

利用统计试验计算方法
估计海面上的最大风速

林超英
香港天文台

1983年11月、廣州

(鄺泗蓮、潘永祥、甄榮磊三位協助進行部份的計算工作)

1 導論

香港天文台經常收到建築師和工程師的詢問，要求取得香港境內各處地點風的資料。氣候簡報如風圖可以解答部份的詢問，但很多時候，都需要對資料進行統計分析，推算多年一遇的極端風速。有幾份技術報告介紹了以往在這方面的工作，包括 BELL (1961), FABER 及 BELL (1963) 及陳殿楹 (1975)。

常用的程序是取用第一類極端值的統計分佈律，又名龔貝 (GUMBEL) 分佈律 (見 GUMBEL 1958)，來描述周年最大風速。分佈律的參數利用迴歸方法從指定地點的周年最大風速系列推算出來。工程界對於這個估計設計用風速的方法，一般都認為可以接納。不過，這個方法只可以在有足夠長期觀測資料的情況下應用。

由於近來在中國南海北部的石油勘探和生產方面的發展，增加了對於近岸海域氣象資料的需求。在這些海域，只有極少的氣象站存在。代替它們的資料來源是志願觀測船的天氣報告。香港是世界氣象組織指定收集中國南海船隻天氣報告的中心。1961 至 70 年間兩個選定海區的周年氣候簡報經已印行 (香港天文台, 1971 年起)。為了滿足中國南海北部近岸海域背景氣候資料的需求，亦刊印了三份特殊報告，內容是廣東東部及西部和海南島以西的北部灣海域的風、海浪和涌浪的資料 (林起英 1979, 1980 a, b)。

船隻一般都採取措施，遠離颶風中心，所以在高風速的海域極少船隻的觀測報告。在華南近岸海域，極端風速主要是由颶風帶來的，因此利用船隻的天氣報告來推斷極端風速的統計特性是不適當的。在指定地點缺乏長期觀測資料的情況下，我們建立了一套方案，利用基於蒙特卡羅 (MONTE CARLO) 思路的統計模擬技巧，估計在中國南海由

颶風帶來的極端風速。類似的工作在世界各地均有進行(如 RUSSEL 1971, GEORGIU 等 1980)。

龔貝方案和蒙特卡羅模擬方案基本上是採用不同輸入資料的統計技巧。因此,在所需資料齊備的地點,同時進行兩個方案的計算和比較一下它們的結果,是頗有意義的。我們為香港這個地點進行了這項計算。本文介紹計算的結果。

2. 蒙特卡羅模擬方案

根據 HAMMERSLEY 及 HANDSCOMB (1964, 第二頁) 的說法: "蒙特卡羅方法是實驗數學內的一個利用隨機數字進行實驗的分支。" 蒙特卡羅方法可以用來解決機率性或肯定性的課題。

在我們的工作範圍內,不同的隨機數字組變換成形成颶風移動途徑和風場的參數組合。變換的設法保證模擬颶風的統計特性和歷史上在指定地點附近的颶風的統計特性一致。每次當移動途徑和風場都確定時,便計算指定地點由模擬颶風帶來的最大風速。多次計算後,推算颶風帶來最大風速的累積頻率分佈。以 $F(w/\text{颶})$ 表征最大風速低於 w 的機率。"颶" 這個符號表示這是一個以颶風出現在指定地點附近為前題的條件概率。為求肯定, "附近" 一詞必須作出某種界定。

在估計設計用風速時,要引入時間的因素。用波松 (POISSON) 分佈律來模擬在香港附近出現颶風的頻率,設年平均颶風數是 λ , 則在一年中出現 n 個颶風的機率是:

$$P(n) = \frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!} \quad (1)$$

綜合模擬颶風計算和颶風出現率數，推算每年由颶風帶來的最大風速概率分佈為：

$$F(W/\text{年}) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!} F(W/\text{颶})^n$$
$$= e^{-\lambda[1 - F(W/\text{颶})]} \quad (2)$$

最大風速大於 W 的迴轉周期是：

$$T = \frac{1}{1 - F(W/\text{年})} \quad (3)$$

3. 香港附近颶風的統計模擬

颶風內最大的風速位於風眼的附近，而根據 BELL (1975) 的工作，風眼半徑罕有超過 75 海里。因此，在我們這項工作中，祇考慮在香港 150 海里以內掠過的颶風。香港附近”定義為以香港為中心半徑 150 海里的圓型範圍。

香港附近的颶風氣候資料，取自 1958-1981 年間香港天文台、日本氣象廳及關島聯合颶風警報中心的刊物。假如缺乏書面報告，則翻查香港天文台日常分析的圖表補充表一列出文小時一次的颶風位置和最大持續風速的資料。最大持續風速意指在標準的 10 米高度量的 10 分鐘平均。

