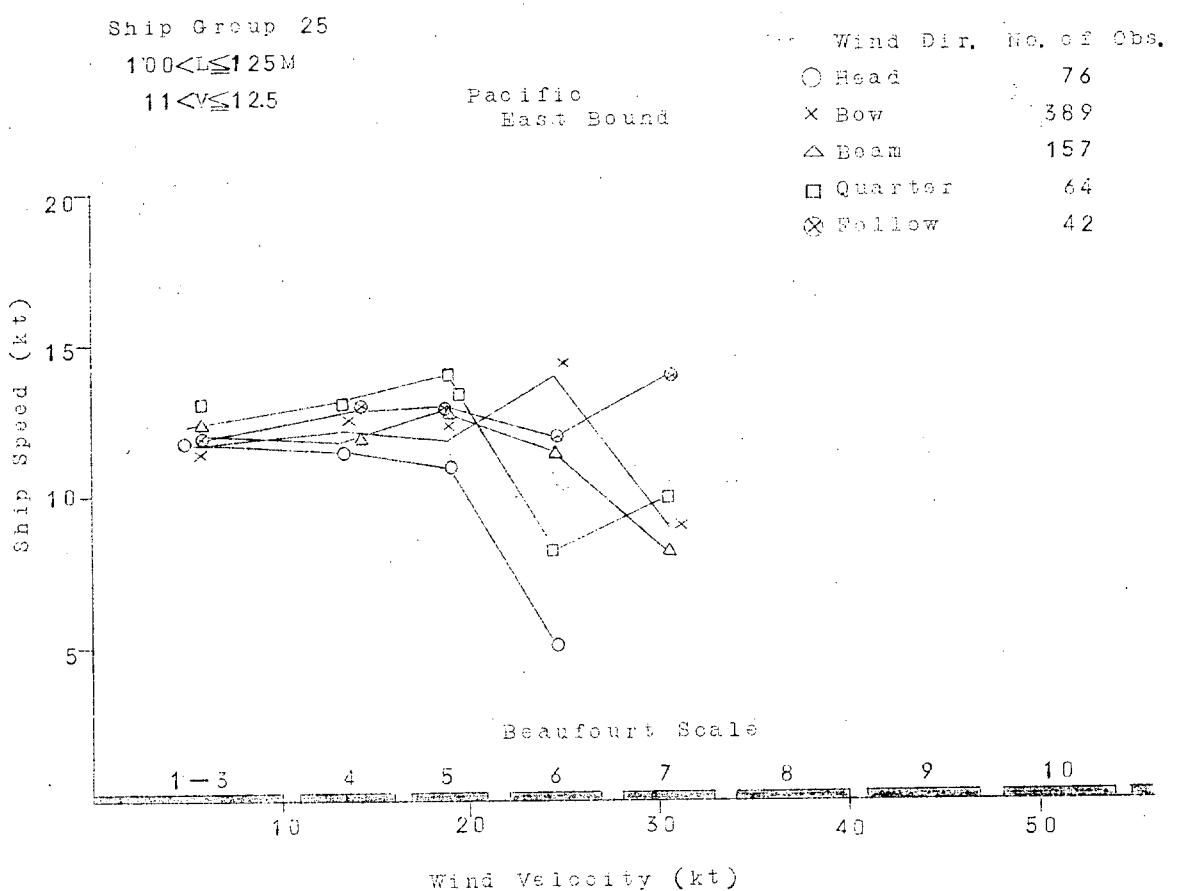


Fig. 5.23-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 25

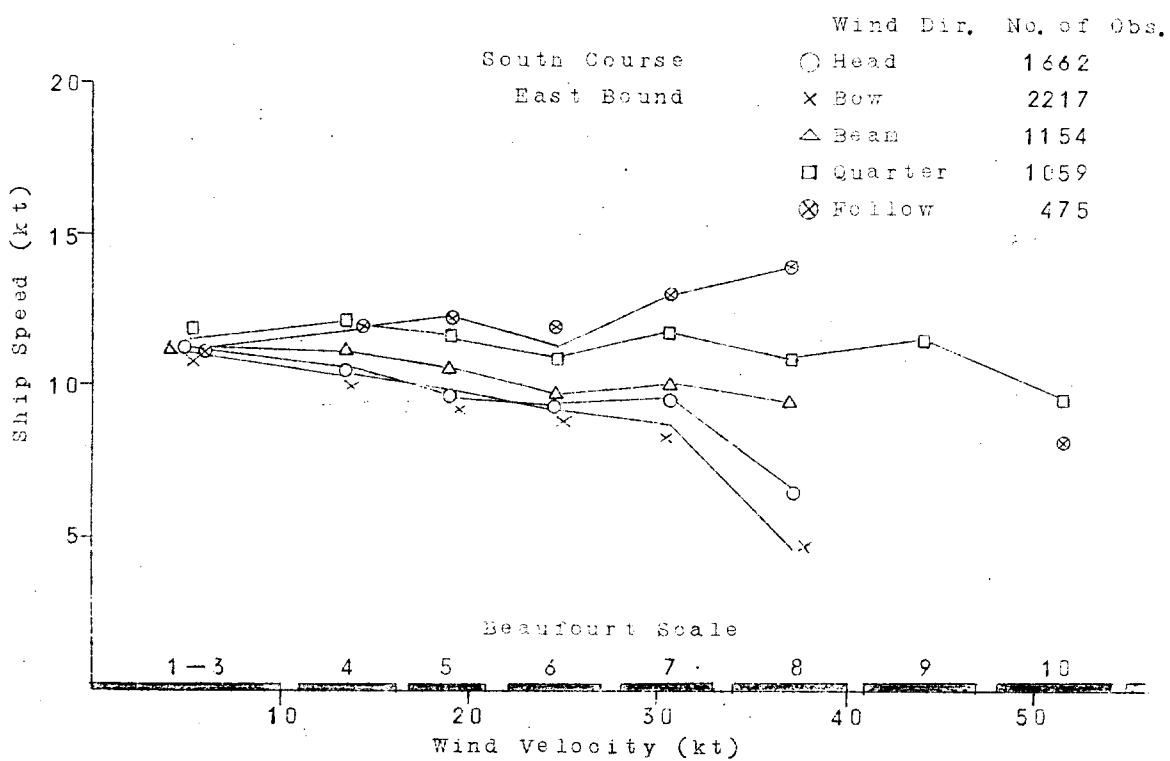
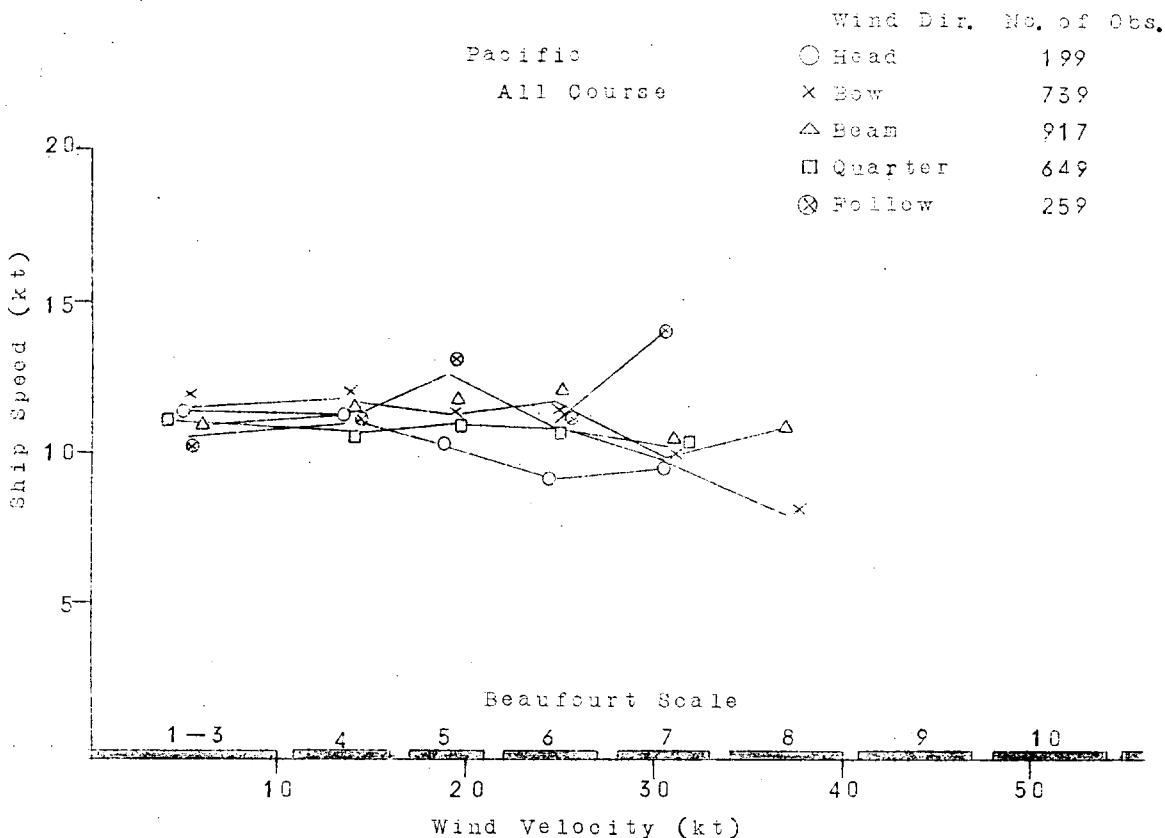


Fig. 5.23-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 25

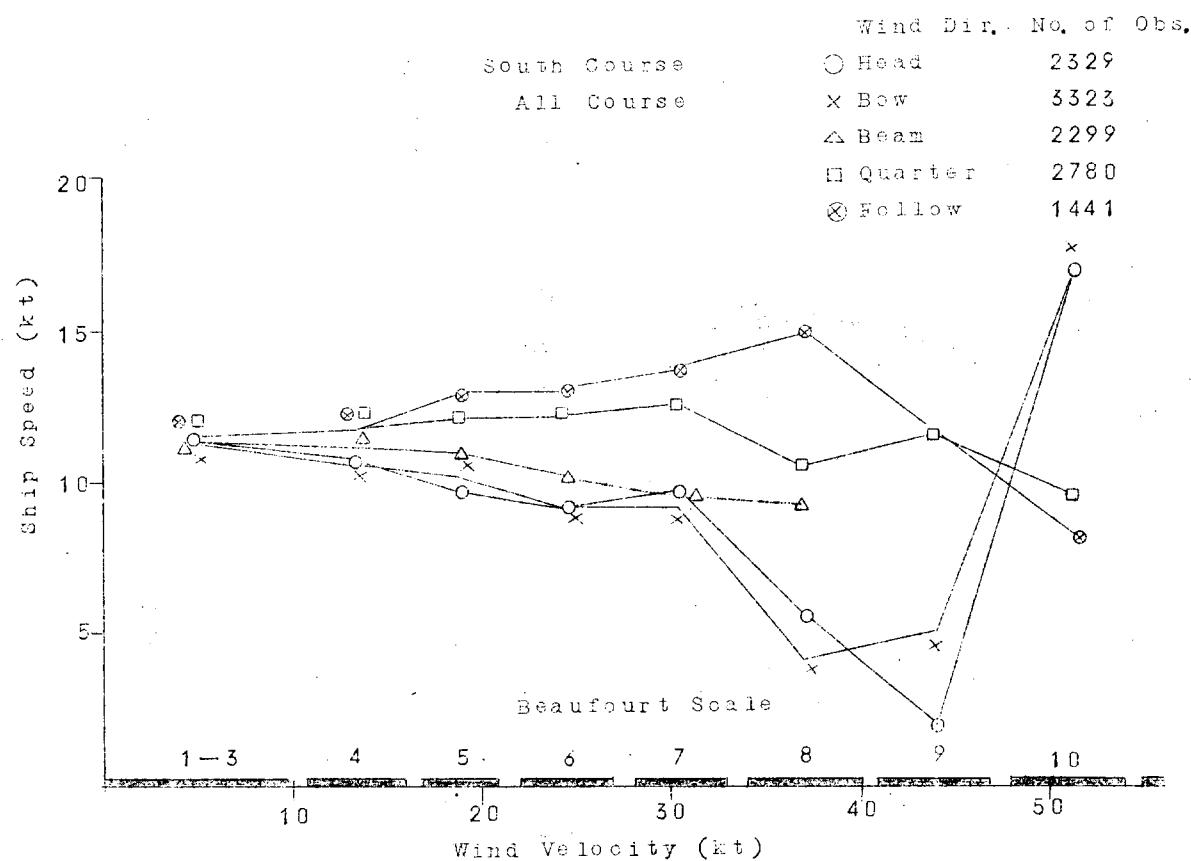
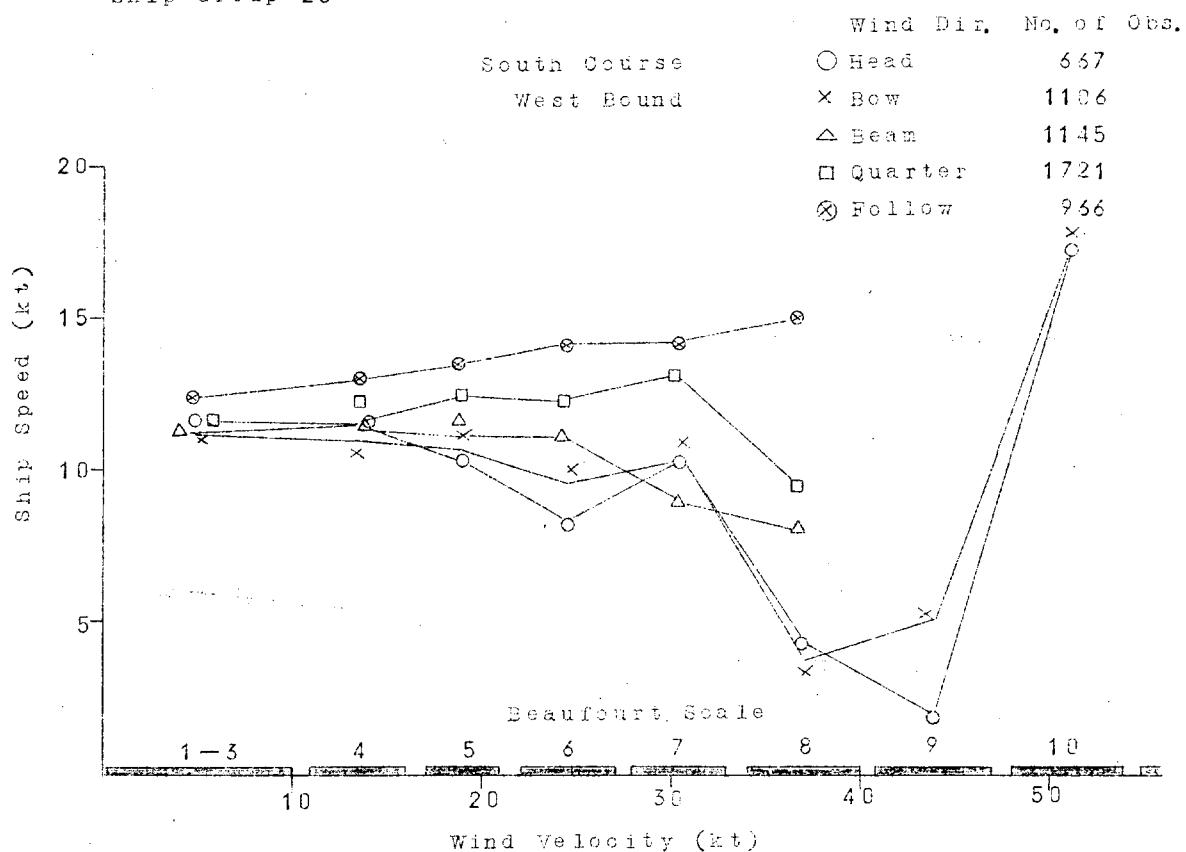


Fig. 5.23-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 26

$100 < L \leq 125 M$

$12.5 < V \leq 14$

Pacific

East Bound

Wind Dir. No. of Obs.

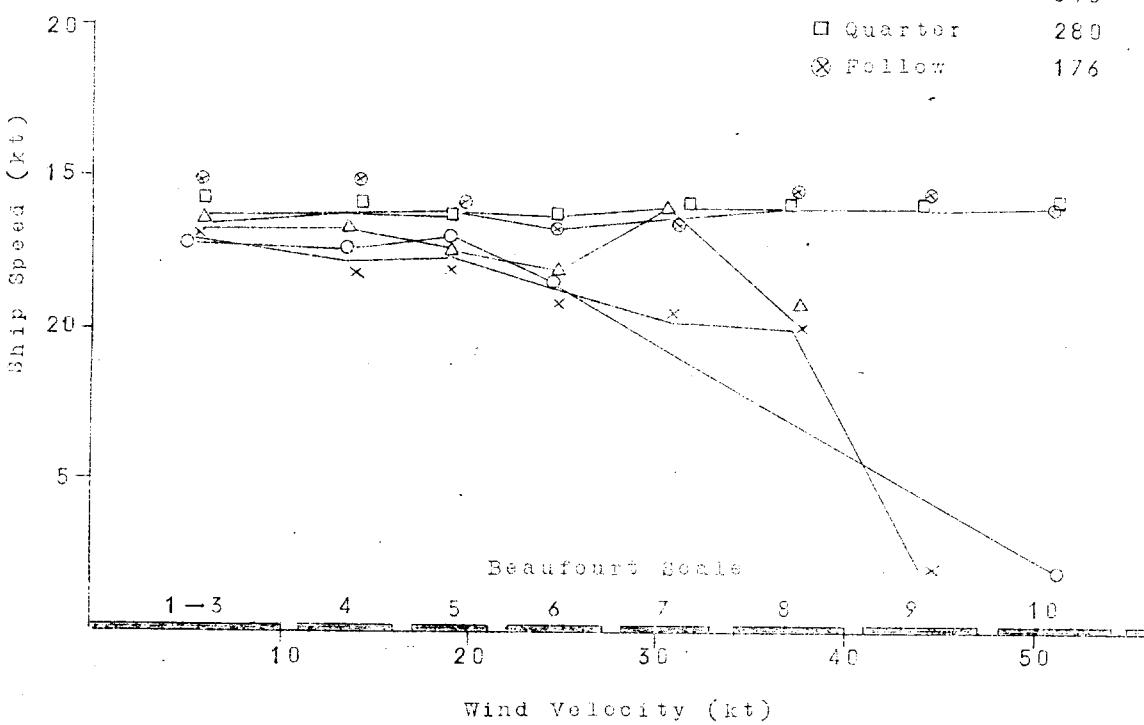
○ Head 171

× Bow 737

△ Beam 345

□ Quarter 280

⊗ Follow 176



Wind Dir. No. of Obs.