用來確定颶風途徑的三個參數是：

- (a) V_T 颶風移動速度
- (b) D_m 最接近香港距離
- (c) β 視乎香港位於颶風的左或右半圓，給 +1 或 -1 值

參數 β 代替了移動方向的參數。這組參數，加上颶風風場模式，便可計算香港這一點風的變化。

用來確定颶風風場的兩個參數是：

(a) V_m 颶風中心附近的最大持續風速

(b) R_m 最大持續風速的半徑

將颶風風場內所有細節都注入風場模式內當然最理想，但為了方便進行模擬計算，風場模式必須略為簡化。我們採用了以下的模式：

$$V(r, \gamma) = l^\alpha V_m \left(\frac{R_m}{r}\right)^\alpha l^{-R_m \alpha / r} \left[1 - 0.5 \frac{V_T}{V_m} (1 - \cos \gamma)\right] \dots (4)$$

$V(r, \gamma)$ 是 (r, γ) 點的海面風。 r 是離開颶風中心的距離。 γ 是從最大風軌跡量起的角度 (圖 2)。類似的模式常用於其他地區的风暴潮研究 (美國聯邦緊急事件處理署 1981)。風場徑向部份在半徑等於 R_m 處達到峯值，當 r 相當大時跟 $r^{-\alpha}$ 成正比 (圖 3)。在工程方面，有時 α 取值等於 1 (美國陸軍海岸工程研究中心 1977)。但一般相信在不同的颶風中 α 值在 0.5 至 0.7 之間 (例如，見 MILLER 1967)。風場的方位角部份表征移動速度和颶風渦旋風場重疊的結果。在這部份內的系數選值為 0.5，以保在 $V_m > V_T$ 的前提下， $V(r, \gamma) > 0$ 。根據 FRANK (1976)，在表面層的輻合氣流平均與圓周成 23° 角。因此，在固定圓周上最大風速出現在移動中颶風的右後象限 (見圖 2)。風場的方位角部份見圖 4。為了保證颶風以氣旋性環流型態出現， V_m 小於 V_T 的個案不予考慮。

從表 1 所列的颶風樣本中，推算得參數 V_T 、 V_m 、 β 和 D_m 的頻數分佈。除 V_m 外，其他參數均在颶風最接近時取值。 V_T 、 D_m 和 V_m 的分佈用普通的頻數分佈率來模擬 (圖 5 至 7)。表 2 顯示所採用的分佈模式在 χ^2 驗証下都達到 5% 置信界限。由於用來模擬 V_T 的正態分佈的變量是無限制的，負數的 V_T 可能出現。

我們參考了 RUSSEL (1971) 等的工作, 只考慮 $V_T > 0$ 的情況。在樣本內的 β 分佈表 3。

最大風速半徑一般無法從天氣報告中推算, 要求出它的統計特性有很大的困難。在這項工作中, 我們取用偵察飛機報告的風眼半徑代替最大風速半徑。基於 BELL (1975) 工作結果的 R_m 頻數分佈見表 4。

每模擬一次在香港附近出現颱風, 先產生一組五個在 0 與 1 之間平均分佈的隨機數字, 並通過各個參數的累積頻數分佈變換成一個包括五個參數 (即 V_T, D_m, β, V_m 和 R_m) 的組合。由 V_m 和 R_m 決定的風場沿著由 V_T, D_m 和 β 規定的途徑移動。在香港量得的風速每十分鐘計算一次, 並求得最大值。這個模擬過程重覆多次, 直至頻數分佈 $F(w/\text{颶})$ 和 $F(w/\text{年})$ 趨於穩定。整個過程的綱要圖解見圖 8。

最後, 根據 1958-81 的資料, 颱風每年的數目以波松分佈律表徵。波松分佈律常用於描述地球物理現象的出現頻數, GEORGIU 等 (1980) 亦利用波松分佈律來表徵西大西洋區颶風的出現。表 2 顯示 $\lambda = 3.79$ 的波松分佈律在 χ^2 驗證下達到 5% 置信界限。圖 9 可見觀測得的和模擬的頻數分佈。

4 蒙特卡羅模擬計算結果

在這項工作中, 共用 100000 組隨機數字。表 3 至 6 顯示模擬颶風和實際颶風樣本的統計特性非常接近。不過, 要注意 R_m 的樣本跟其他參數的樣本有別。

圖 10 給出 $\alpha = 0.5$ 和 $\alpha = 0.7$ 時每年由颶風帶來的最大持續風速的累積頻率。表 7 給出部份數據。從圖 10 的曲線推算多年一遇最大風速的結果如下:

迴轉周期	蒙特卡羅估計	
	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.7$
50年	95海里/時	93海里/時
100年	105海里/時	103海里/時

圖11和12顯示隨著模擬颱風樣本的增大，蒙特卡羅方法的估計數字漸趨穩定。相信上表所列的數字可靠程度在 ± 2 海里/時之內。

為了方便比較亦計算了 $\alpha=1$ 時的情況。

50年一遇和100年一遇的風速分別為90和101海里/時。

5. 與龔貝方法的比較

根據1953至1981年橫瀾島颱風期間錄得最大10分鐘平均風速資料，龔貝方法給出以下結果：

迴轉周期	龔貝方法估計
50年	100海里/時
100年	109海里/時

由於橫瀾島的風速計海拔約70米，因此必須將風速修訂到海平面10米上的標準高度，才可跟蒙特卡羅方法的估計互相比較。錢秉泉等(1978)對這個問題作了詳細的討論。10分鐘平均風速的換算表如下：