Pacific

West Bound

○ Head 372

× Bow 45

△ Beam 613

□ Quarter 675

⊗ Follow 236

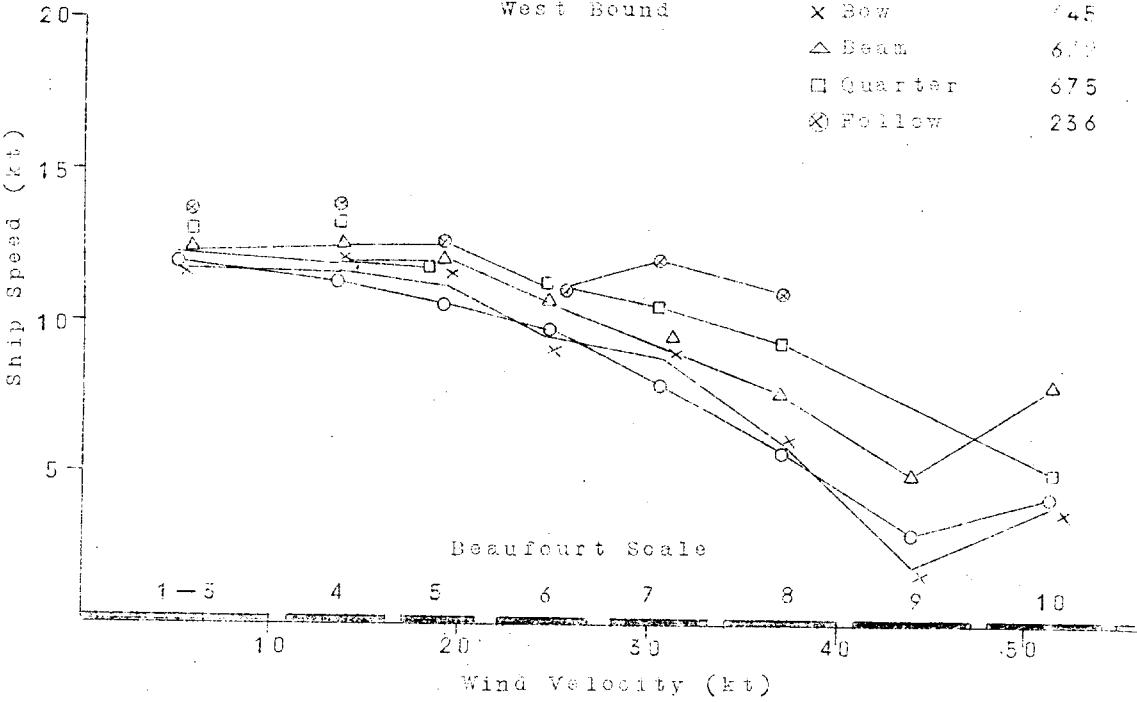
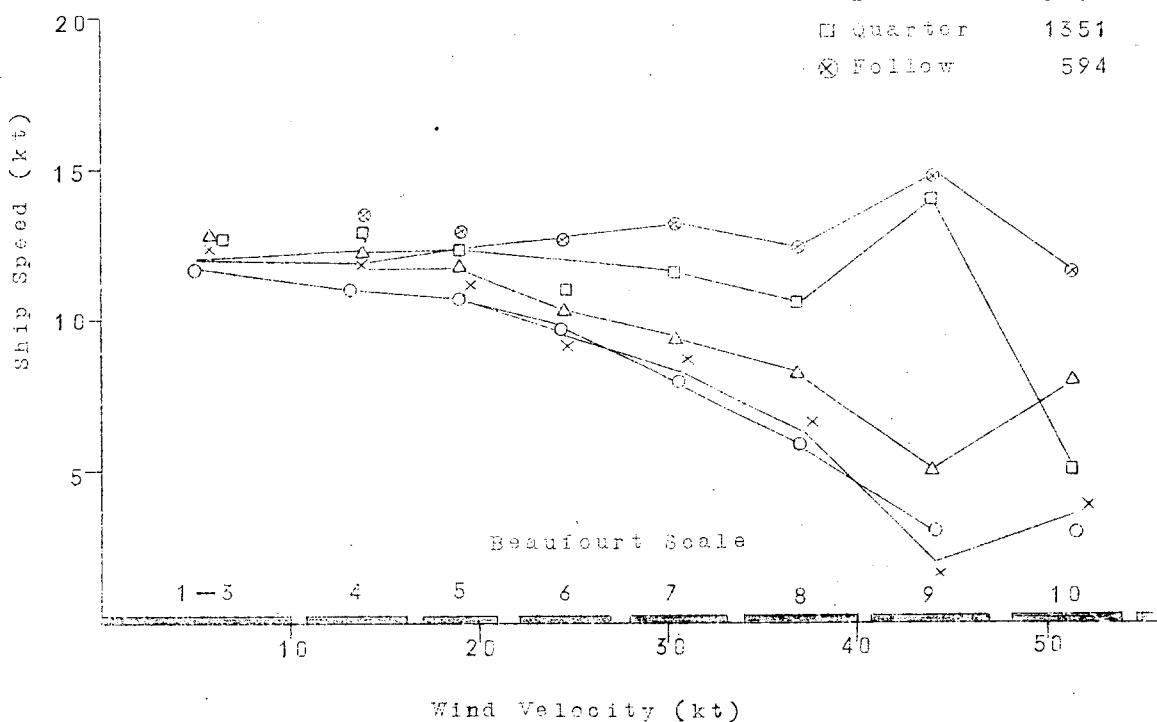


Fig. 5.24-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 26

	Wind Dir.	No. of Obs.
Pacific	○ Head	738
All Course	× Bow	1976
	△ Beam	2053
	□ Quarter	1351
	⊗ Follow	594



	Wind Dir.	No. of Obs.
South Course	○ Head	3778
East Bound	× Bow	4346
	△ Beam	2393
	□ Quarter	2678
	⊗ Follow	1264

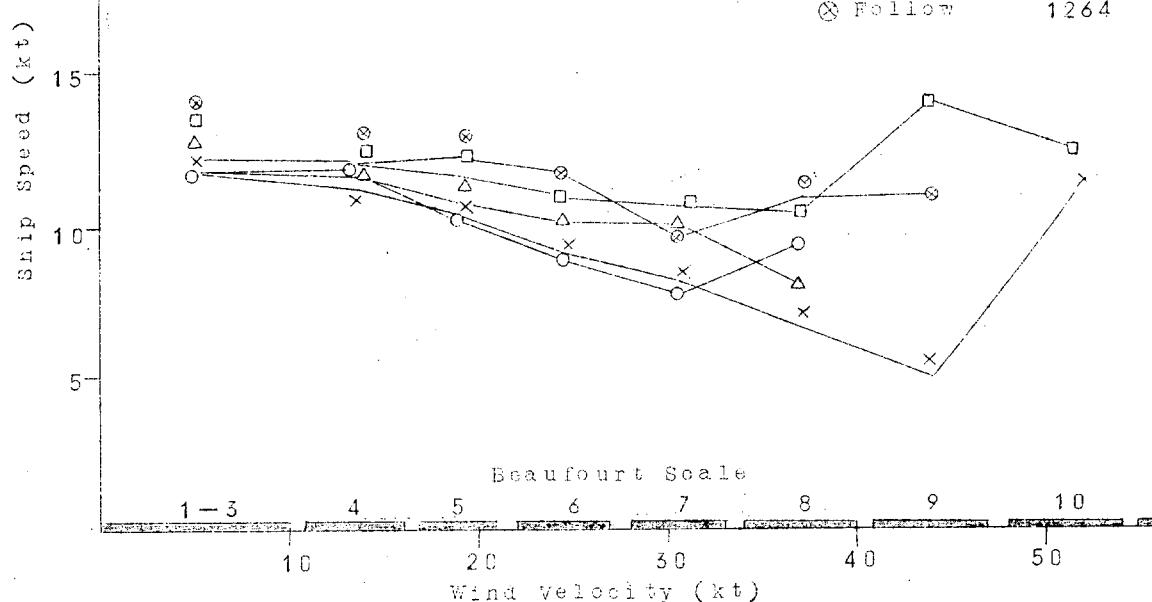


Fig. 5.24--(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 26

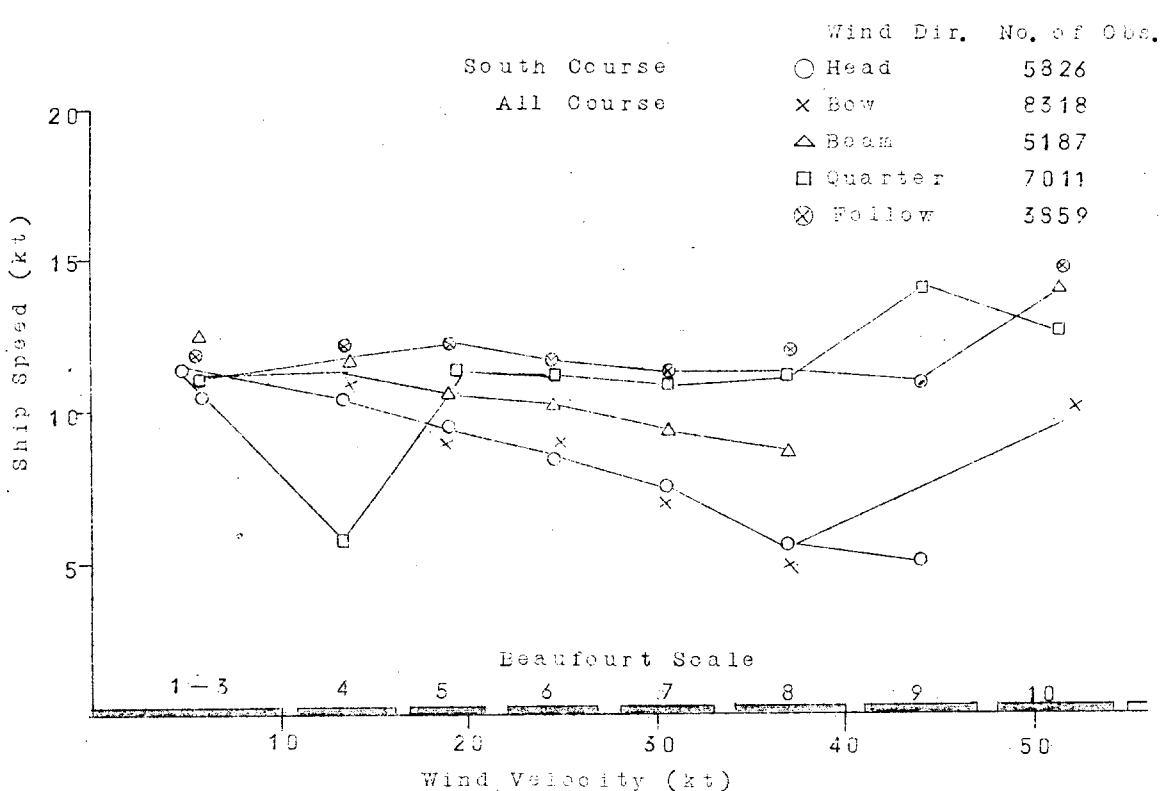
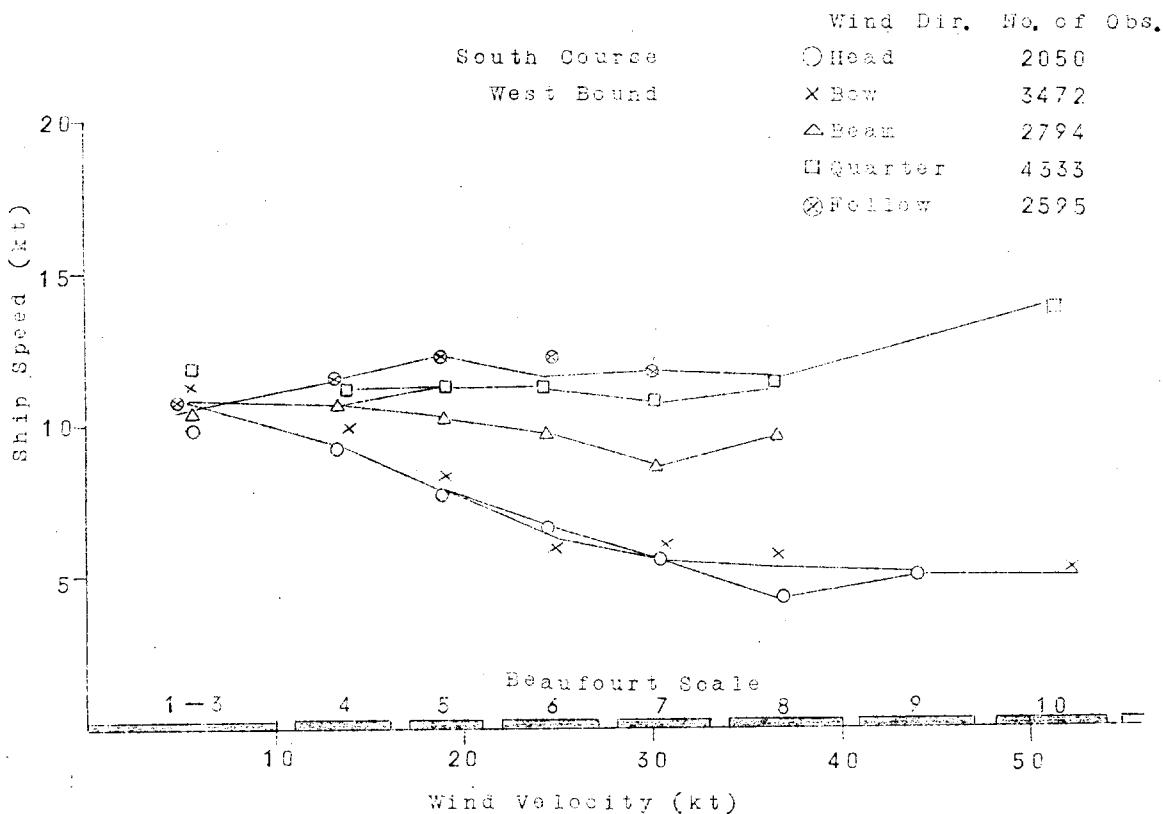


Fig. 5.24-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

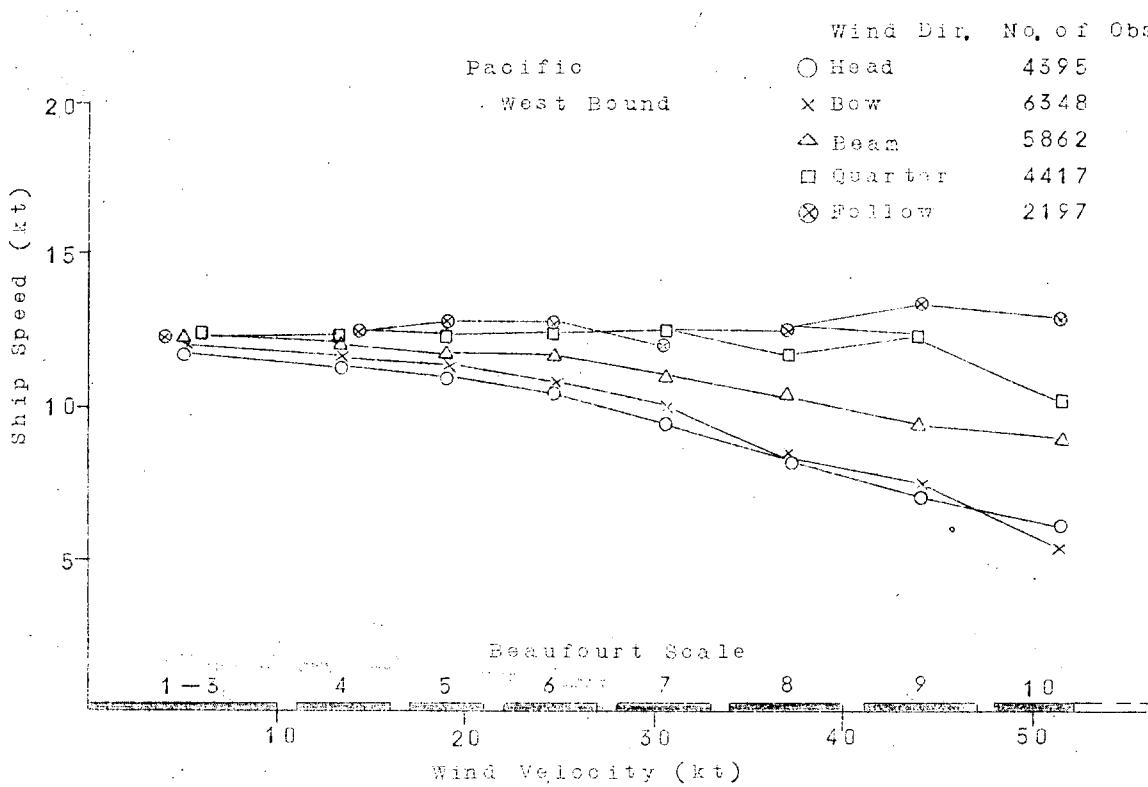
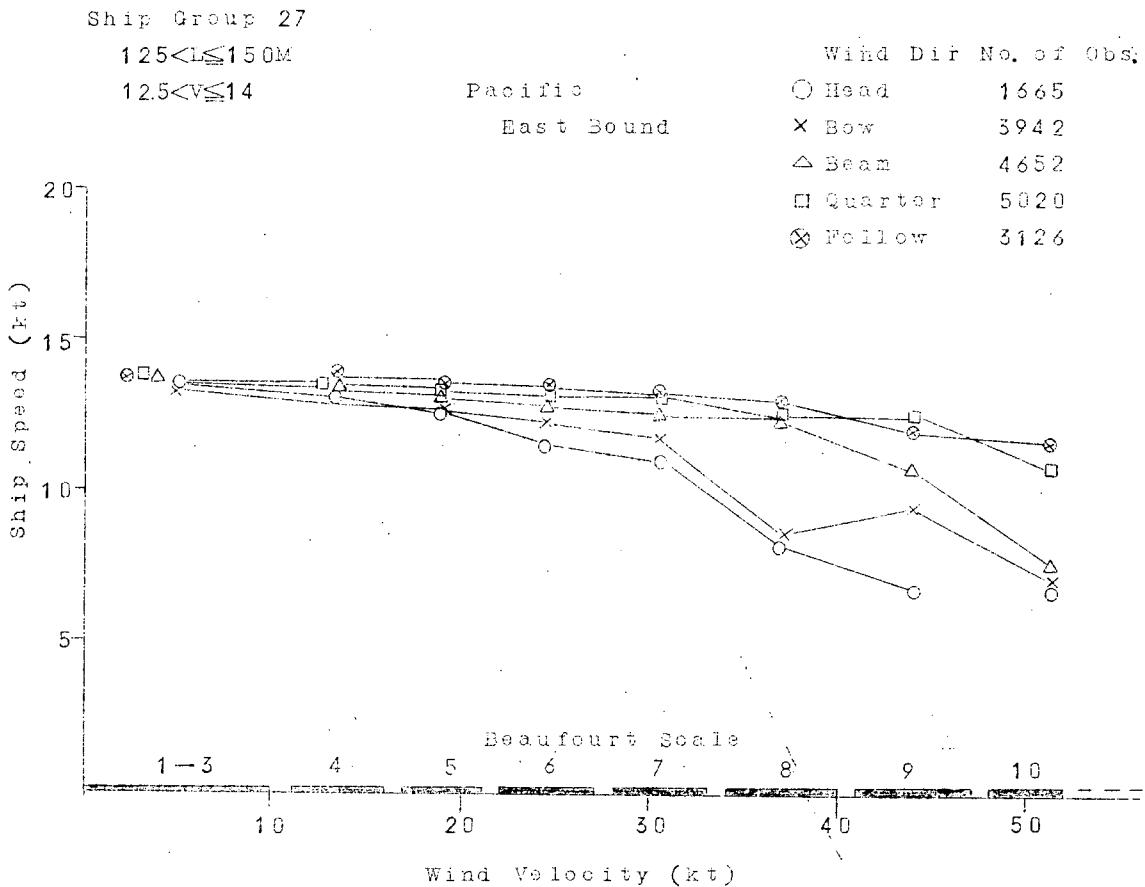


Fig. 5.25-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 27

	Wind Dir.	No. of Obs.
Pacific	○ Head	6595
All Course	× Bow	11077
	△ Beam	11719
	□ Quarter	10262
	⊗ Follow	5812

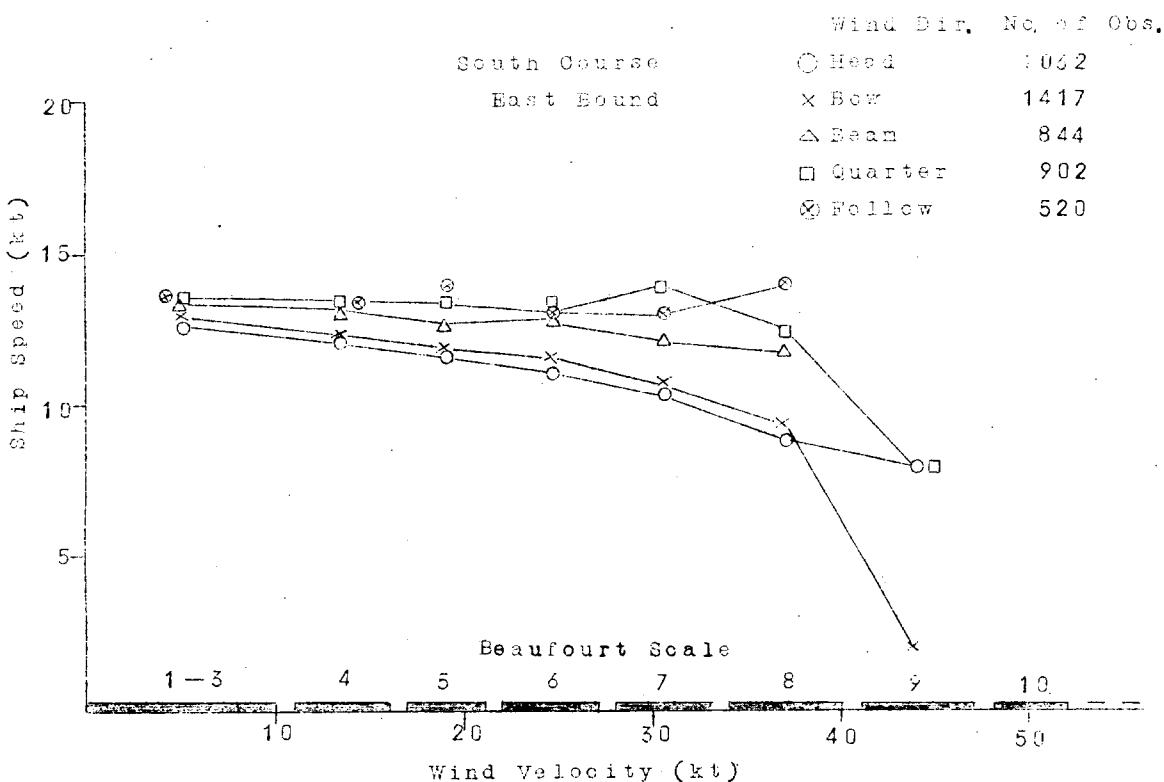
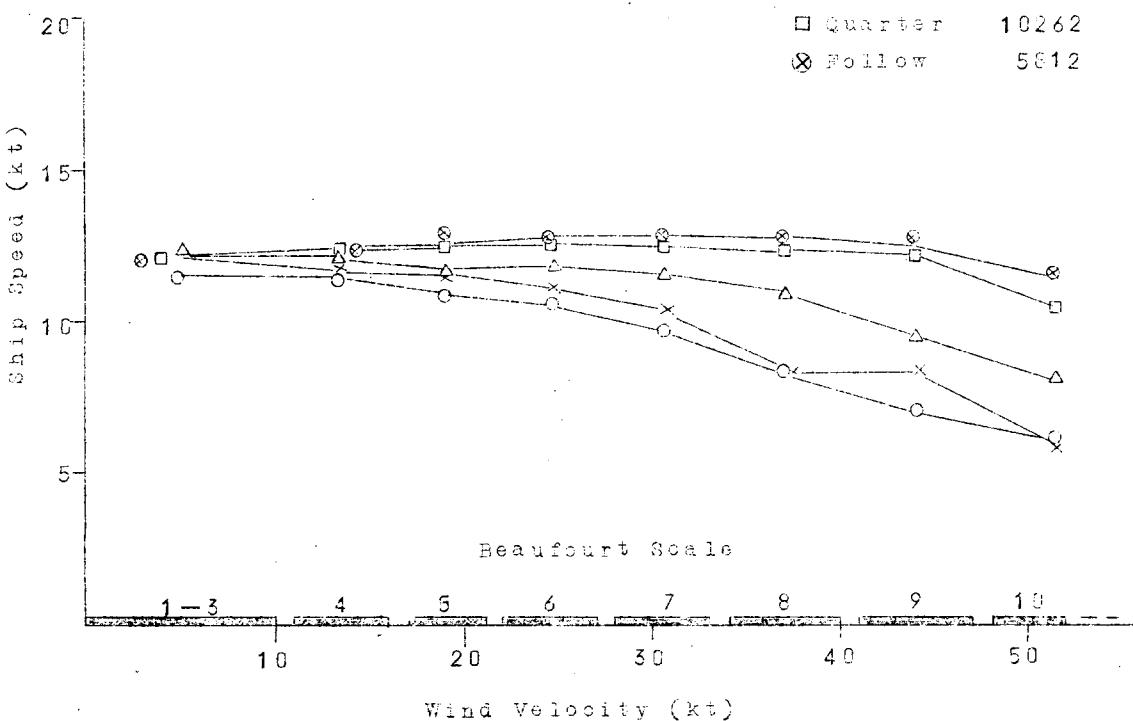


Fig. 5.25-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 27

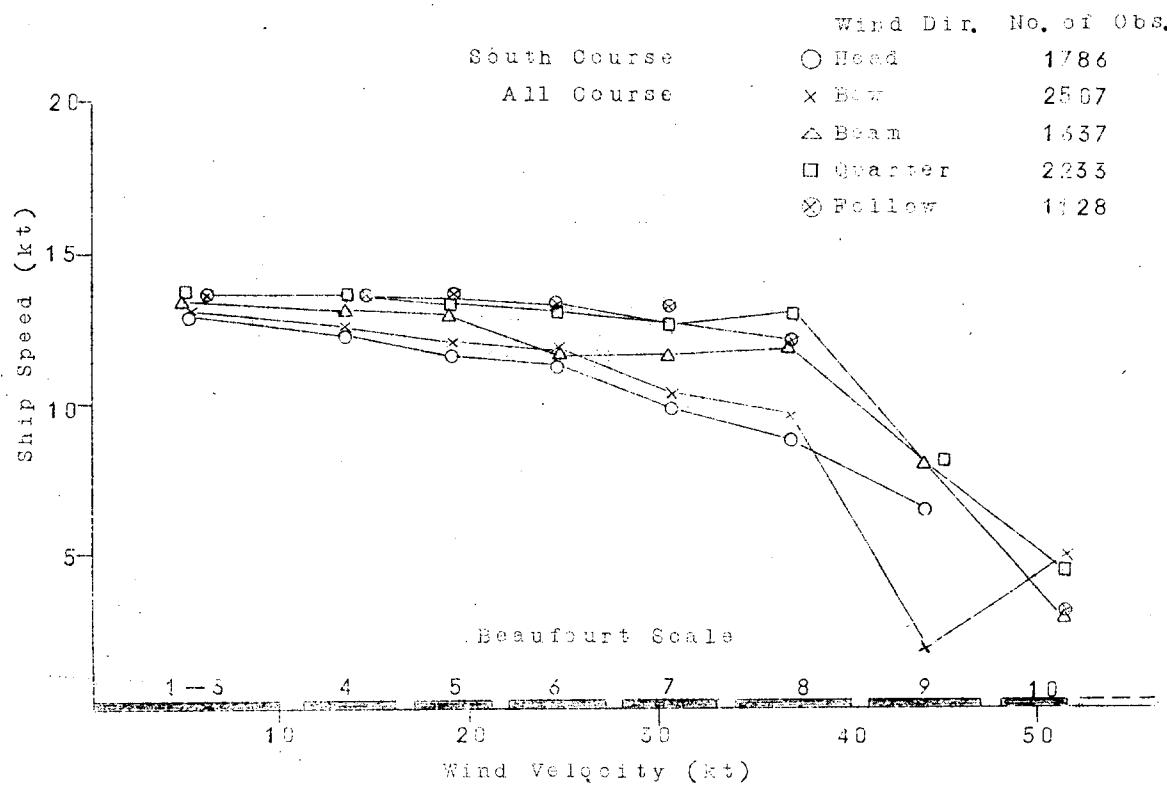
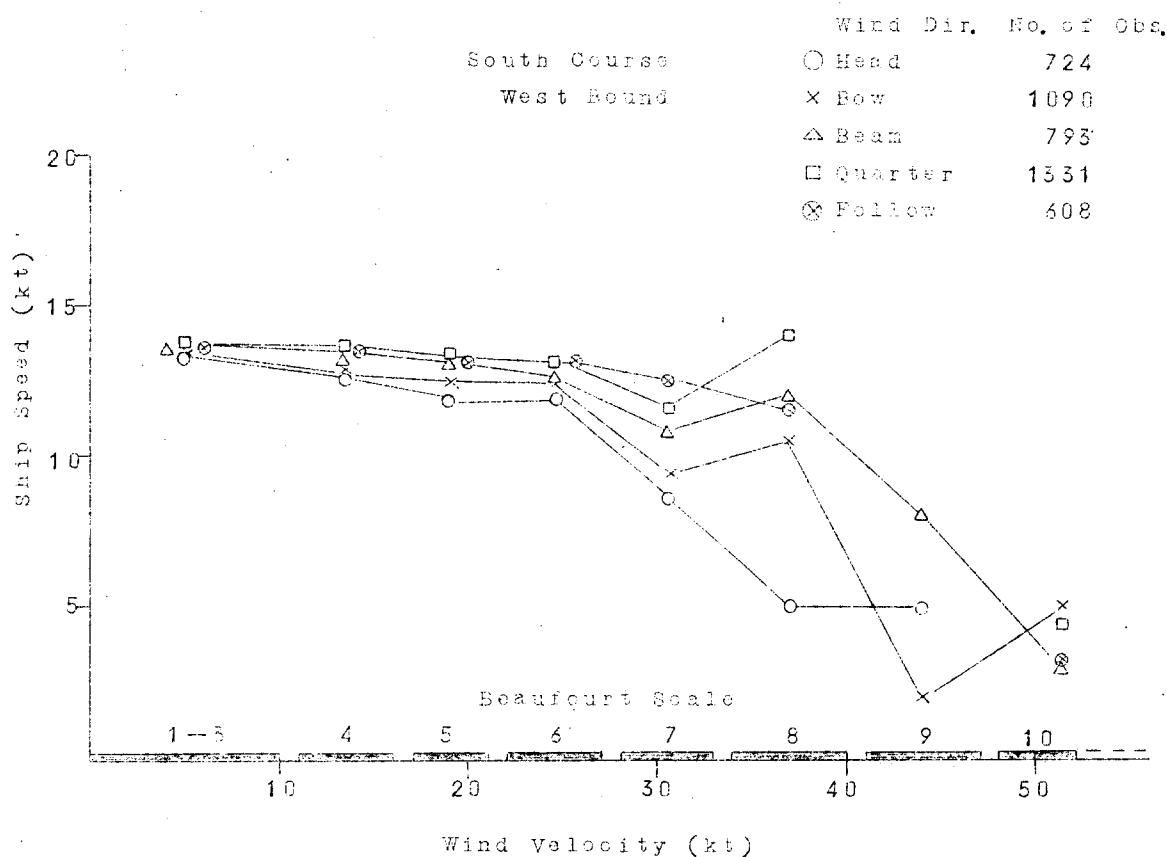


Fig. 5.25-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 28

$125 < L \leq 150 \text{M}$

$14 < v \leq 15.5$

Pacific

East Bound

Wind Dir. No. of Obs.

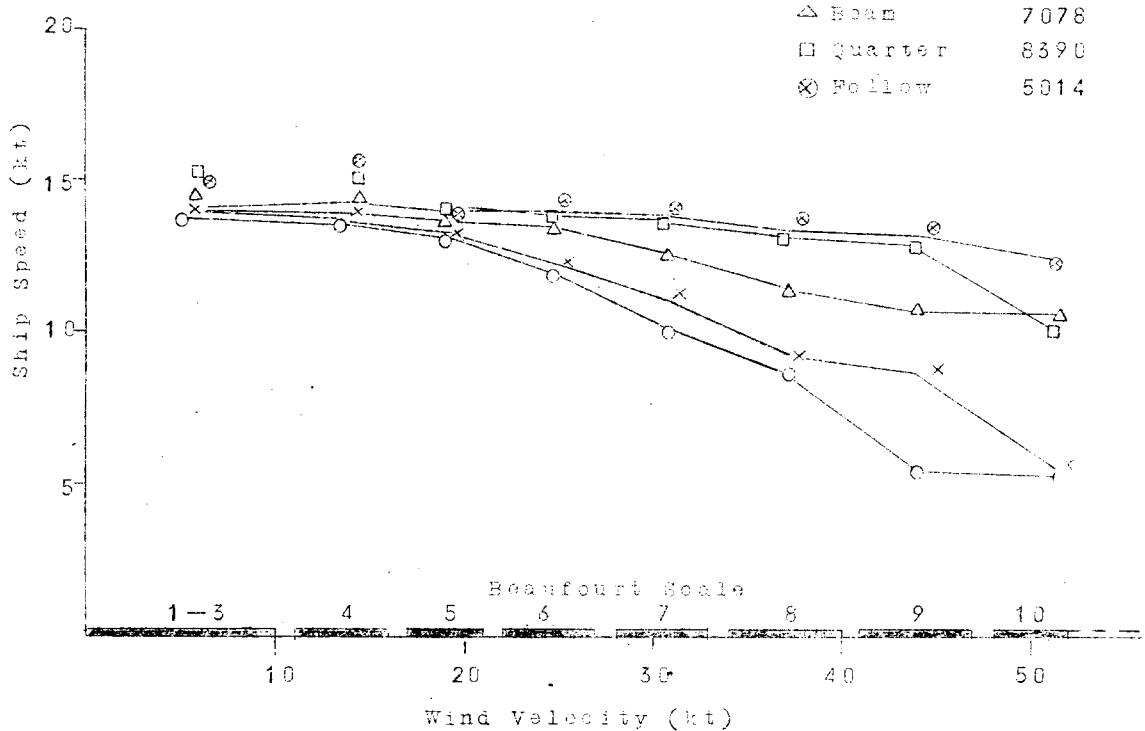
○ Head 2560

× Bow 5957

△ Beam 7078

□ Quarter 8390

⊗ Follow 5014



Wind Dir. No. of Obs.

Pacific

West Bound

○ Head 6789

× Bow 10552

△ Beam 9763

□ Quarter 6619

⊗ Follow 3392

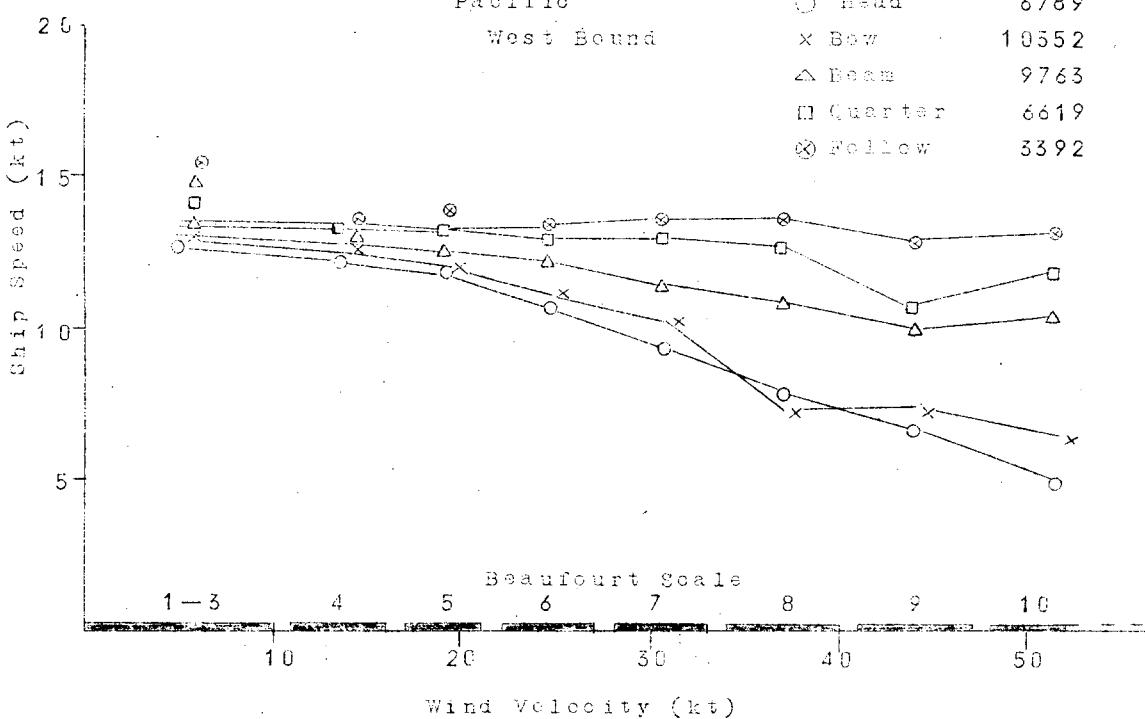


Fig. 5.26-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 28

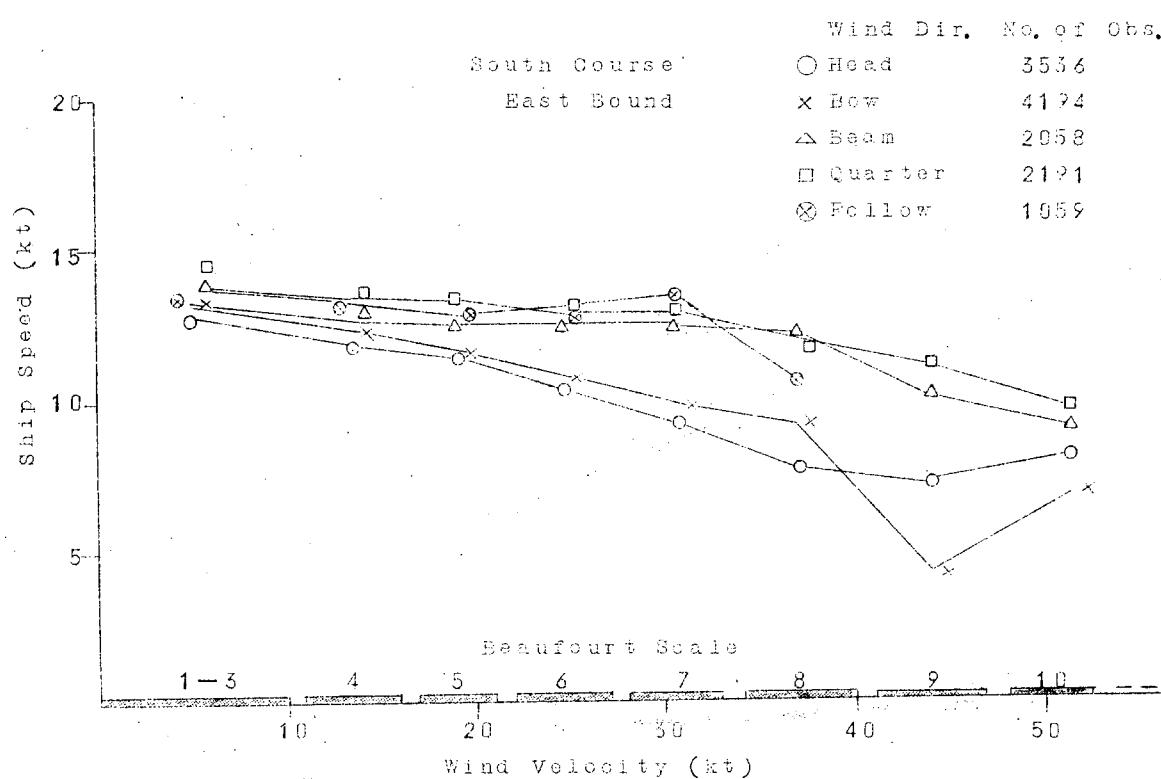
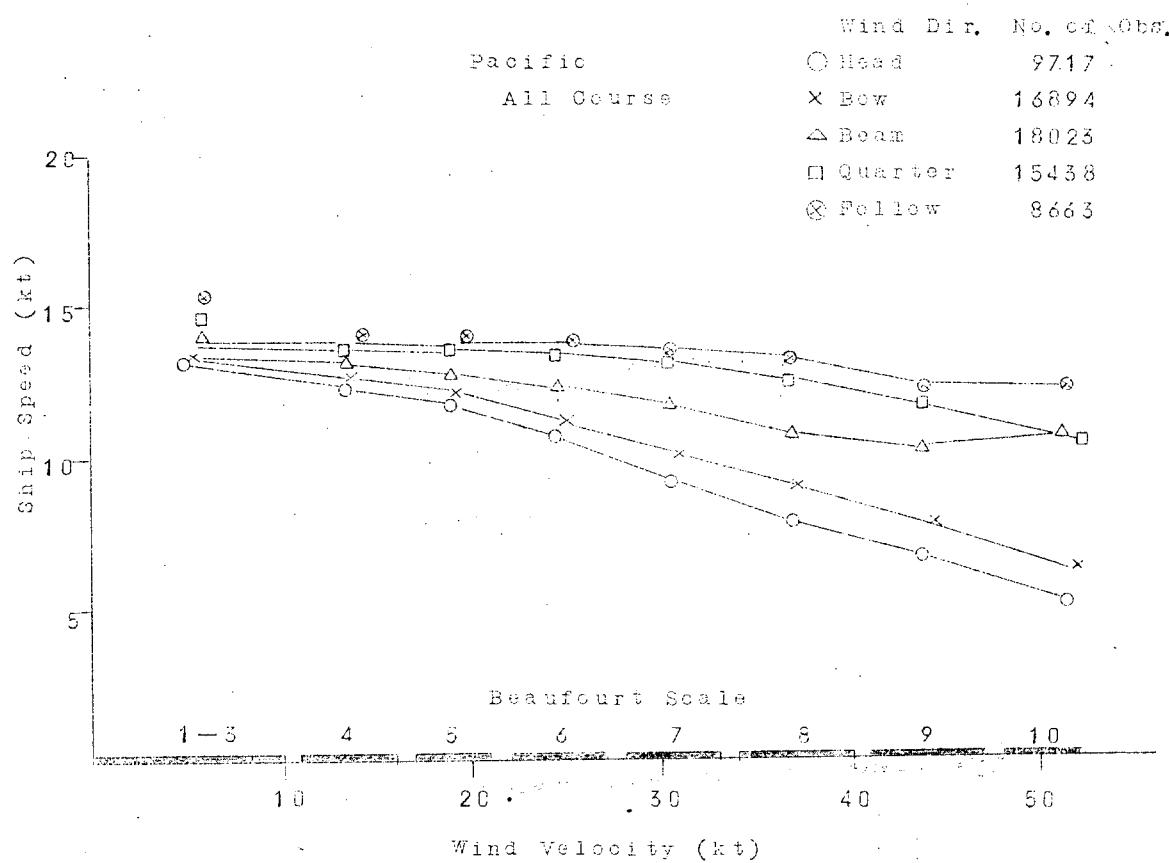