海平面附近 風速 U_s	橫瀾島風速表 讀數 U_{WL}	$\frac{U_s}{U_{WL}}$
22海里/時	30海里/時	0.73
34	41	0.83
64	72	0.89

對應橫瀾島實測風速的海平面(10米)風速和(U_s/U_{WL})比例繪在圖13至14。

在圖13中,橫瀾島風速等於41和72海里/時一段的外推,得到橫瀾島錄得100海里/時的海平面對應的風速是91海里/時。

在圖14中,同樣的外推得到橫瀾島錄得100海里/時的對應(U_s/U_{WL})比例是0.94。查看圖14,相信這個估計畧嫌過高。另一方面,這個比例亦不應低於橫瀾島錄得72海里/時的比較數字,即0.89。因此對應橫瀾島錄得100海里/時的海平面(10米)風速應該在89至94海里/時之間。

這兩個不同方法的推斷結果,顯示龔貝方法估計的50年一遇風速跟蒙特卡羅方法的推斷相當接近。

6 結論

我們設計了一套基於蒙特卡羅思路的程序,用來估計在中國南海由颱風帶來的最大持續風速,並將程序應用到香港這個地點。結果顯示蒙特卡羅方法估計的50年和100年一遇的風速跟龔貝方法基於實測風資料的估計相當接近。

在工程設計方面的應用,我們建議取用 $\alpha=0.5$ 的計算結果。在香港這個例子裏, $\alpha=0.5$ 的蒙特卡羅估計數字比龔貝方法估計數字畧高少許,因此可以算是比較保守的估計。

嚴格地說,有幾個方面應該再加以研究和討論,如五個參數間可能存在的相關和處理方法,最大風速半徑一般比飛機報告風眼半徑可能畧大等。但以上的個例顯示比較簡化的程序亦可以提供相當符合龔貝方法基於實測風資料的推算結果,所以這些方面本文畧而不提。

参考文献

- Bell, G.J. 1961 Surface winds in Hong Kong Typhoons
Proc. U.S. - Asia Weather Symposium,
The Philippines, Feb. 1961.
- Bell, G.J. 1975 Observations on the size of the
typhoon eye. In : Typhoon Modification,
WMO - No. 408, 18-29.
- Chen, T-Y. 1975 Comparison of surface winds in Hong
Kong. Royal Observatory Tech. Note
No. 41.
陳殿楹
- Chin, P.C., and 1978 Estimation of wind speeds near sea-
level during tropical cyclone conditions
in Hong Kong. Royal Observatory Tech.
Note. No. 45.
Leong, H.C.
錢秉泉, 梁浩忠
- Faber, S.E., and 1963 Typhoons in Hong Kong and building
design. Proc. Eng. Soc. of Hong Kong,
vol 17.
Bell, G.J.
- Frank, W.M. 1977 The structure and energetics of the
tropical cyclone I. Storm structure
Mon. Wea. Rev., 105, 1119-1135.
- Georgiou, P.N., 1980 Interim Report on the Estimation of
Design Wind Speeds for Transmission
Lines in Hurricane Prone Regions of
the U.S.A. Report BLWT - SS15-1980,
U. of Western Ontario.
Davenport, A.G.,
and Vickery, B.J.

- Gumbel, E.J. 1958 Statistics of extremes. Columbia University Press, New York.
- Hammersley, J.M. 1964 Monte Carlo Methods. Chapman and
and Handscomb, D.C. Hall, London.
- Lam, C.Y. 1979 Wind, visibility, sea and swell over
林起榮 coastal waters of eastern Guangdong 1961-
1970. Royal Observatory Climat. Note
No. 4.
- Lam, C.Y. 1980a Wind, visibility, sea and swell over
林起榮 coastal waters of western Guangdong
1961-70. Royal Observatory Climat.
Note: No. 5.
- Lam, C.Y. 1980b Wind, visibility, sea and swell in the
林起榮 Gulf of Tonkin west of Hainan Island.
Royal Observatory Climat. Note No. 7.
- Miller, B.I. 1967 Characteristics of hurricanes.
Science, 157, 1389-1399.
- Royal Observatory 1970 Marine Climatological Summaries for
onwards areas 20057 and 21156 in the South China
Sea. Annual volumes from 1961 onwards.
- Russel, L.R. 1971 Probability distribution for hurricane
effects. J. of the Waterways, Harbors
and Coastal Engineering Division, Proc.
of Am. Soc. of Civil Engineers, 139-154.

U.S. Army Coastal 1977
Engineering Research
Centre

Shore Protection Manual. Volume 1.

U.S. Federal Emergency 1981
Management Agency

Coastal Flooding Storm Surge Model.
Part 1. Methodology.

表 1.

1958至1981年間在香港150海里內掠過的熱帶氣旋。每六小時給出位置和最持續風速數據。

Table 1. Tropical cyclones passing within 150 nautical miles of Hong Kong during 1958 - 1981. Positions and maximum sustained wind VSM are given for each 6-hourly position. The time is in GMT.