Fig. 5.26-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

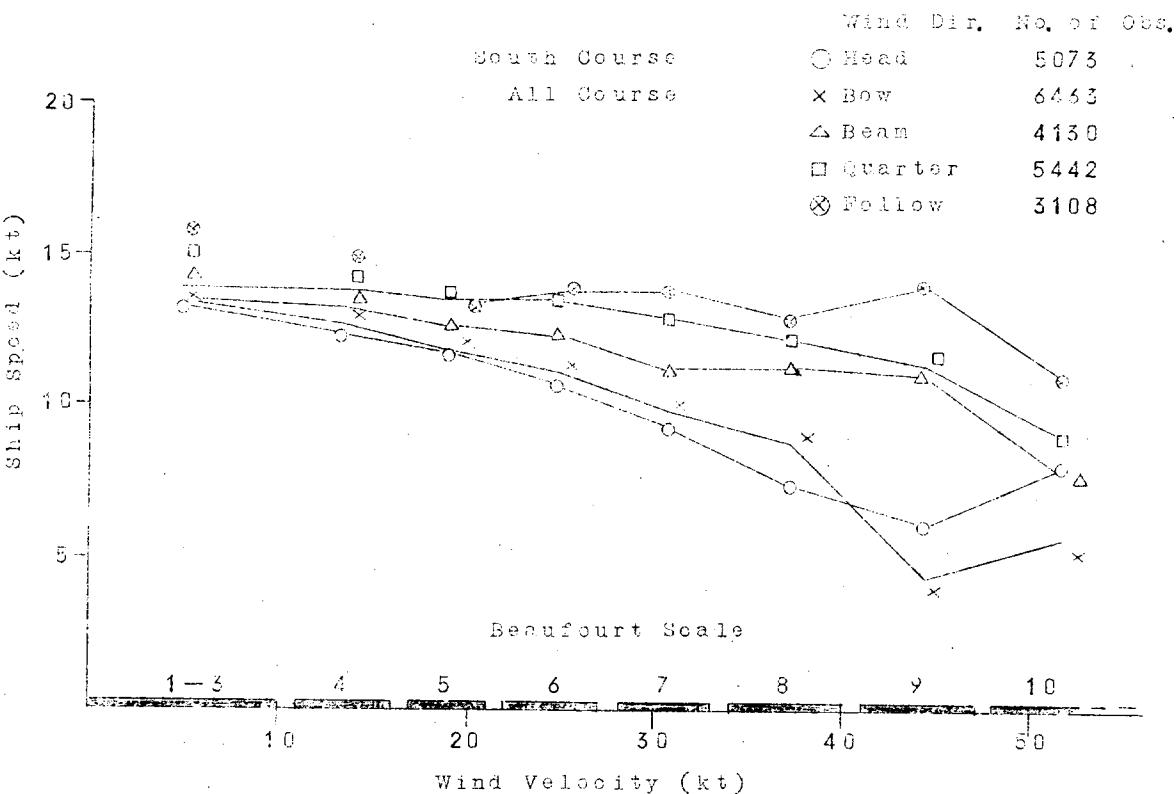
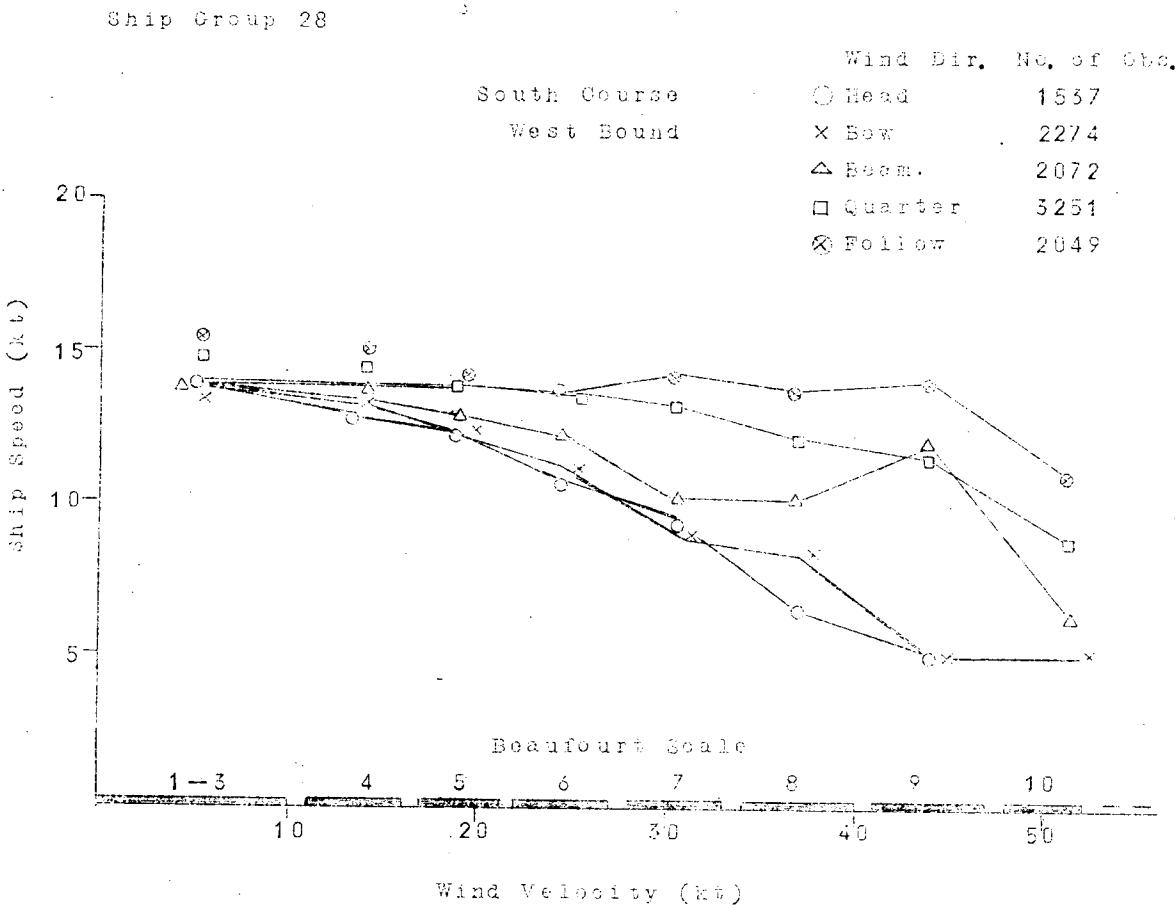


Fig. 5.26-(e) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 29

$12.5 < L \leq 15.0$

$15.5 < V \leq 17$

Pacific

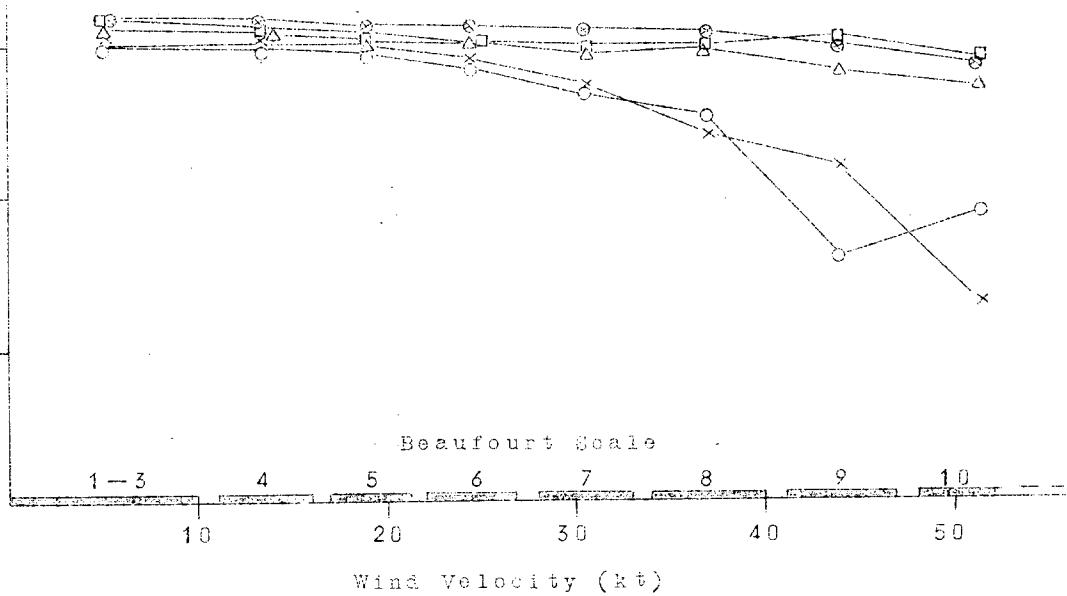
East Bound

Wind Dir. No. of Obs.

○ Head	1428
× Bow	2975
△ Beam	4186
□ Quarter	4371
⊗ Follow	2807

20

Ship Speed (kt)



Wind Dir. No. of Obs.

Pacific	○ Head	3503
West Bound	× Bow	5415
	△ Beam	5491
	□ Quarter	3493
	⊗ Follow	1872

20

Ship Speed (kt)

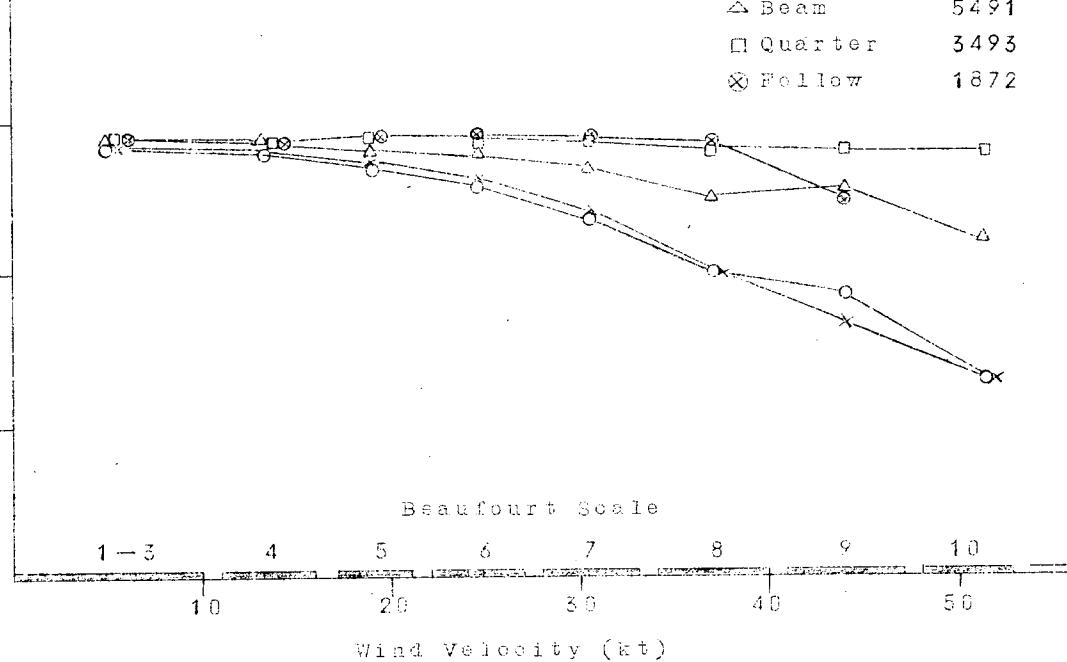


Fig. 5.27-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 29

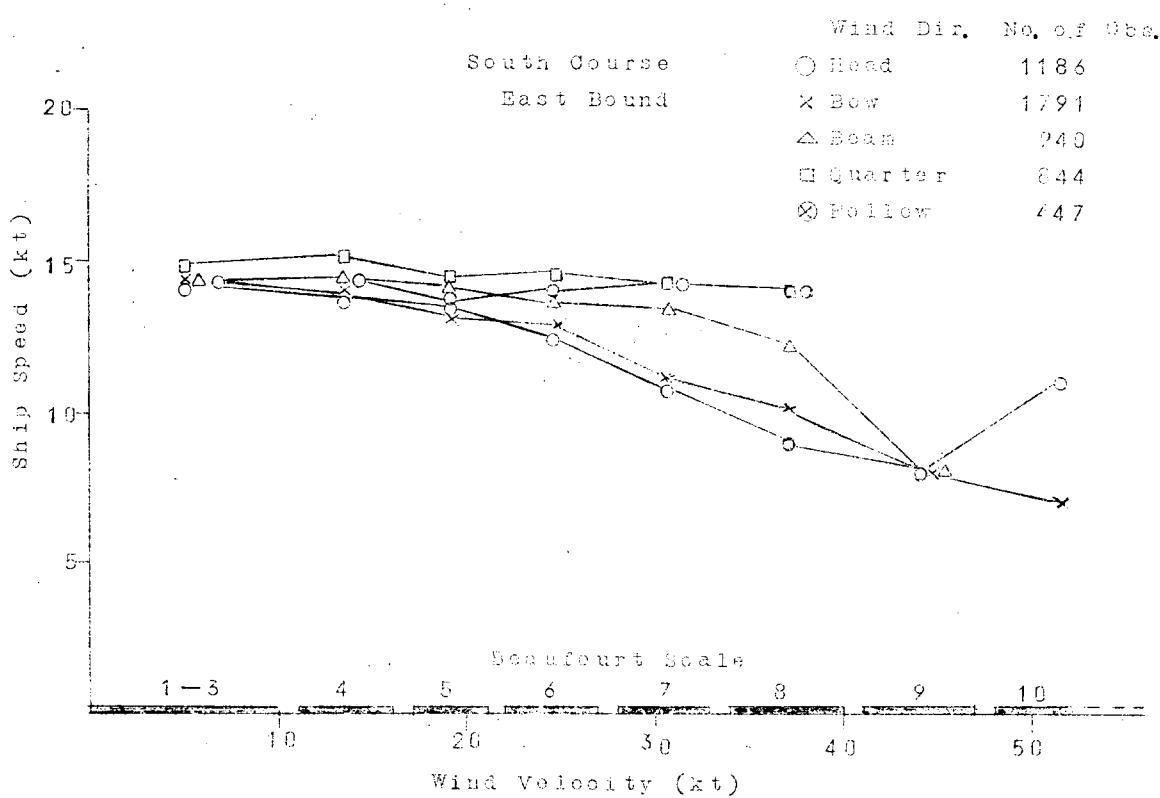
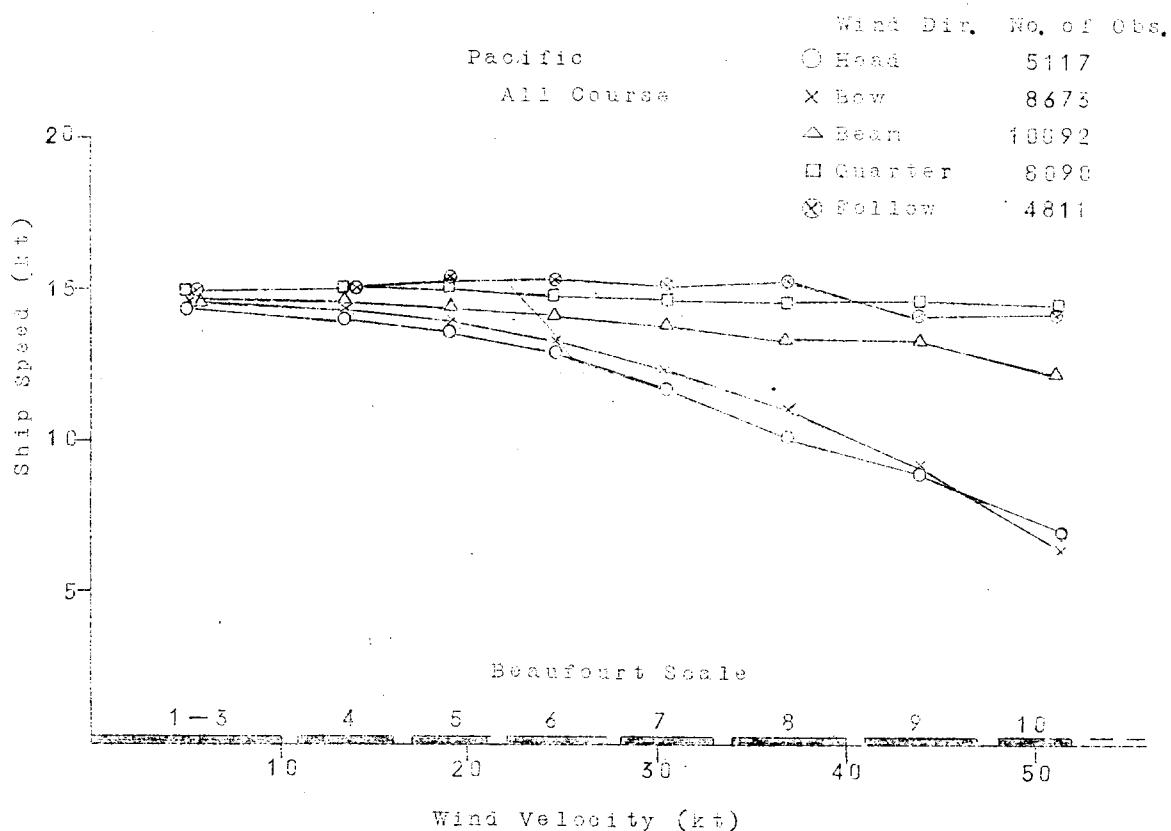


Fig. 5.27-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

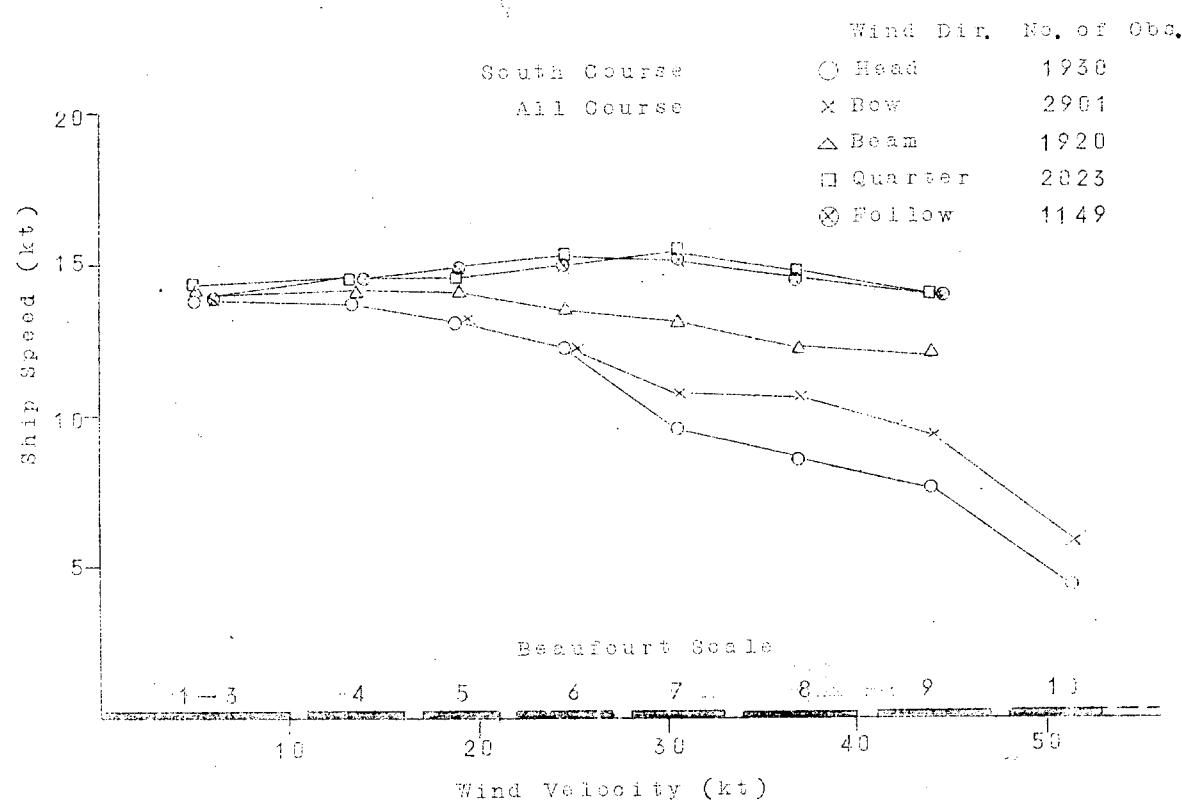
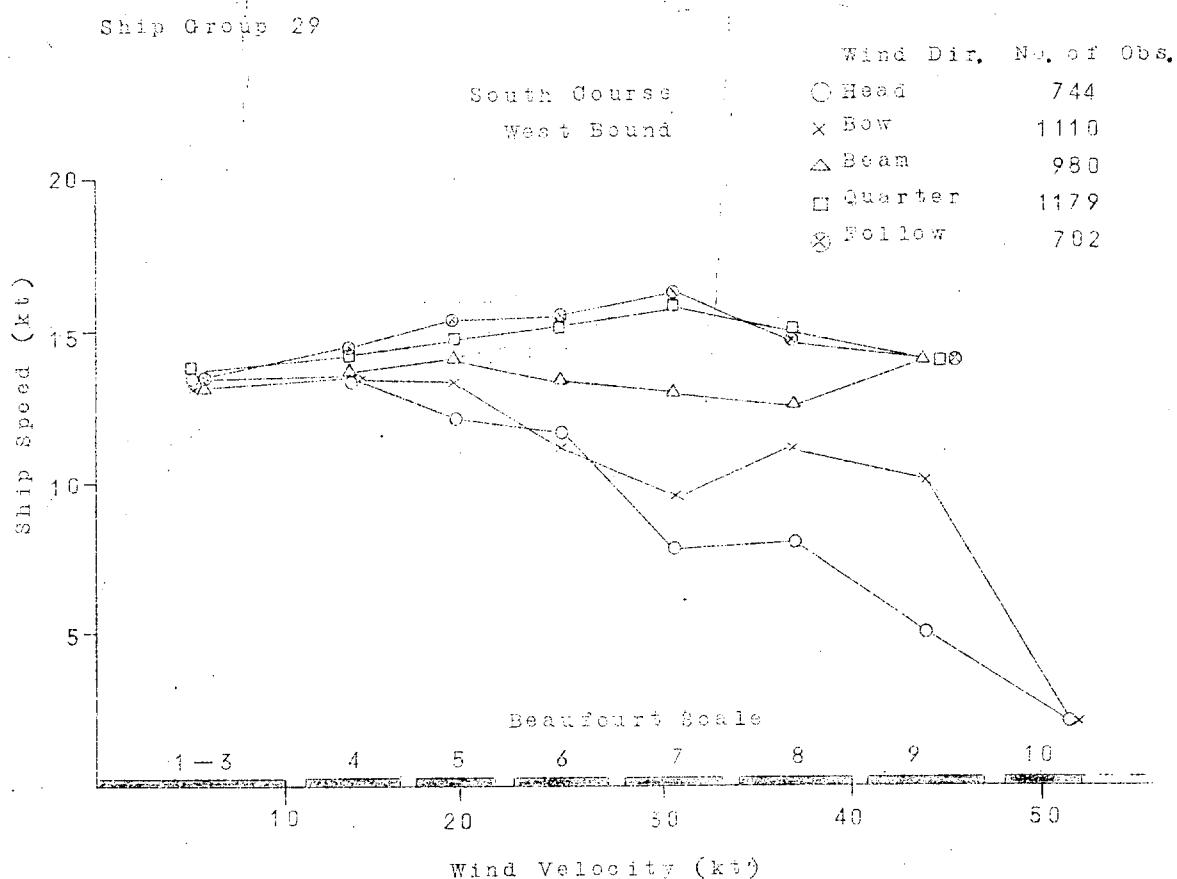


Fig. 5.27-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

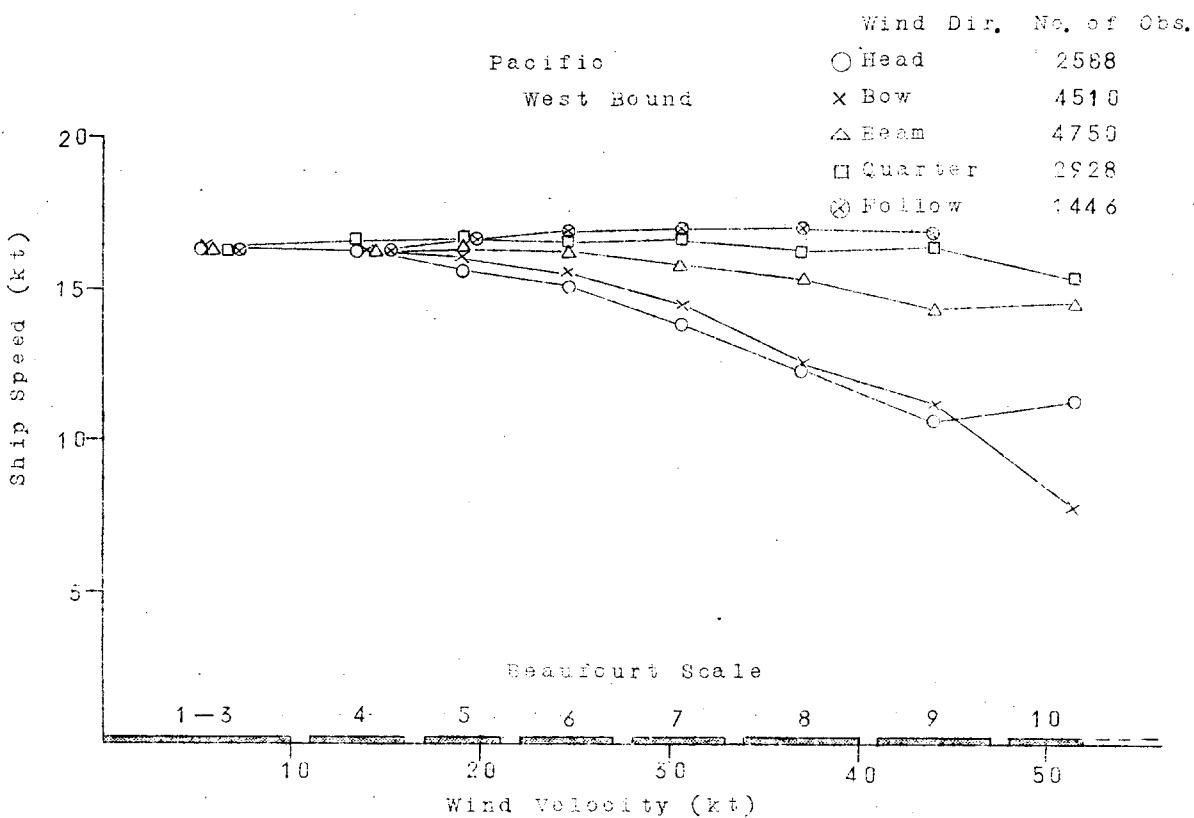
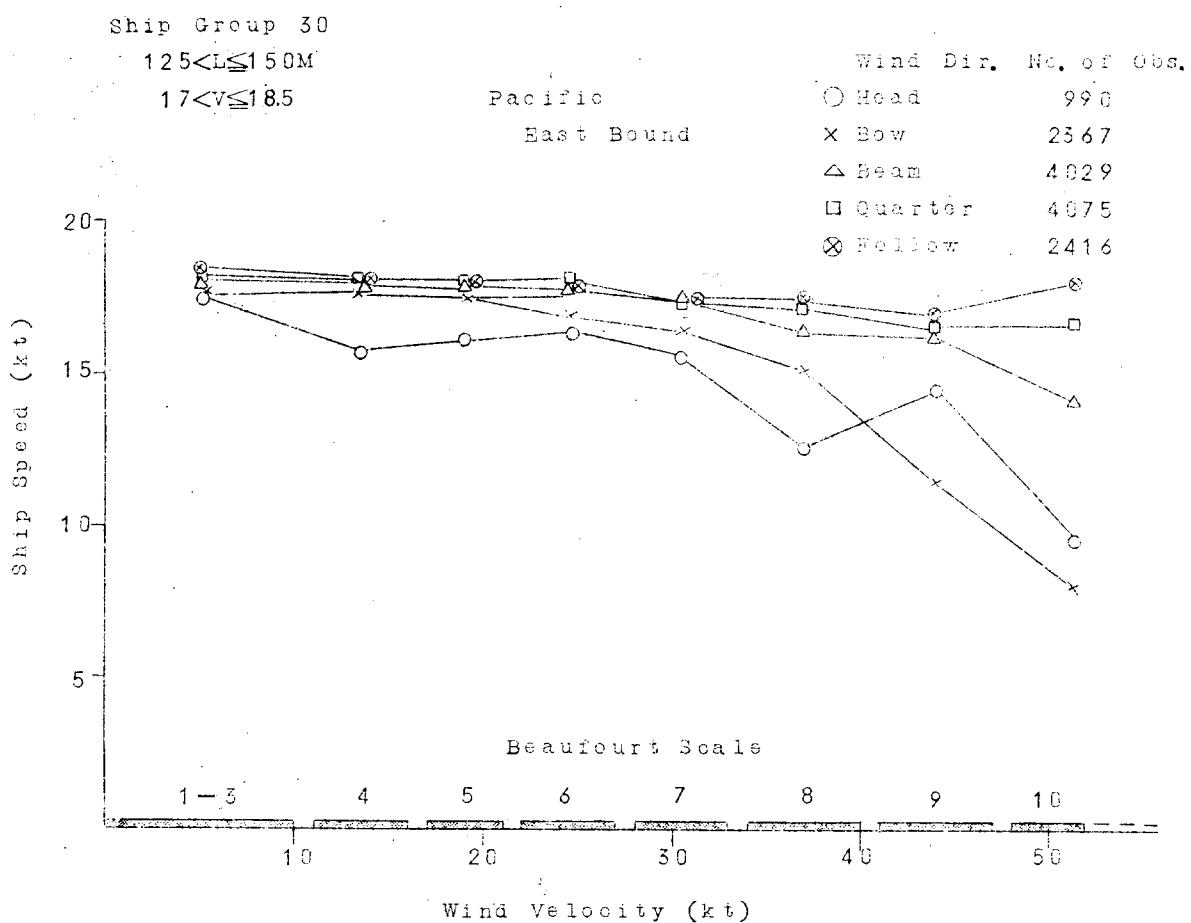


Fig. 5.28-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

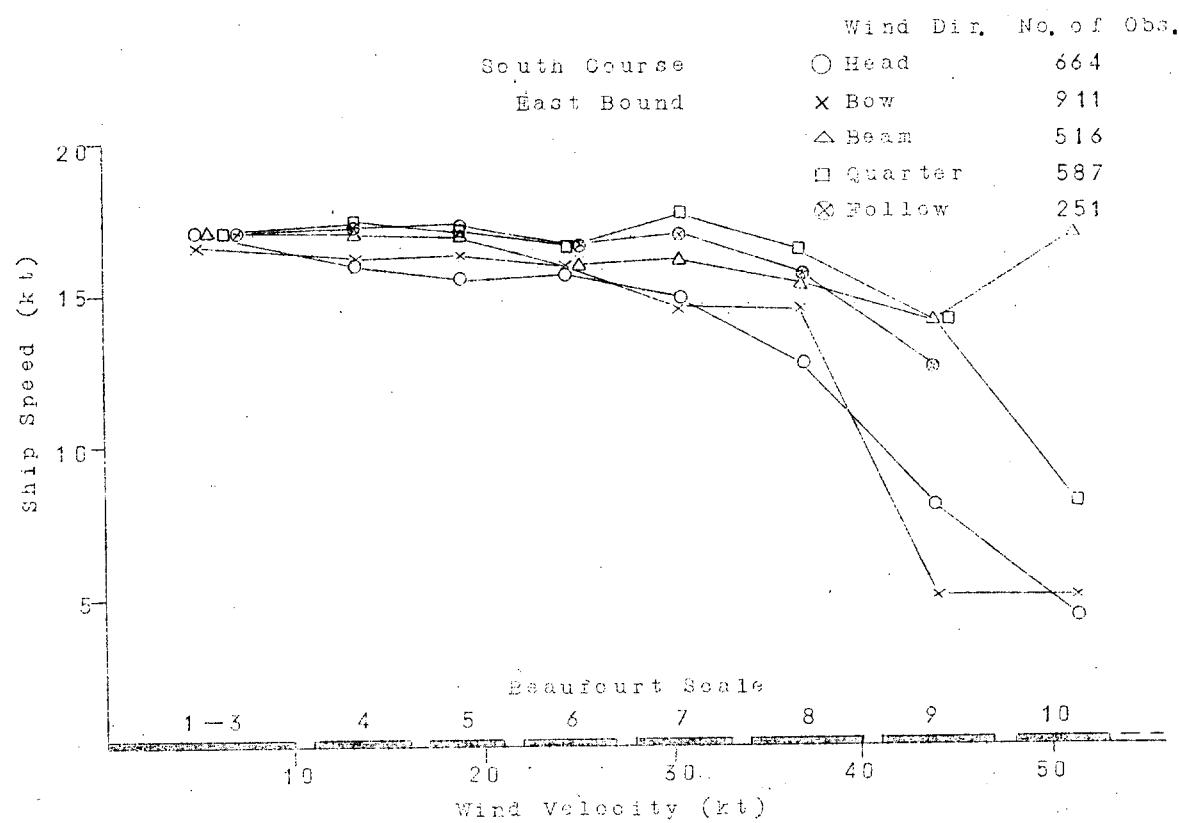
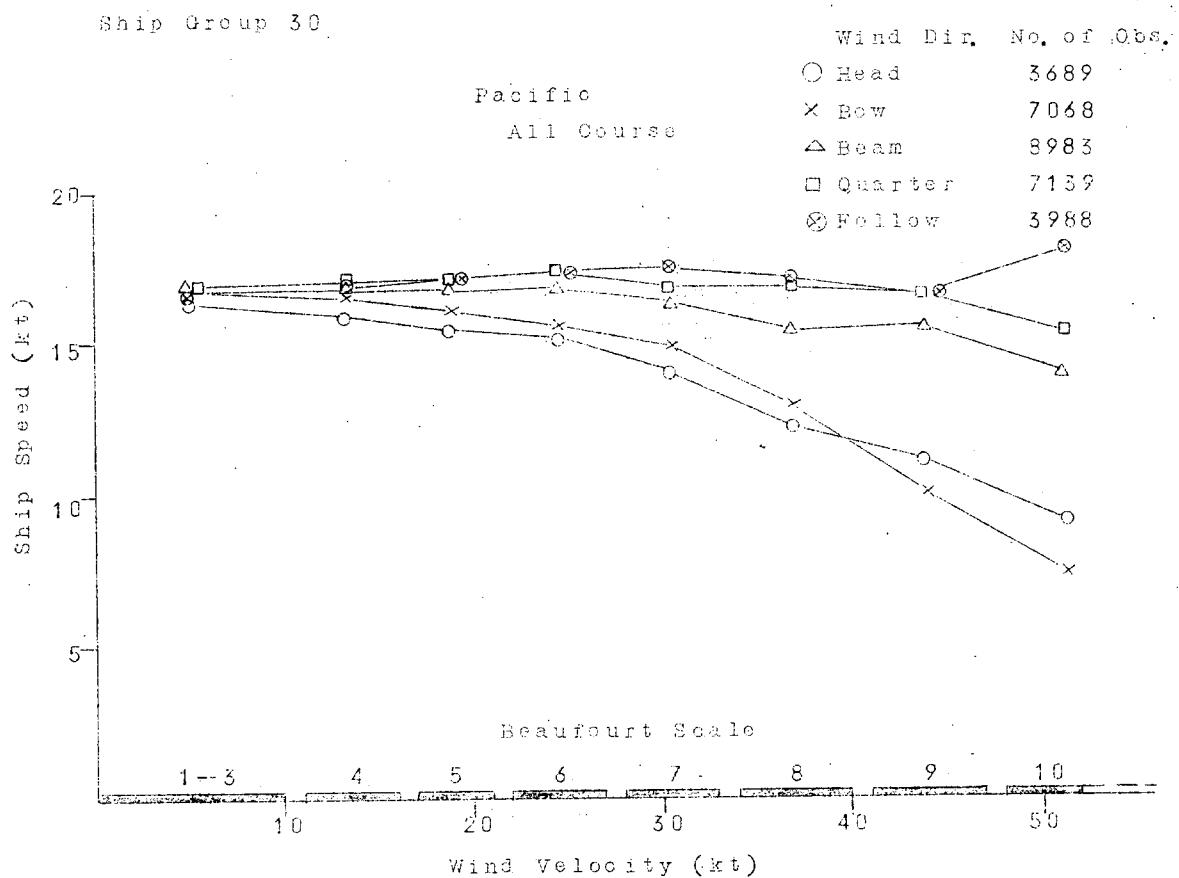


Fig. 5.28-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

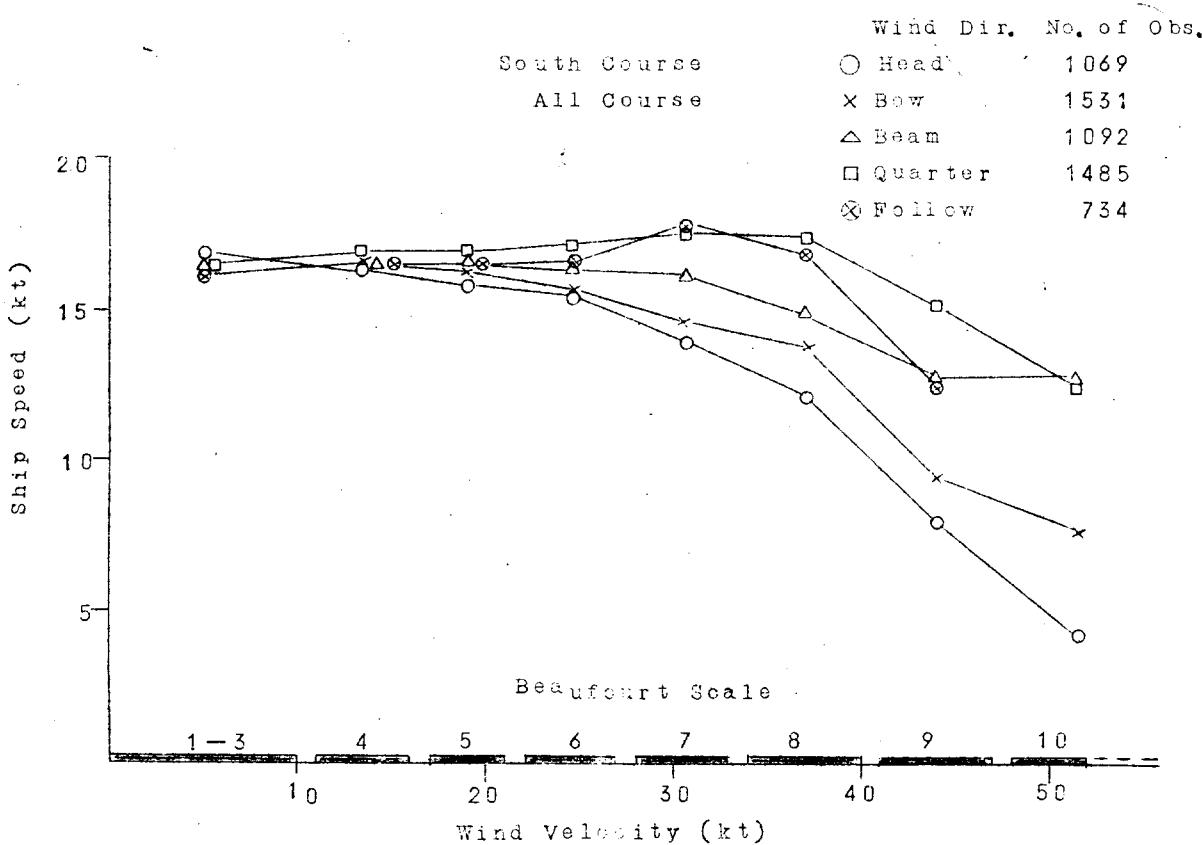
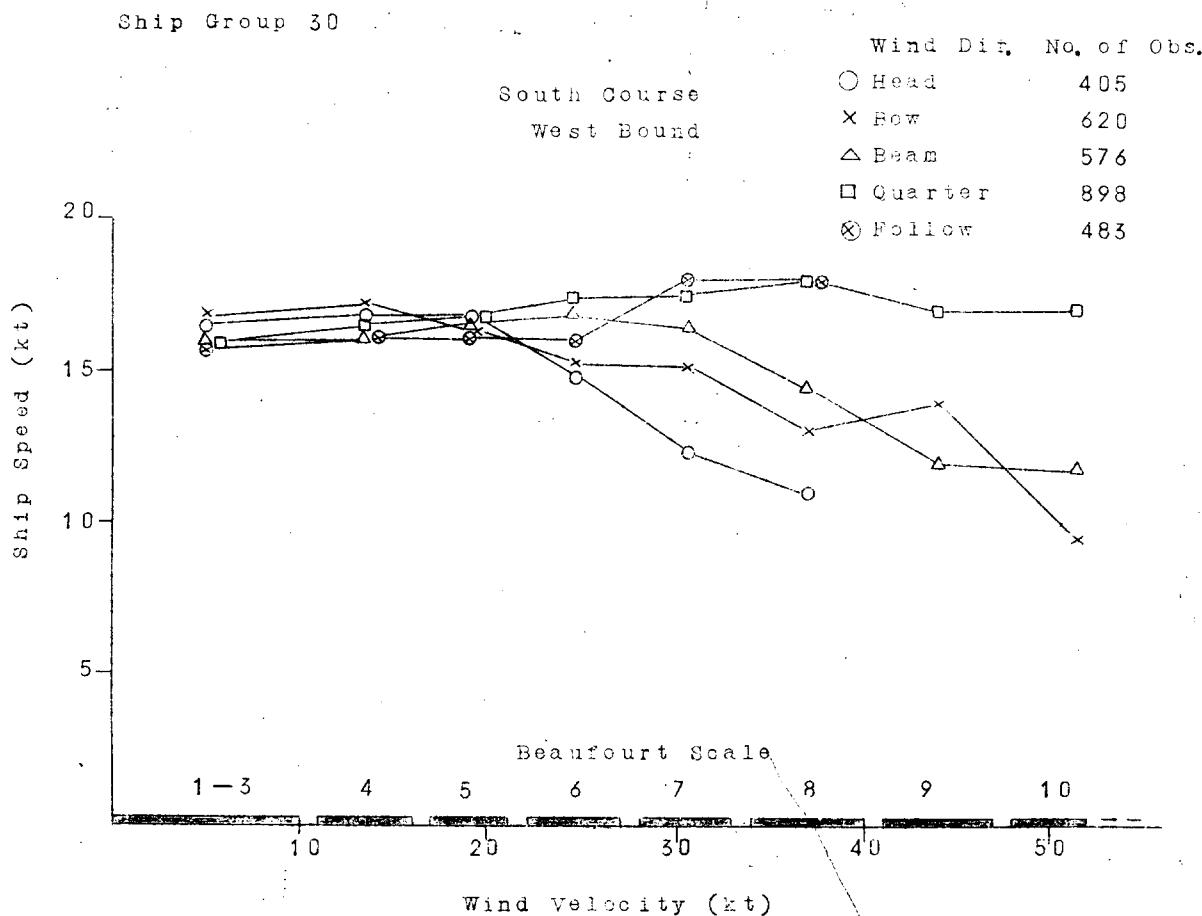