Name (if available)	Year	Month	Day	Hour	Lat. ON	Long. OE	VSM knot	Name (if available)	Year	Month	Day	Hour	Lat. ON	Long. OE	VSM knot
T.S.	1958	MAY	30	12	20.1	113.2	40	WILDA	1959	JUL	05	18	21.2	115.9	35
			30	18	20.5	113.0	40				06	00	22.4	115.6	40
			31	00	21.0	112.8	35				06	06			30
			31	06	21.1	112.6	30	NORA	1959	SEP	09	12	19.9	114.9	25
			31	12	21.2	112.4	30				09	18	20.3	114.9	30
			31	18	21.2	112.2	30				10	00	20.8	114.9	30
			01	00	21.3	112.0	25				10	06	21.4	115.0	30
T.D.	1958	JUL	21	00	20.7	114.2	25				10	12	22.0	115.0	40
			21	06	21.4	114.8	25				10	18	22.5	115.3	35
			21	12	22.1	115.5	25				11	00	23.0	115.5	35
			21	18	22.6	116.2	25	MARY	1960	JUN	07	12	20.3	113.2	67
T.S.	1958	AUG	06	06	20.3	115.5	25				07	18	20.7	113.2	67
			06	12	20.5	115.0	30				08	00	21.2	113.3	67
			06	18	20.7	114.5	35				08	06	21.6	113.4	72
			07	00	20.9	114.0	35				08	12	22.1	113.6	72
			07	06	21.0	113.6	40				08	18	22.5	113.8	72
			07	12	21.2	113.3	40				09	00	22.9	114.0	63
			07	18	21.3	112.9	40				09	06	23.9	115.3	59
			08	00	21.4	112.5	40				29	00	20.1	114.4	63
			08	06	21.5	112.1	40	CLIVE	1960	JUN	29	06	20.3	113.2	63
			08	12	21.6	111.7	35				02	06	20.9	112.0	25
			08	18	21.6	111.7	35				02	12	21.4	112.2	25
T.D.	1958	SEP	01	00	21.5	116.3	25	T.D.	1960	AUG	02	06	20.9	112.0	25
			01	06	21.8	115.4	25				02	12	21.4	112.2	25
			01	12	22.1	114.5	25				02	18	21.9	112.1	25
			01	18	22.3	113.6	25				03	00	22.4	112.1	25
			02	00	22.5	112.7	25	TRIX	1960	AUG	09	12	24.0	115.5	30

Name (if available)	Year	Month	Day	Hour	Lat. °N	Long. °E	VSM knot
TRIX	1960	AUG	09	18	24.0	114.7	30
	1960	AUG	10	00	24.0	113.9	25
	1960	AUG	10	06	23.7	112.3	20
AGNES	1960	AUG	15	06	21.6	115.5	25
ELAINE	1960	AUG	25	03	23.1	116.1	25
ALICE	1961	MAY	18	18	20.4	113.6	67
			19	00	21.2	113.8	63
			19	06	22.3	114.0	60
			19	12	23.9	114.8	41
DORIS	1961	JUL	02	00	23.2	116.2	40
			02	06	23.8	115.2	40
			02	12	24.0	114.6	30
ELSIE	1961	JUL	15	00	23.2	116.3	27
FLOSSIE	1961	JUL	19	00	21.1	116.9	45
			19	06	21.9	115.3	40
			19	12	22.6	114.1	30
OLGA	1961	SEP	08	12	20.3	115.9	41
			08	18	20.6	115.5	50
			09	00	20.9	115.2	56
			09	06	21.6	115.4	61
			09	12	22.2	115.3	63
			09	18	22.9	114.6	45
			10	00	23.4	114.0	27
SALLY	1961	SEP	28	18	22.7	116.7	59
			29	00	22.8	115.0	45
			29	06	22.5	113.7	32
			29	12	22.1	112.1	25
Name (if available)	Year	Month	Day	Hour	Lat. °N	Long. °E	VSM knot
WANDA	1962	AUG	31	18	21.7	115.6	100
	1962	SEP	01	00	22.1	114.3	90
			01	06	22.3	113.6	80
			01	12	22.6	112.7	50
			01	18	22.6	112.4	40
			02	00	22.6	112.0	30
DINAH	1962	OCT	03	12	22.0	116.5	63
			03	18	23.1	115.2	41
			04	00	23.2	114.1	22
AGNES	1963	JUL	21	12	20.0	115.4	59
			21	18	20.6	113.9	54
			22	00	20.8	113.1	54
			22	06	21.2	111.8	50
TRIX	1963	JUN	30	12	21.9	116.6	54
			30	18	22.8	116.5	50
FAYE	1963	SEP	06	06	20.3	115.2	100
			06	12	20.2	113.9	95
			06	18	20.2	113.0	90
VIOLA	1964	MAY	27	06	20.0	114.0	59
			27	12	20.6	113.8	63
			27	18	21.2	113.5	63
			28	00	21.9	113.2	55
			28	06	22.5	112.9	50
			28	12	23.1	112.4	35
IDA	1964	AUG	08	06	20.5	115.7	86
			08	12	21.3	114.6	86
			08	18	22.2	113.2	81