Fig. 5.28-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

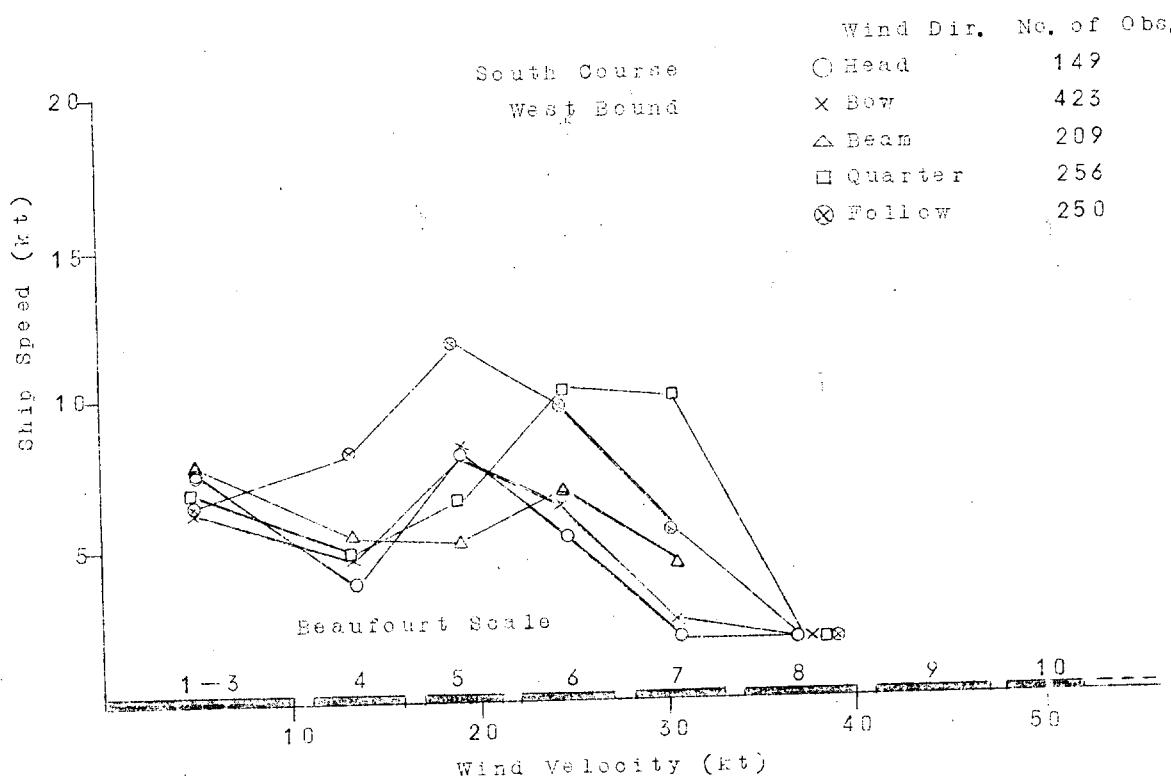
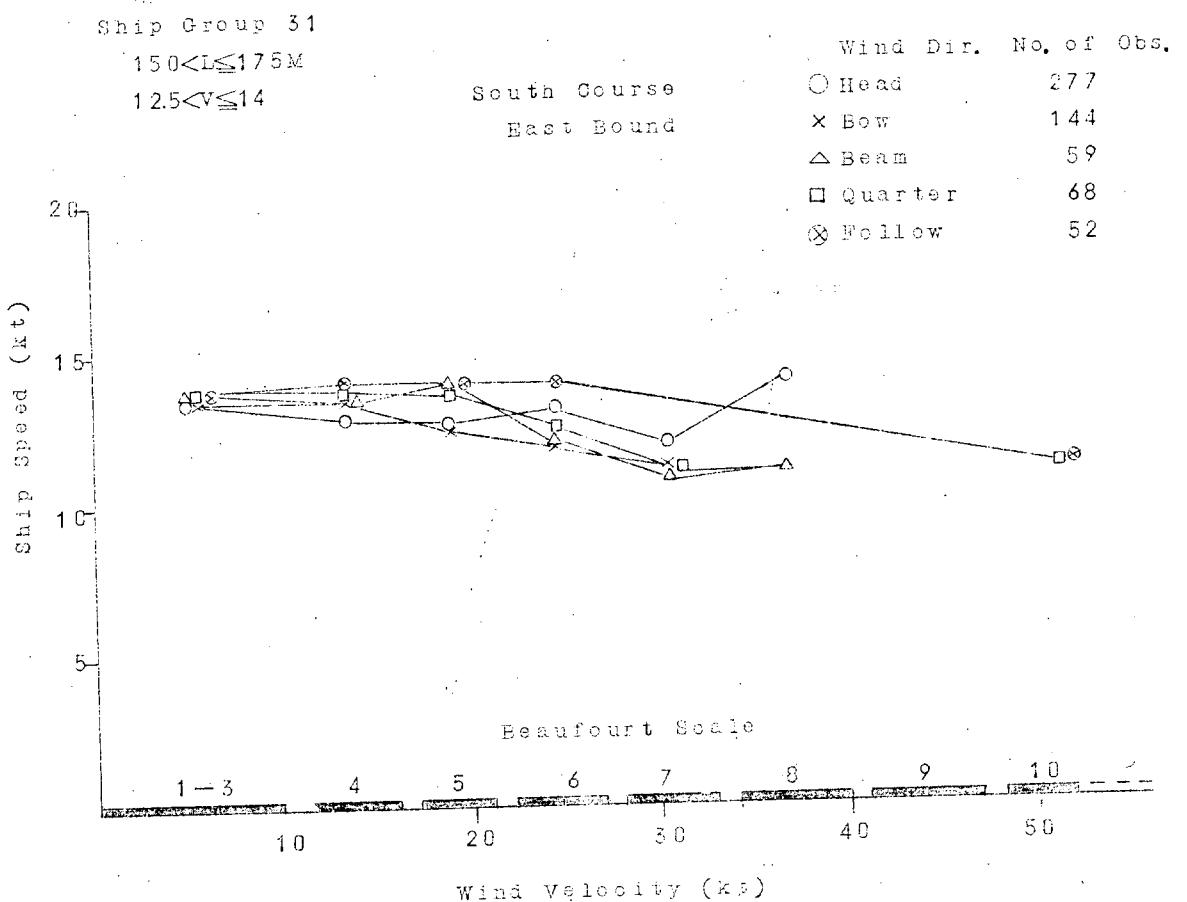


Fig. 5.29-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 31

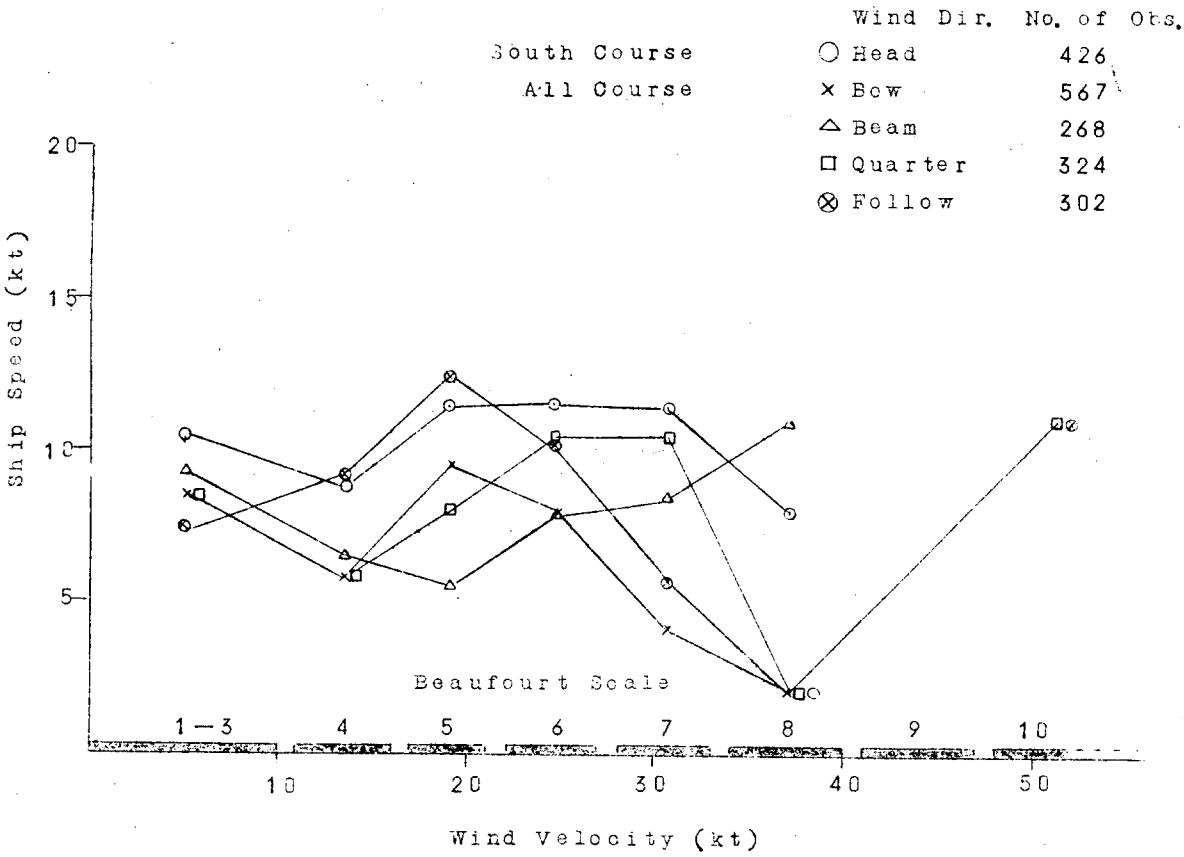


Fig. 5.29-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 32

$150 < L \leq 175$ M

$14 < V \leq 15.5$

Pacific

East Bound

Wind Dir. No. of Obs.

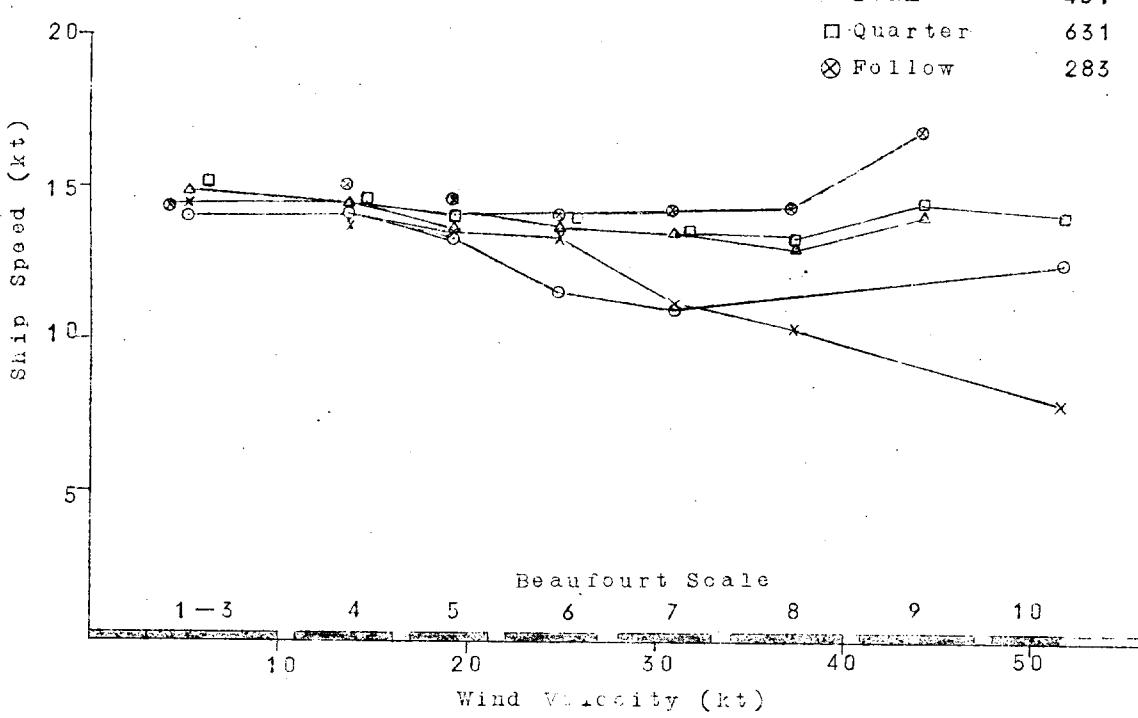
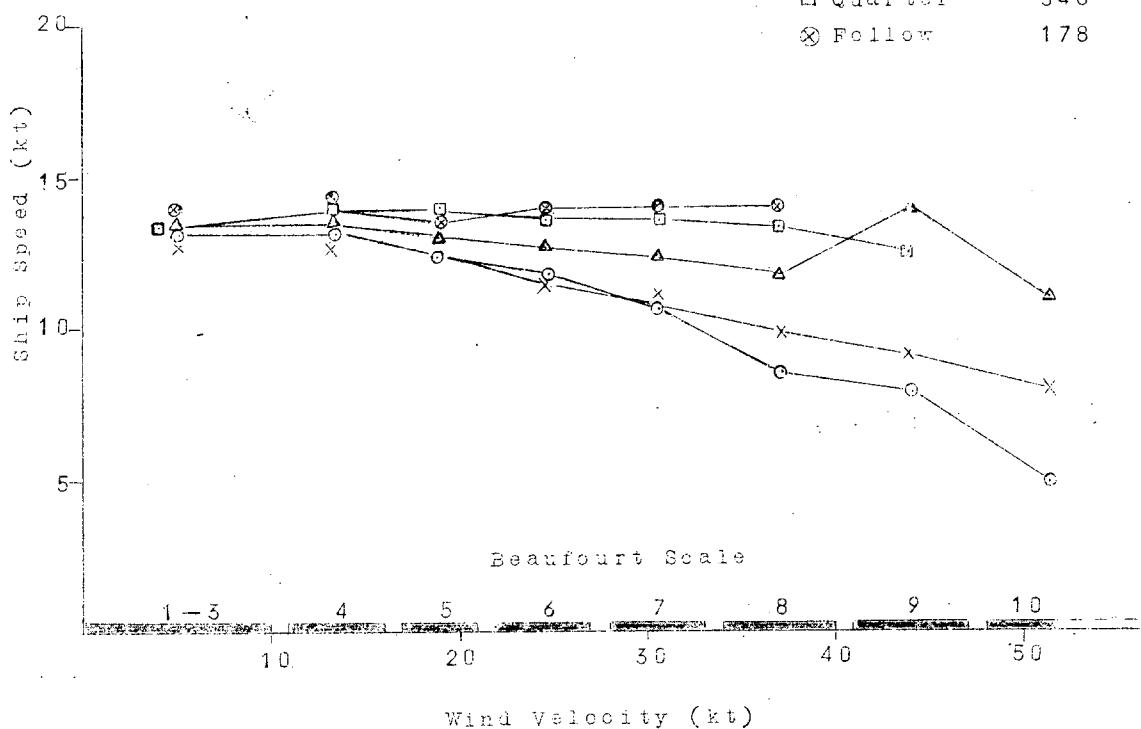


Fig. 5.30-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 32

	Wind Dir.	No. of Obs.
Pacific	○ Head	482
West Bound	× Bow	716
	△ Beam	610
	□ Quarter	348
	⊗ Follow	178



Wind Dir. No. of Obs.

Pacific	○ Head	669
All Course	× Bow	1106
	△ Beam	1042
	□ Quarter	984
	⊗ Follow	466

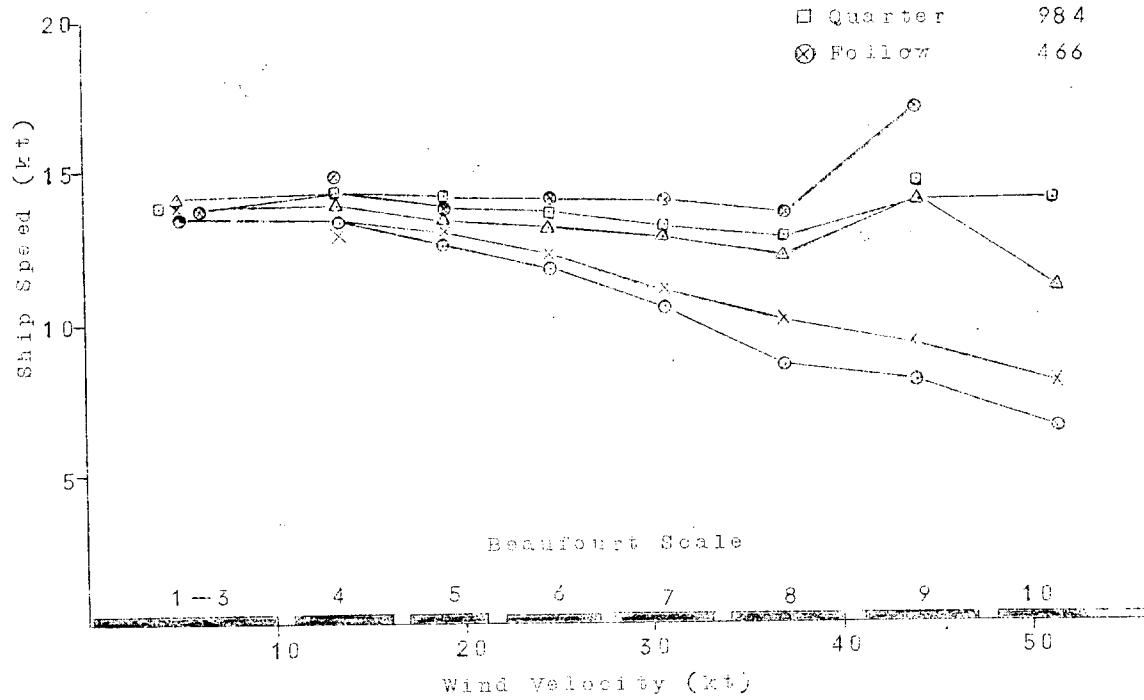


Fig. 5.30-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 32

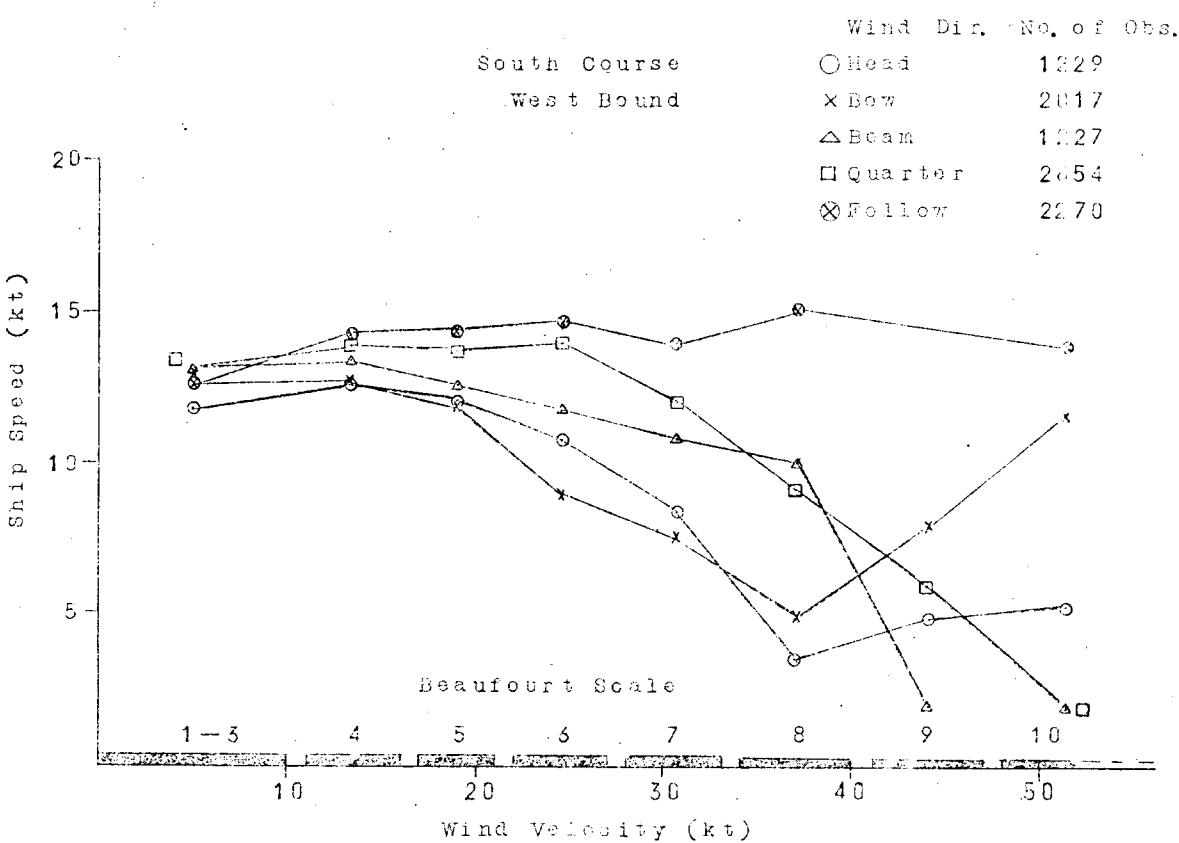
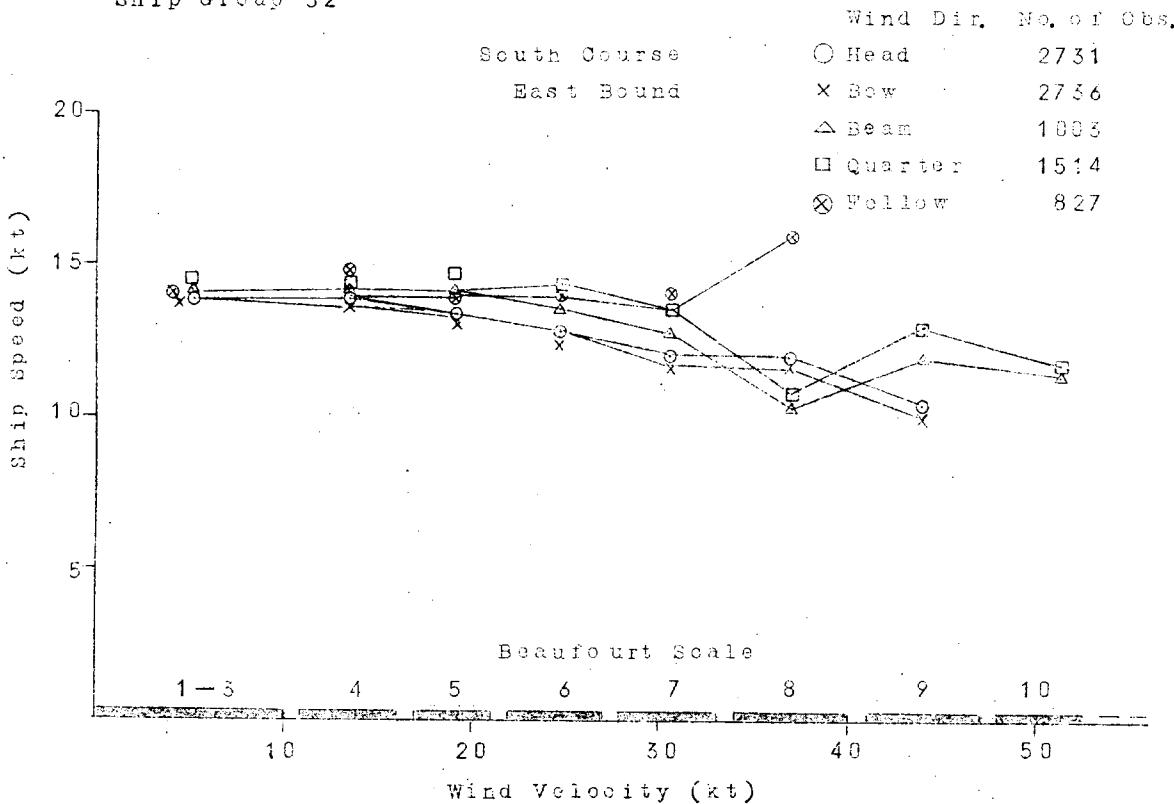