Name (if available)	Year	Month	Day	Hour	Lat. °N	Long. °E	VSM knot
FREDA	1965	JUL	14	12	19.8	114.5	90
GILDA	1965	JUL	22	18	20.3	113.0	90
ROSE	1965	SEP	23	00	20.7	112.1	40
AGNES	1965	SEP	23	06	21.2	112.0	40
LOLA	1965	SEP	23	06	21.7	111.9	35
MAMIE	1966	JUL	04	12	20.0	114.1	72
ANITA	1967	JUN	04	18	20.4	113.1	72
T.D.	1967	AUG	05	00	20.9	112.2	68
IRIS	1967	AUG	27	06	21.3	111.8	40
			27	12	21.9	111.2	40
			12	18	20.6	116.2	35
			13	00	21.2	115.2	45
			13	06	21.5	114.6	50
			13	12	22.2	114.1	55
			13	18	22.7	113.2	50
			14	00	23.5	112.0	30
			17	00	21.1	116.2	77
			17	06	21.2	114.4	72
			17	12	21.6	113.0	59
			30	06	23.4	116.4	45
			11	06	21.3	112.2	25
			11	12	22.0	112.8	25
			15	06	20.3	114.6	30
			15	12	20.5	113.7	35
			15	18	20.7	113.1	40
			16	00	21.0	112.5	40
			16	06	21.0	112.4	40

Name (if available)	Year	Month	Day	Hour	Lat. °N	Long. °E	VSM knot
IDA	1964	AUG	09	00	23.0	111.7	60
RUBY	1964	SEP	04	18	21.1	116.2	95
SALLY	1964	AUG	05	00	21.3	115.0	104
TILDA	1964	SEP	05	06	22.1	113.8	108
			05	12	22.8	112.7	90
			05	18	22.9	111.7	65
			10	06	21.8	115.8	81
			10	12	22.7	114.7	77
			10	18	23.3	113.7	50
			15	18	21.1	116.5	68
			16	00	21.1	115.8	63
			16	06	21.0	115.2	59
			16	12	21.0	114.8	59
			16	18	20.9	114.4	59
			17	00	20.5	114.2	54
			17	06	20.2	114.1	50
			17	12	19.9	114.1	45
			12	06	20.5	115.0	81
			12	12	21.1	114.7	70
			12	18	21.7	114.5	70
			13	00	22.4	114.4	70
			13	06	23.3	114.7	60
			13	12	24.1	114.9	40
			03	18	20.0	114.5	59
			04	00	21.1	114.9	59
			04	06	22.3	115.7	59
			04	12	23.9	116.7	30

Name (if available)	Year	Month	Day	Hour	Lat. °N	Long. °E	VSM knot
IRIS	1967	AUG	16	12	21.3	112.1	40
			16	18	21.6	111.8	35
KATE	1967	AUG	21	00	20.1	114.4	63
			21	06	21.5	113.7	59
			21	12	22.2	113.0	36
			21	18	23.0	112.6	30
SHIRLEY	1968	AUG	22	00	23.6	112.0	30
			21	00	20.7	115.4	81
			21	06	21.5	114.7	70
			21	12	22.3	114.0	70
			21	18	23.2	113.2	65
			22	00	24.3	112.8	40
WENDY	1968	SEP	07	12	21.9	116.9	50
			07	18	21.5	115.7	55
			08	00	21.3	114.4	50
			08	06	21.1	113.1	50
ELAINE	1968	OCT	01	00	22.7	116.8	45
			01	06	23.1	116.2	30
VIOLA	1969	JUL	28	06	23.0	115.9	63
			28	12	23.2	114.3	63
			28	18	23.3	113.8	56
			29	00	23.8	112.5	45
RUBY	1970	JUL	15	12	20.8	116.0	45
			15	18	21.2	115.2	45
			16	00	22.0	114.9	45
			16	06	23.0	114.9	30
Name (if available)	Year	Month	Day	Hour	Lat. °N	Long. °E	VSM knot
T.D.	1970	AUG	02	12	23.3	116.1	25
			02	18	23.2	114.9	25
			03	00	23.2	113.3	25
VIOLET	1970	AUG	08	12	20.4	115.7	40
			08	18	21.0	114.6	40
			09	00	21.8	113.0	30
GEORGIA	1970	SEP	13	06	20.3	115.7	70
			13	12	21.2	115.4	70
			13	18	21.8	115.3	55
			14	00	22.4	115.3	40
			14	06	23.5	115.3	30
IRIS	1970	OCT	06	18	20.1	114.0	81
			07	00	20.3	114.2	72
			07	06	20.7	114.8	68
			07	12	20.9	115.2	59
			07	18	21.0	115.8	50
			08	00	21.3	116.1	36
FREDA	1971	JUN	17	00	20.3	115.5	59
			17	06	20.8	114.9	54
			17	12	21.4	114.3	50
			17	18	22.1	113.6	45
			18	00	22.8	113.1	32
			18	06	23.6	112.4	30
LUCY	1971	JUL	21	12	21.4	116.5	68
			21	18	21.7	115.7	63
			22	00	22.2	115.0	60