Fig. 5.30(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

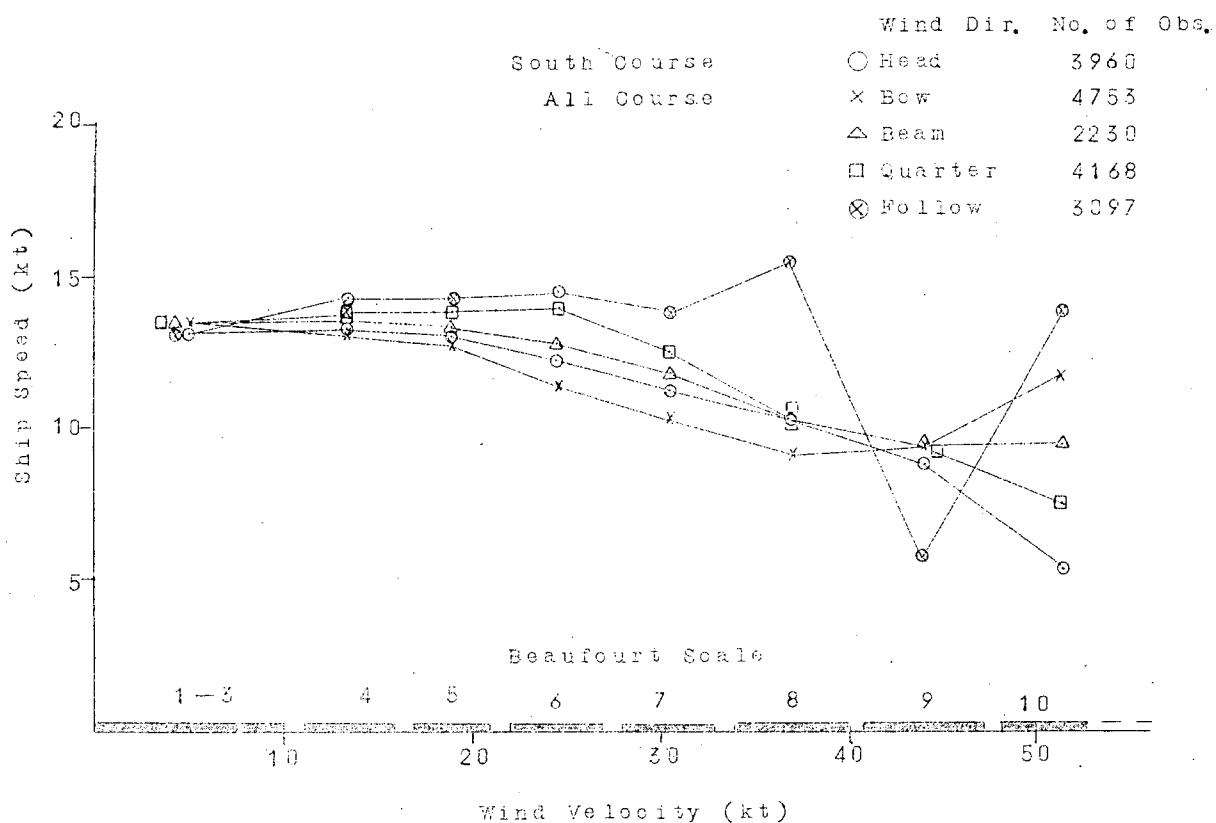


Fig. 5.30-(d) Wind Speed vs Ship Mean Speed

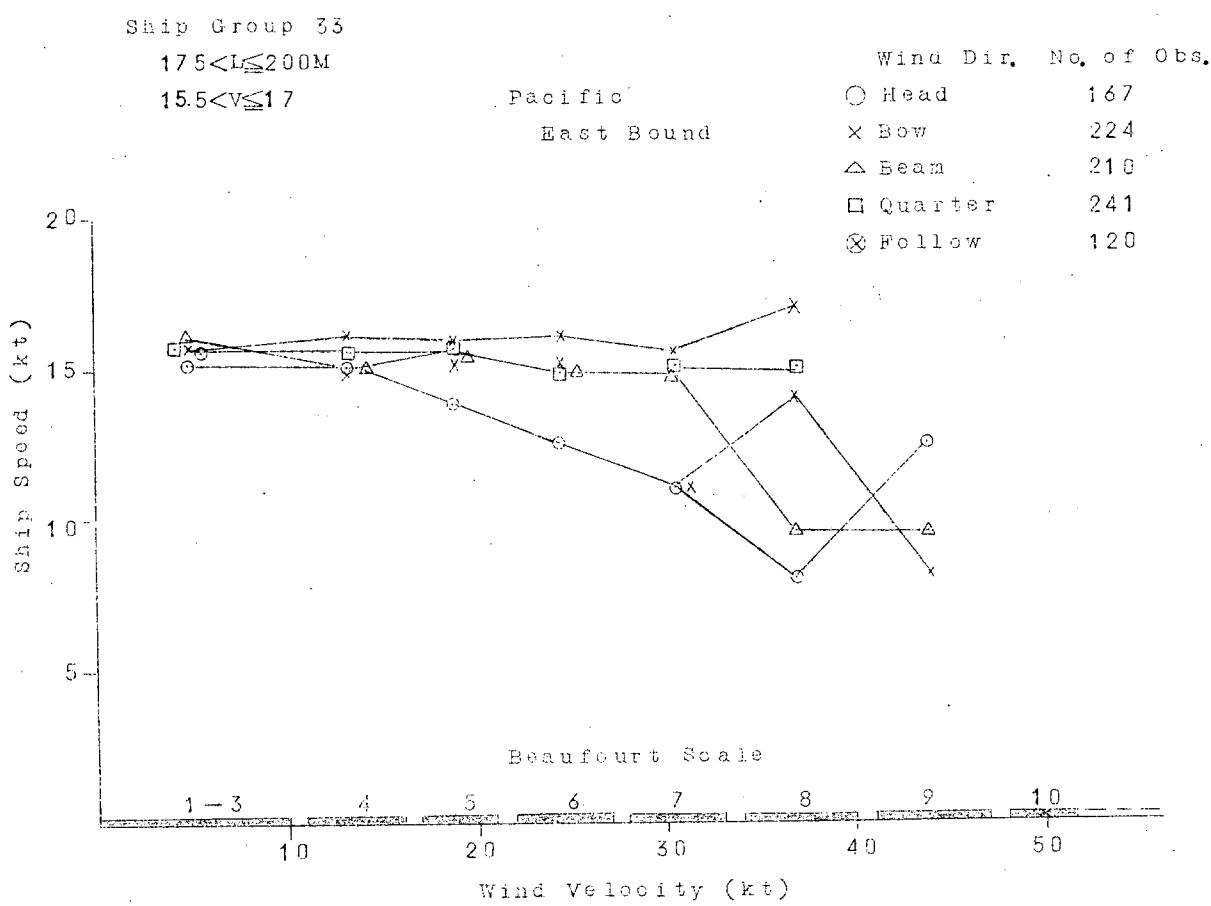


Fig. 5.31-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 33

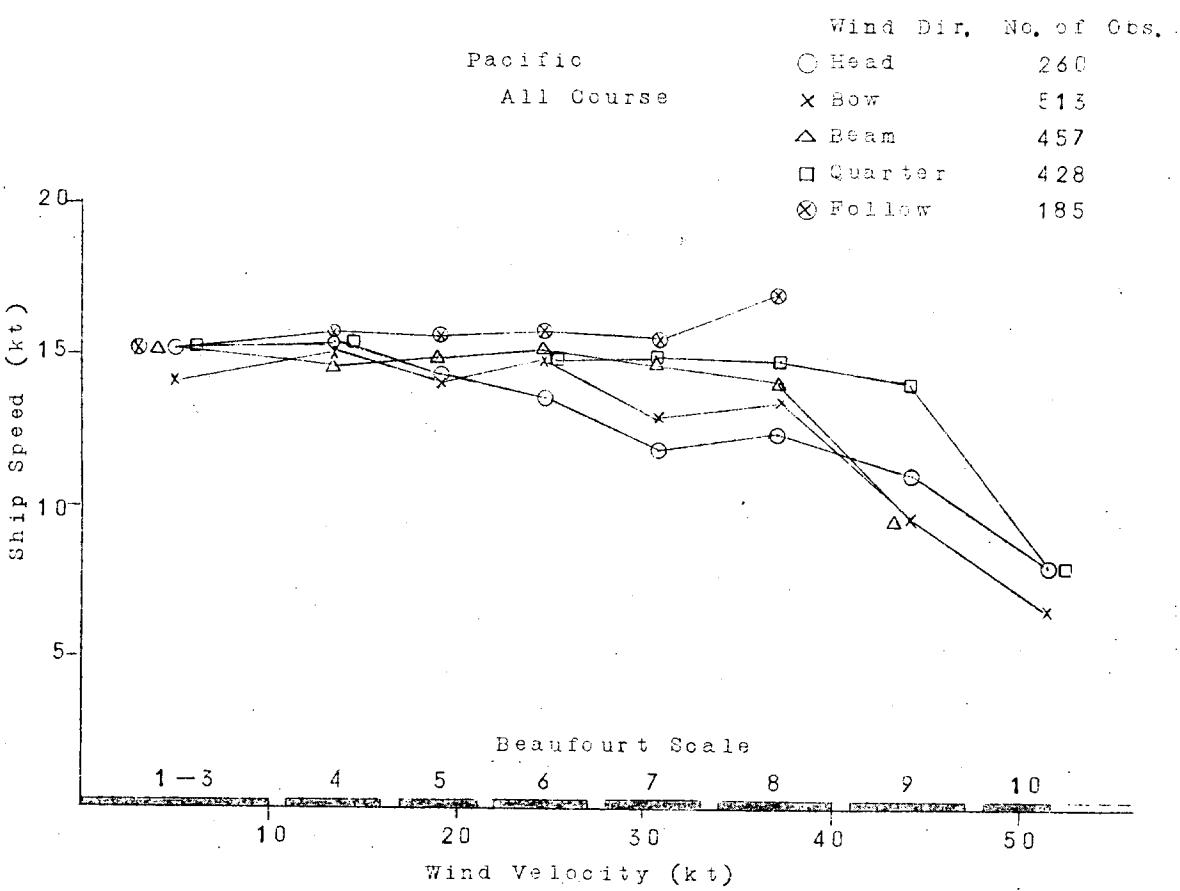
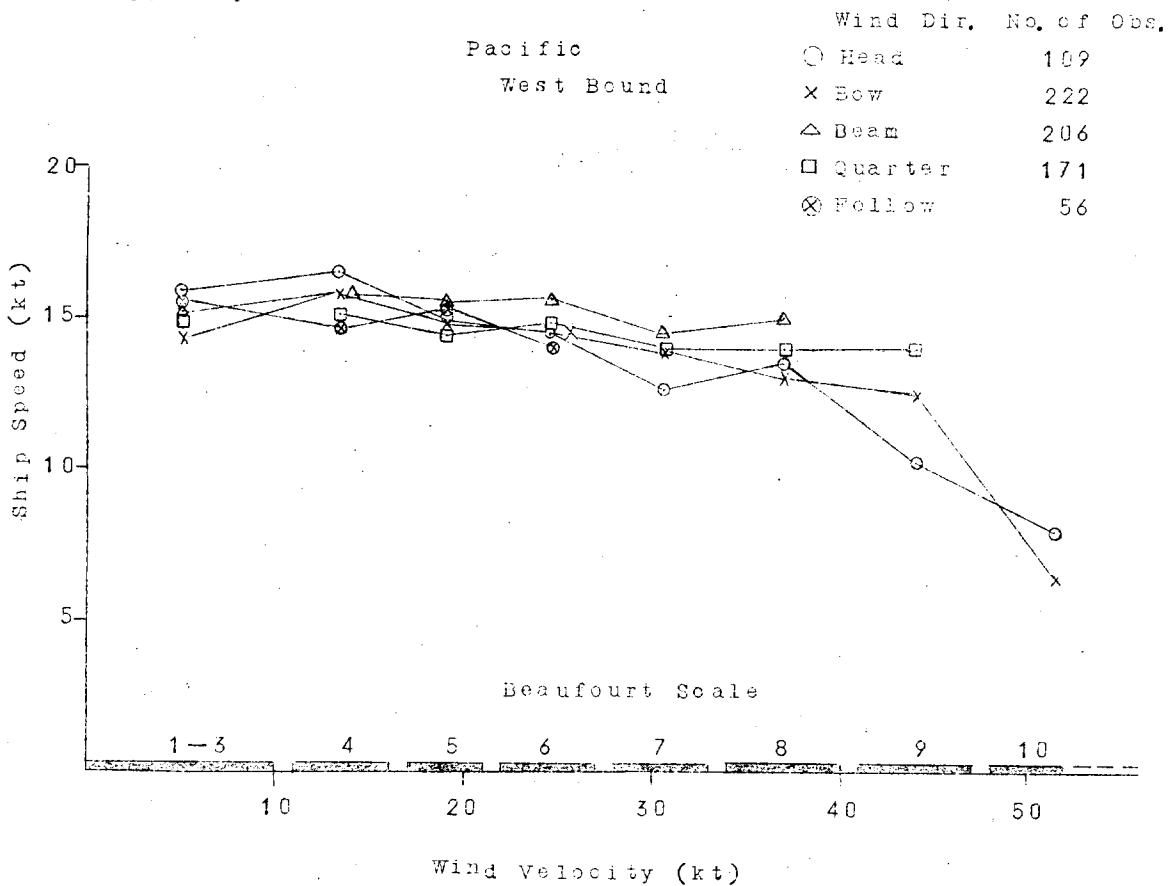


Fig. 5.51-(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 33

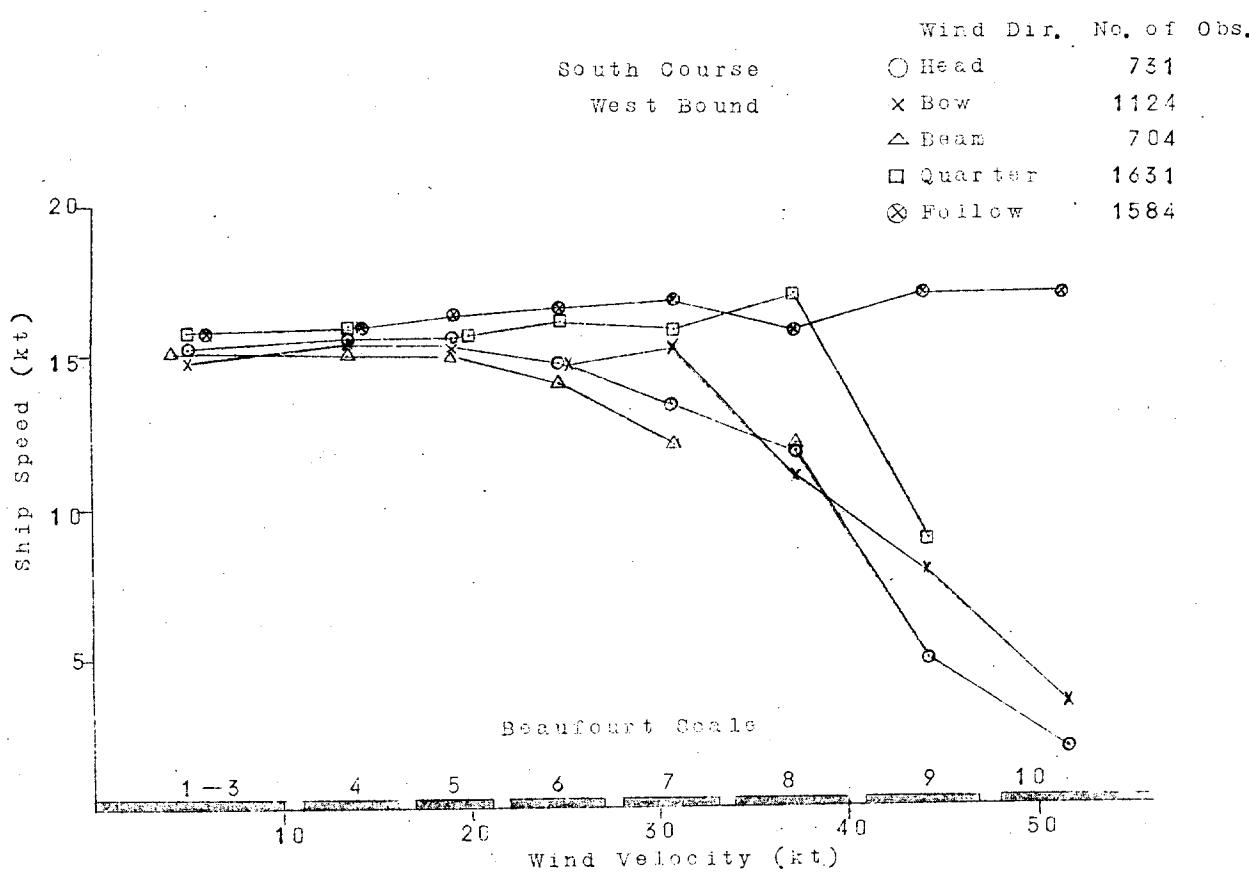
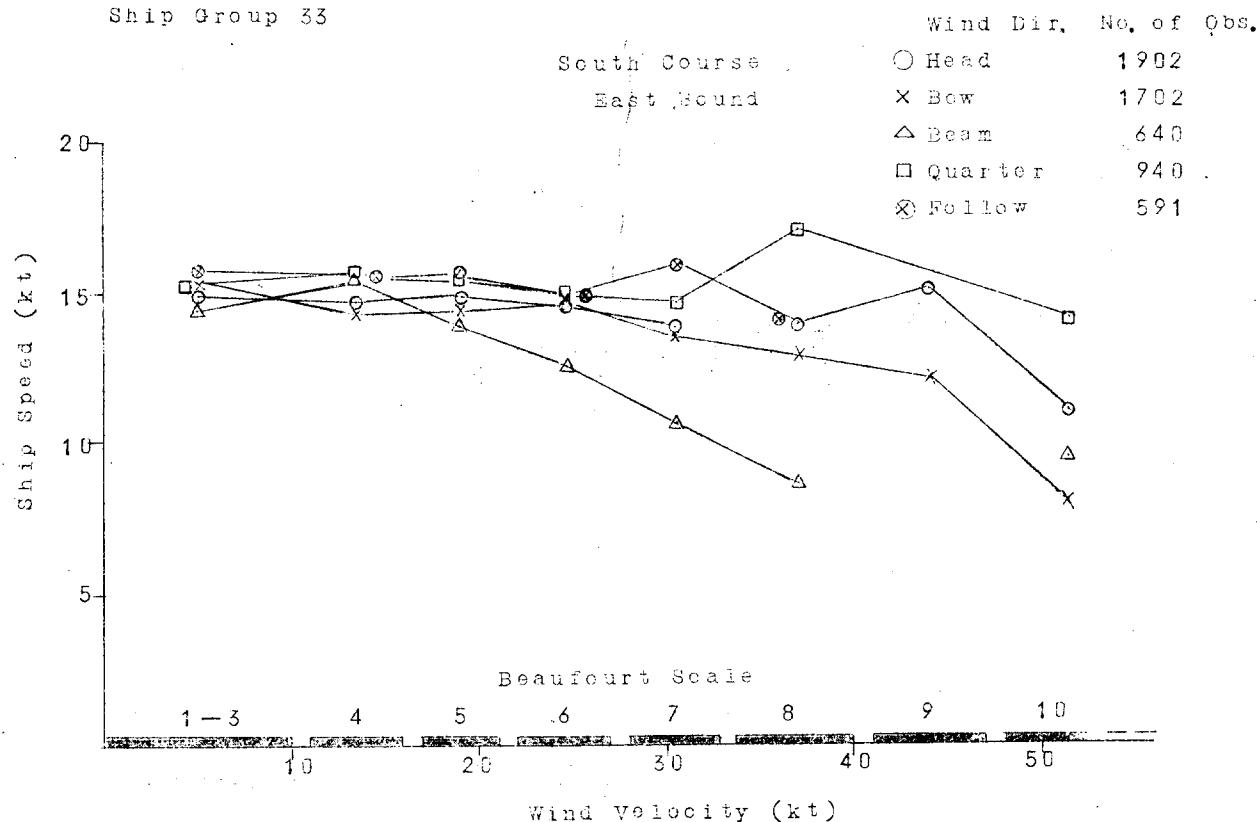


Fig. 5.31(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed

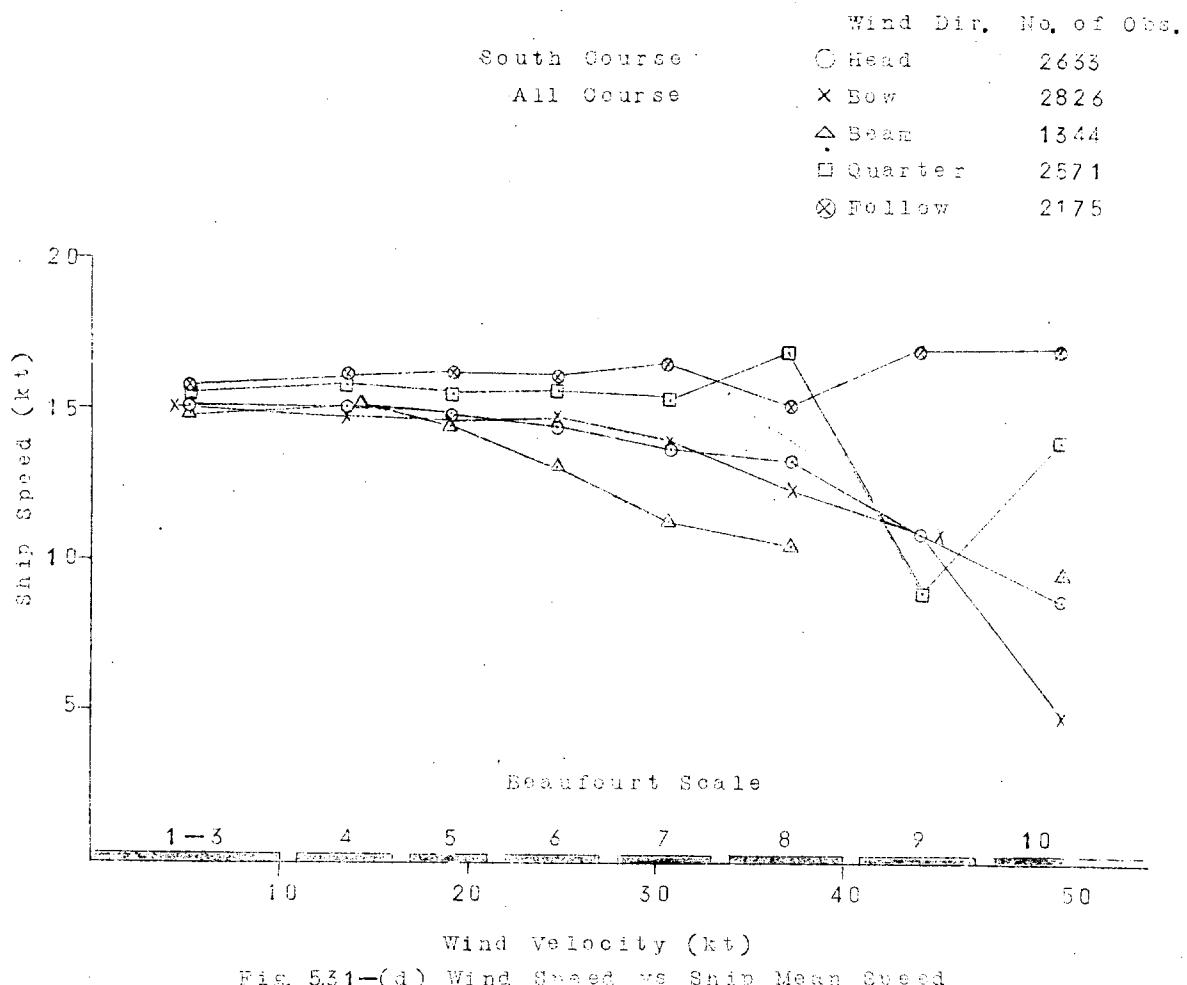


Fig. 5.31-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

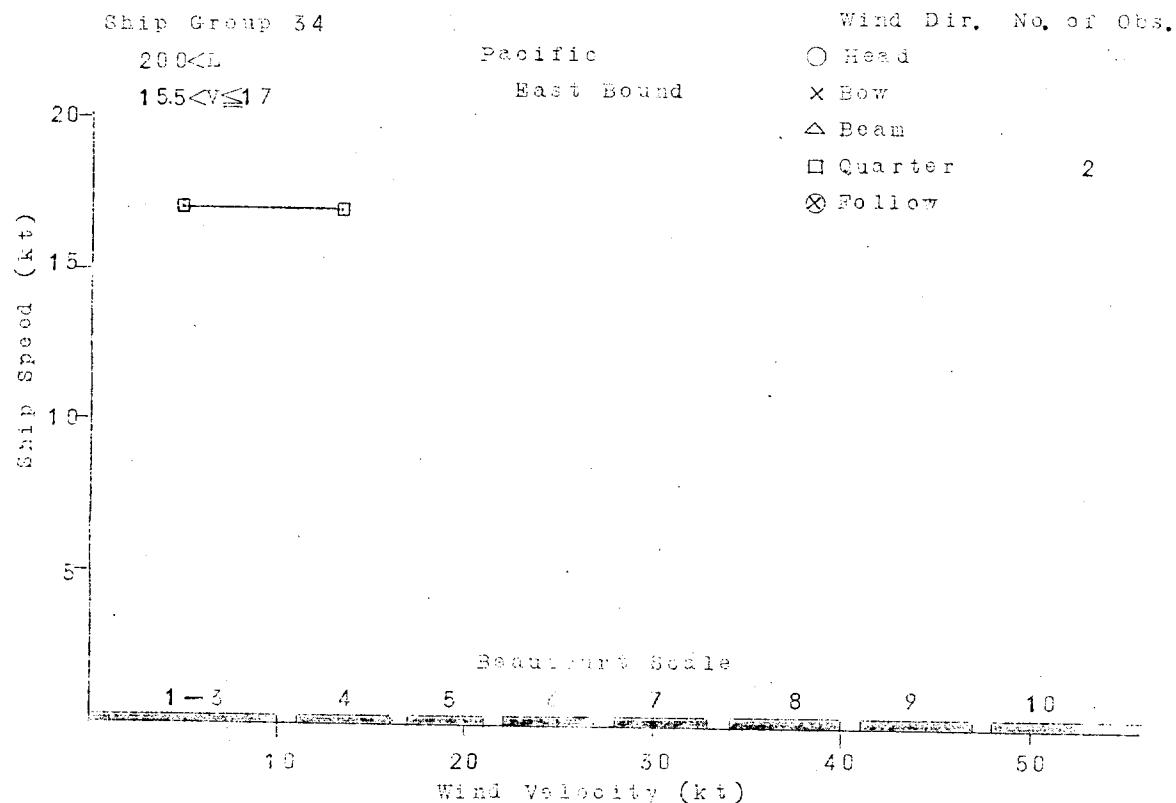


Fig. 5.32-(a) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 34

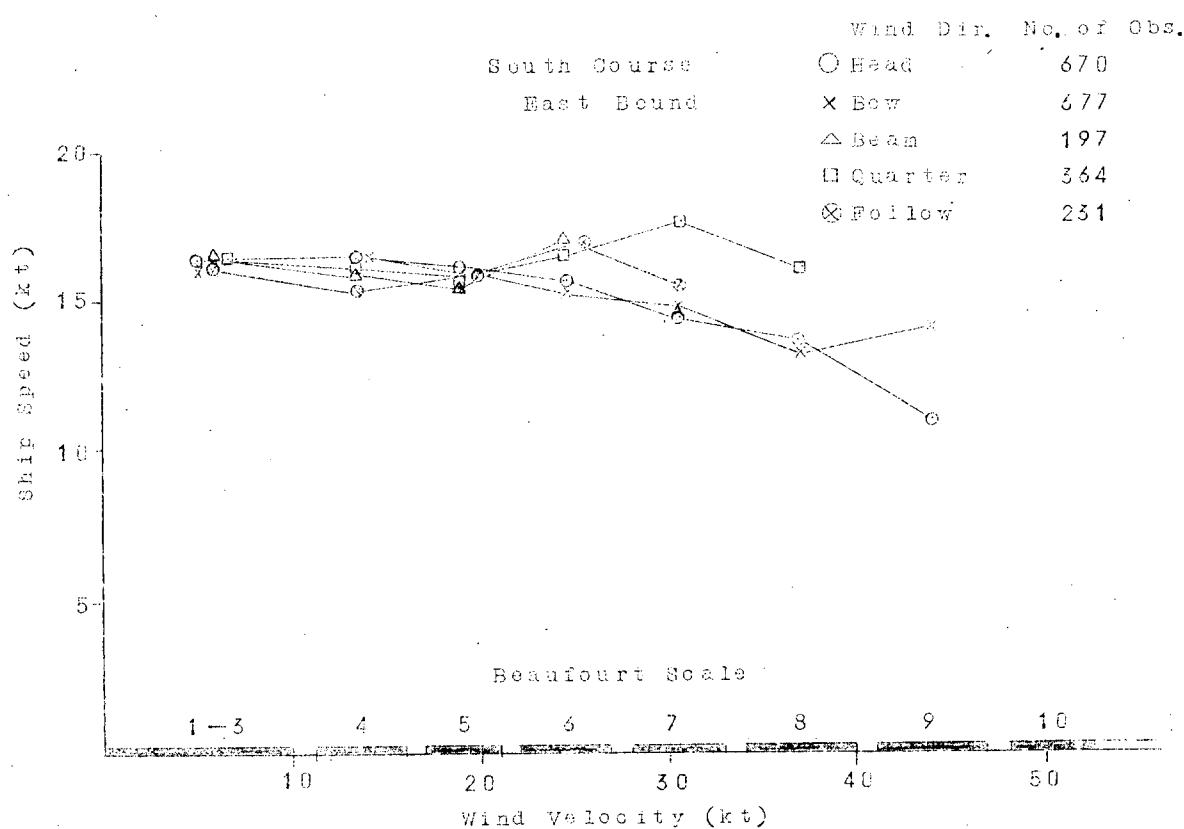
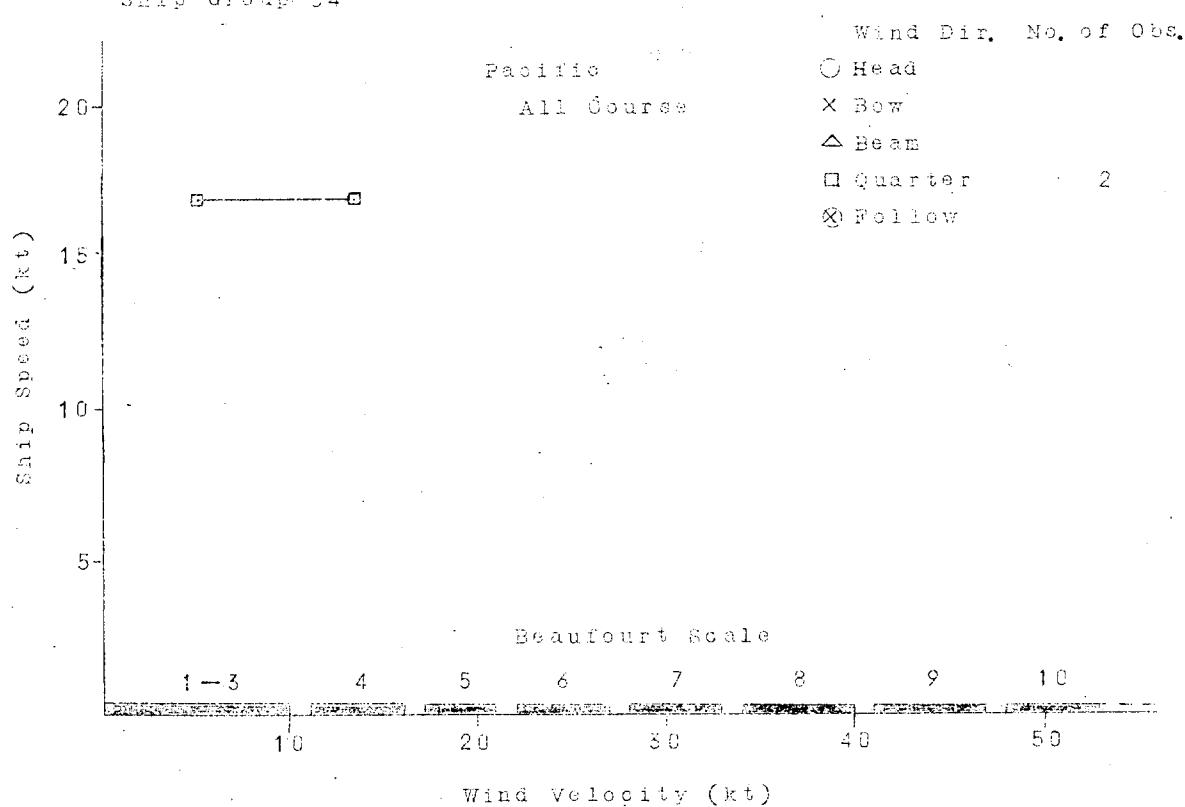


Fig. 5.3.2--(b) Wind Speed vs Ship Mean Speed

Ship Group 34

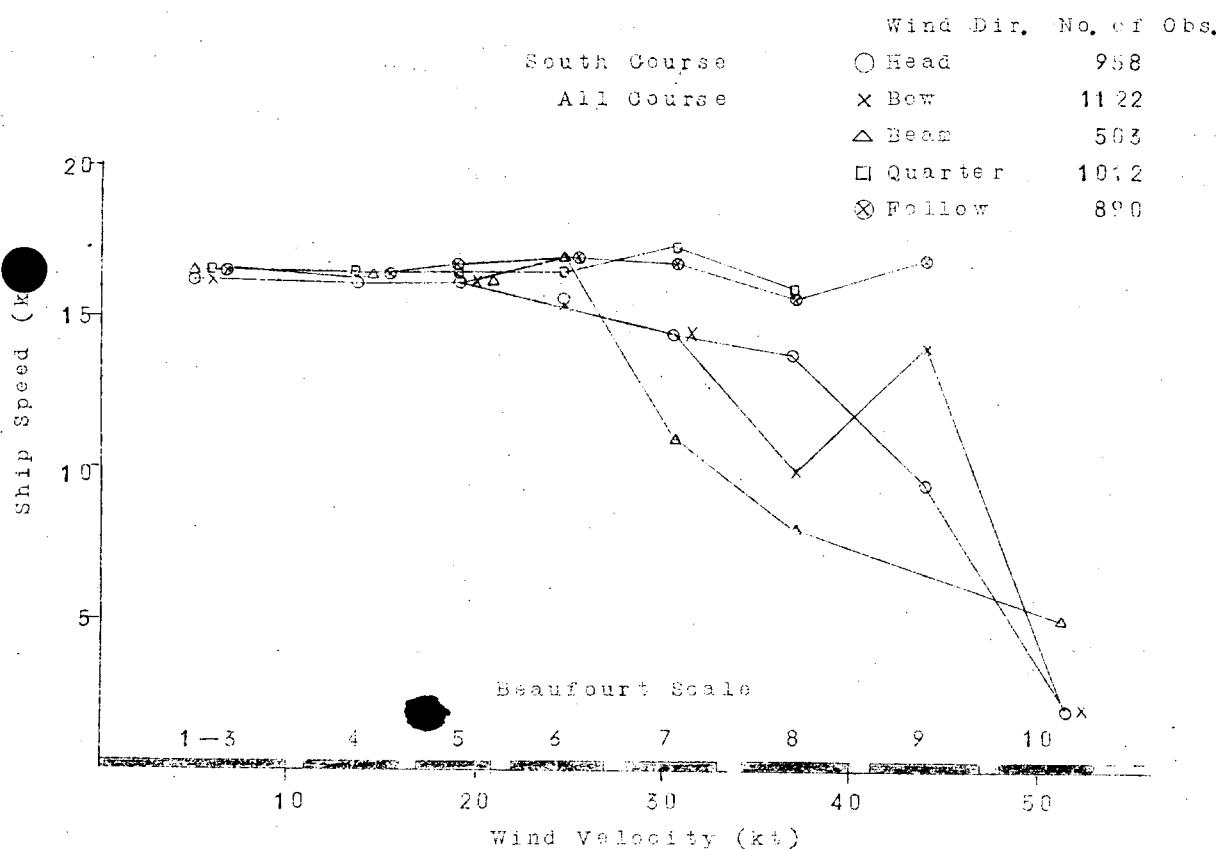
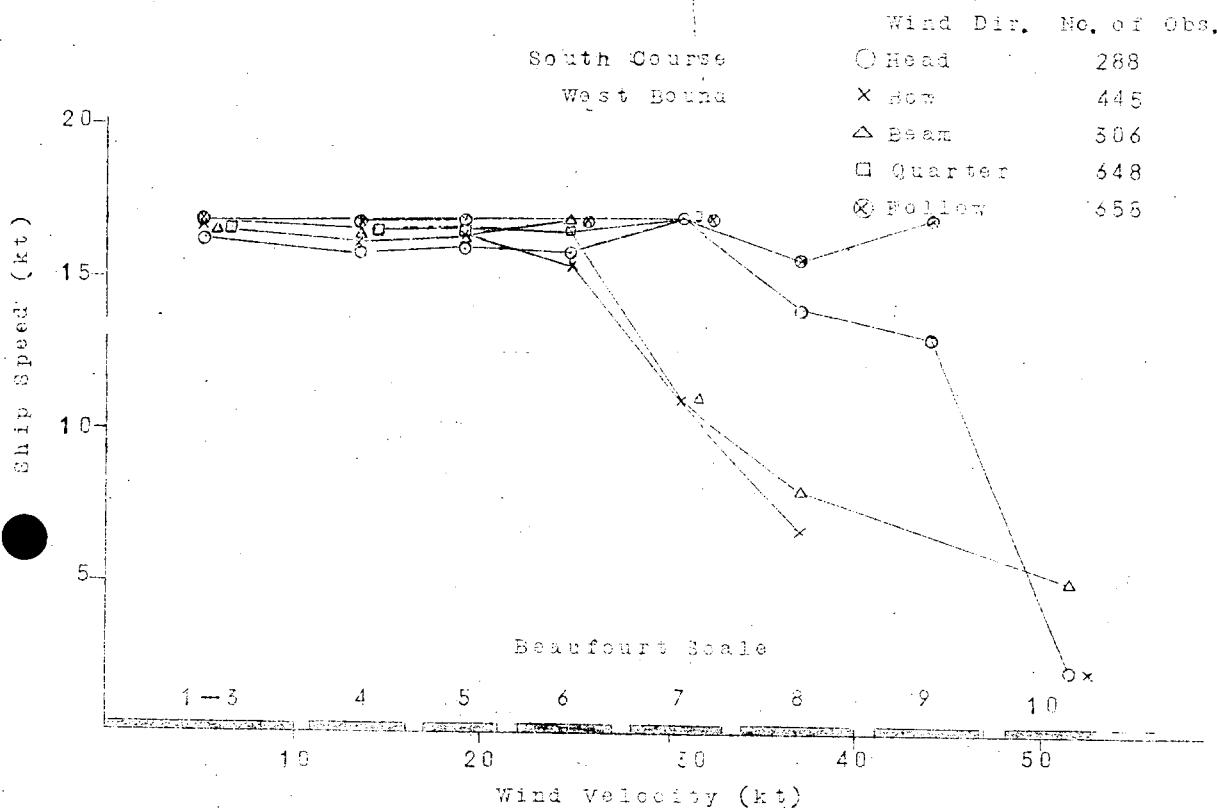


Fig. 5.32-(c) Wind Speed vs Ship Mean Speed