Name (if available)	Year	Month	Day	Hour	Lat. ON	Long. OE	VSM knot
DOT	1973	JUL	16	06	20.4	113.6	72
			16	12	21.0	113.8	77
			16	18	21.7	114.1	77
			17	00	22.6	114.5	59
			17	06	23.4	115.2	45
JOAN (II)	1973	AUG	20	18	21.4	116.0	30
			21	00	21.3	113.4	30
			21	06	21.3	112.0	30
T.D.	1973	AUG	29	00	20.5	112.4	25
LOUISE	1973	SEP	05	12	19.8	114.0	68
T.D.	1974	JUN	07	12	20.6	112.8	25
			07	18	21.1	112.4	25
			08	00	21.7	112.0	25
IVY	1974	JUL	22	00	20.2	112.9	81
			22	06	20.9	112.3	86
			22	12	21.8	111.5	54
TRIX	1974	SEP	05	00	20.7	115.8	30
			05	06	20.7	115.1	30
			05	12	20.7	114.5	30
			05	18	20.8	113.7	35
			06	00	21.0	113.0	40
			06	06	21.5	112.2	35
CARMEN	1974	OCT	18	00	20.0	115.1	63
			18	06	20.3	114.9	63
			18	12	20.5	114.6	68
			18	18	20.8	114.3	63

Name (if available)	Year	Month	Day	Hour	Lat. ON	Long. OE	VSM knot
LUCY	1971	JUL	22	06	22.7	113.8	60
			22	12	22.7	112.1	50
ROSE	1971	AUG	16	00	20.2	114.0	108
			16	06	20.8	113.8	108
			16	12	21.5	113.8	95
			16	18	22.3	113.6	81
T.D.	1972	JUN	17	00	23.0	113.4	50
			10	12	20.0	113.8	25
			10	18	20.5	114.7	25
SUSAN	1972	JUL	10	12	20.7	115.7	50
			10	18	20.0	115.6	59
			11	00	21.2	116.0	59
			11	06	21.6	116.1	59
			11	12	21.9	116.1	54
			11	18	22.3	116.2	50
			12	00	22.6	116.4	45
			12	06	22.4	117.0	45
			12	12	22.1	116.9	41
			12	18	22.0	116.5	41
			13	00	22.2	116.0	41
			13	06	22.6	115.6	36
			13	12	22.2	115.5	41
			13	18	21.8	115.5	45
			14	00	21.7	116.0	45
			14	06	21.7	116.4	41
PAMELA	1972	NOV	08	18	23.0	112.1	30
			09	00	24.3	113.4	25

Name (if available)	Year	Month	Day	Hour	Lat. °N	Long. °E	VSM knot			
CARMEN	1974	OCT	19	00	21.3	113.9	59			
			19	06	21.3	113.0	50			
			19	12	21.3	112.4	41			
			29	18	20.6	114.9	50			
ELAINE	1974	OCT	30	00	20.9	114.2	45			
			30	06	20.9	113.9	36			
			30	12	21.0	113.6	32			
			30	18	21.0	113.4	27			
			31	00	21.0	113.1	27			
			31	06	20.8	112.5	23			
			09	00	22.3	116.7	32			
			09	06	22.3	116.4	27			
			09	12	22.2	116.0	27			
			09	18	21.7	115.9	25			
GLORIA	1974	NOV	10	00	21.4	115.9	25			
			10	06	21.0	115.8	25			
			01	18	21.0	112.0	45			
			02	00	21.6	112.5	36			
			02	06	22.4	113.4	32			
			02	12	23.0	114.2	23			
			DORIS	1975	OCT	05	12	20.6	112.4	40
						05	18	21.8	112.5	60
						06	00	23.0	112.9	50
						06	06	24.2	113.8	40
13	18	21.7				116.4	81			
14	00	21.9				115.2	78			
14	06	21.9				114.2	63			
14	12	21.9				113.4	50			
14	18	22.2				112.7	36			
FLOSSIE	1975	OCT				23	00	20.9	112.1	59
			13	06	20.8	112.6	25			
			13	12	21.4	113.7	25			
			13	18	22.5	114.1	25			
T.D.	1975	AUG	14	00	23.1	113.9	25			
			14	06	23.5	113.6	25			
			23	18	23.7	115.6	25			
			24	00	23.9	114.9	25			
BETTY	1975	SEP	05	12	19.9	114.2	50			
			05	18	20.3	114.1	50			
			06	00	20.6	113.9	50			
			06	06	21.1	113.7	50			
CLARA	1976	AUG	05	12	19.9	114.2	50			
			05	18	20.3	114.1	50			
			06	00	20.6	113.9	50			
			06	06	21.1	113.7	50			

Name (if available)	Year	Month	Day	Hour	Lat. °N	Long. °E	VSM knot	Name (if available)	Year	Month	Day	Hour	Lat. °N	Long. °E	VSM knot
CLARA	1976	AUG	06	12	21.6	113.3	40	AGNES	1978	JUL	26	00	21.5	114.9	55
			06	18	22.1	112.1	30				26	06	21.3	114.5	60
ELLEN	1976	AUG	23	18	21.4	116.3	35				26	12	21.2	114.1	60
			24	00	22.4	115.5	35				26	18	21.3	113.7	60
			24	06	23.3	114.2	30				27	00	21.3	113.3	60
IRIS	1976	SEP	18	06	20.0	115.0	68				27	06	21.3	112.8	60
			18	12	20.4	114.4	68				27	12	21.2	112.3	60
			18	18	20.7	113.7	68				27	18	21.0	111.9	55
			19	00	21.0	113.1	68				28	18	20.4	112.5	55
			19	06	21.2	112.4	68				29	00	20.5	113.0	60
			19	12	21.3	111.7	63				29	06	20.8	113.6	60
VIOLET	1976	JUL	25	00	20.2	112.8	55				29	12	21.4	114.3	60
			25	06	20.6	113.1	55				29	18	22.3	114.8	55
			25	12	21.2	112.7	55				30	00	22.8	114.9	40
			25	18	21.4	112.1	50	NINA	1978	OCT	16	06	20.1	112.1	25
			26	00	21.7	111.4	45	ELLIS	1979	JUL	05	06	20.4	115.1	55
FREDA	1977	SEP	24	06	20.2	115.1	60				05	12	20.5	114.2	50
			24	12	21.1	113.6	55				05	18	21.0	113.0	45
			24	18	21.6	112.0	45				06	00	21.5	111.9	40
AGNES	1978	JUL	25	06	20.4	115.8	45	GORDON	1979	JUL	29	06	22.9	116.3	50
			25	12	21.1	115.7	45				29	12	23.0	115.0	35
			25	18	21.4	115.5	45				29	18	23.0	114.0	25
								HOPE	1979	AUG	02	00	22.2	116.5	110
											02	06	22.4	114.1	100
											02	12	22.4	112.1	60

Name (if available)	Year	Month	Day	Hour	Lat. °N	Long. °E	V _{SM} knot
MAC	1979	SEP	22	06	20.5	115.9	30
			22	12	20.7	115.7	30
			22	18	21.0	115.1	30
			23	00	21.4	114.4	60
			23	06	21.7	113.8	50
			23	12	21.9	113.9	50
			23	18	22.3	113.3	35
			24	00	22.3	112.7	25
			24	06	22.0	112.5	25
GEORGIA	1980	MAY	23	06	20.5	115.0	55
			23	12	21.5	115.5	55
			23	18	22.4	116.0	45
			24	00	23.4	116.5	45
IDA	1980	JUL	11	18	23.7	116.3	45
T.S.	1980	JUL	18	12	20.3	113.7	35
			18	18	21.1	112.8	30
			19	00	21.8	112.0	30
KIM	1980	JUL	27	00	21.5	116.2	45
			27	06	22.5	116.0	40
			27	12	23.6	116.0	35
			27	18	24.4	115.7	25
T.D.	1980	AUG	18	12	20.7	112.4	30
LYNN	1981	JUL	06	00	20.1	114.9	55
			06	06	20.3	114.3	55
			06	12	20.6	113.8	55
			06	18	21.3	113.2	55
			07	00	21.9	112.6	45
CLARA	1981	SEP	21	18	22.4	116.2	80
			22	00	23.6	115.2	50
			22	06	24.6	114.6	30
LEE	1981	DEC	29	06	20.3	124.7	25

表 2. 频率分布模式及验证

参数	分布模式	模式参数	自由度	χ^2 验证	
				χ^2	5% 置信 χ
V_T	正态	$\bar{V}_T = 9.67$ $\sigma(\bar{V}_T) = 3.67$	17	19.25	27.59
V_m	对数-正态	$\frac{\ln V_m}{\sigma} = 3.80$ $\sigma(\ln V_m) = 0.41$	7	13.51	14.07
D_m	平均	$p = \frac{1}{150}$	29	23.13	42.56
年台风数	波松	$\lambda = 3.79$	7	1.94	14.07

表 3. β 的频率分布

β	查表在 台风	根据 6 个台风的 样本	根据 100 000 个 模拟台风
-1	右方	0.604	0.606
+1	左方	0.396	0.394

表 4. R_m 的累积频率

R_m (以海里计)	BEU (1975)	根据 100 000 个 模拟台风
0	0.0	0.0
10	0.497	0.497
20	0.888	0.889
30	0.966	0.966
40	0.994	0.994
50	1.000	1.000

表5. V_T 的累積頻率

V_T (W. 海里/時計)	根據 91 個颶風 的樣本	根據 100 000 個 模擬颶風
0.0	0.0	0.0
1.5	0.008	0.008
3.5	0.041	0.041
5.5	0.124	0.125
7.5	0.273	0.275
9.5	0.479	0.481
11.5	0.689	0.690
13.5	0.850	0.851
15.5	0.944	0.944
17.5	0.983	0.983
19.5	0.996	0.996
21.5	0.999	0.999
23.5	1.000	1.000

表6. V_m 的累積頻率

V_m (W. 海里/時計)	根據 91 個颶風 的樣本	根據 100 000 個 模擬颶風
22	0.110	0.110
42	0.548	0.548
62	0.833	0.833
82	0.944	0.944
102	0.982	0.981
122	0.996	0.996
142	0.999	0.999
162	1.000	1.000

表7. 香港每年由颱風帶來的最大持續風速
(10米高度)的累積頻率

最大風速 (W. 海里/時計)	根據 100 000 個模擬颱風	
	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.7$
55	0.782	0.823
60	0.839	0.869
65	0.878	0.900
70	0.904	0.925
74	0.928	0.941
78	0.945	0.955
82	0.958	0.965
86	0.966	0.971
90	0.973	0.977
94	0.979	0.981
98	0.984	0.986
102	0.988	0.990
106	0.991	0.992
110	0.993	0.994
115	0.995	0.996
120	0.997	0.997
130	0.999	0.999
160	1.000	1.000

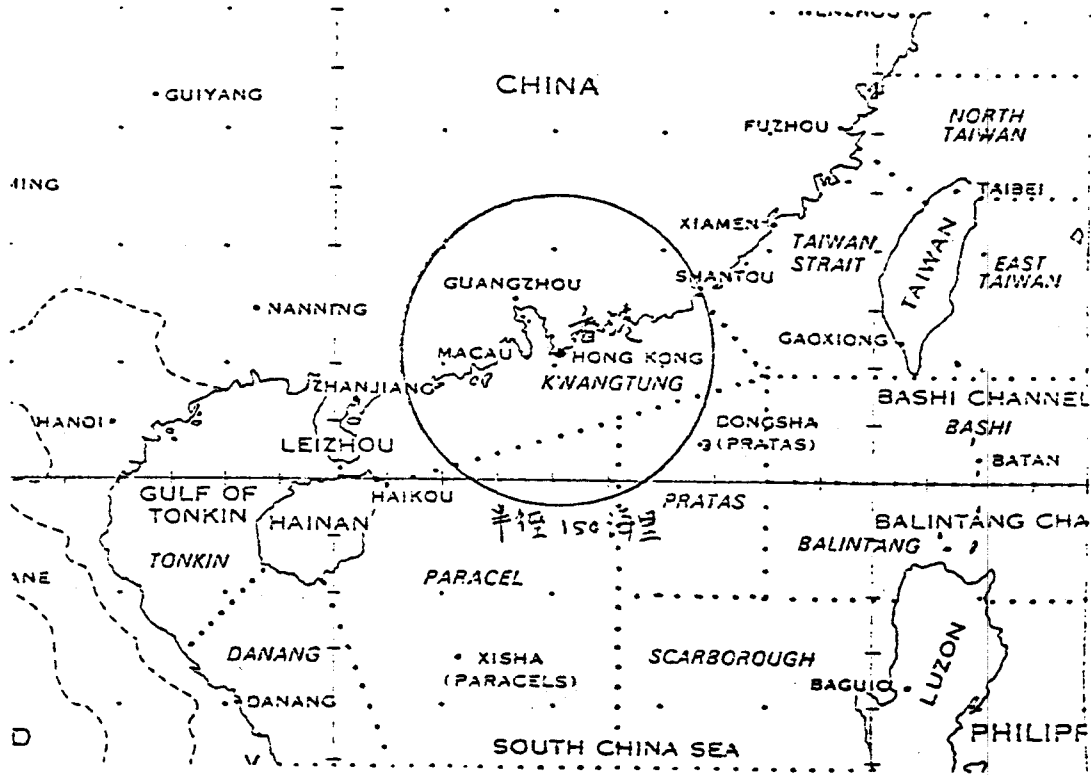


图 1. 在圆圈內掠过的台风是本文的研究对象

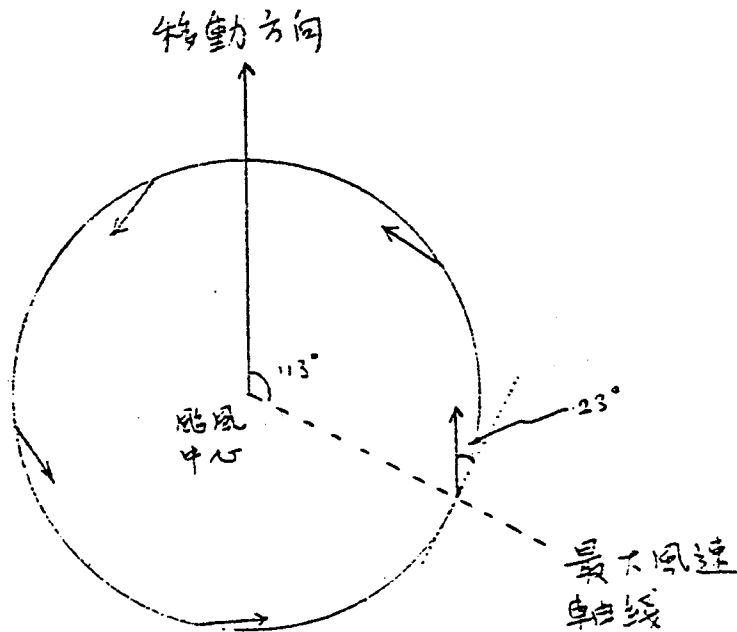


图 2. 风场模型

$V(r, r)$

V_{max}

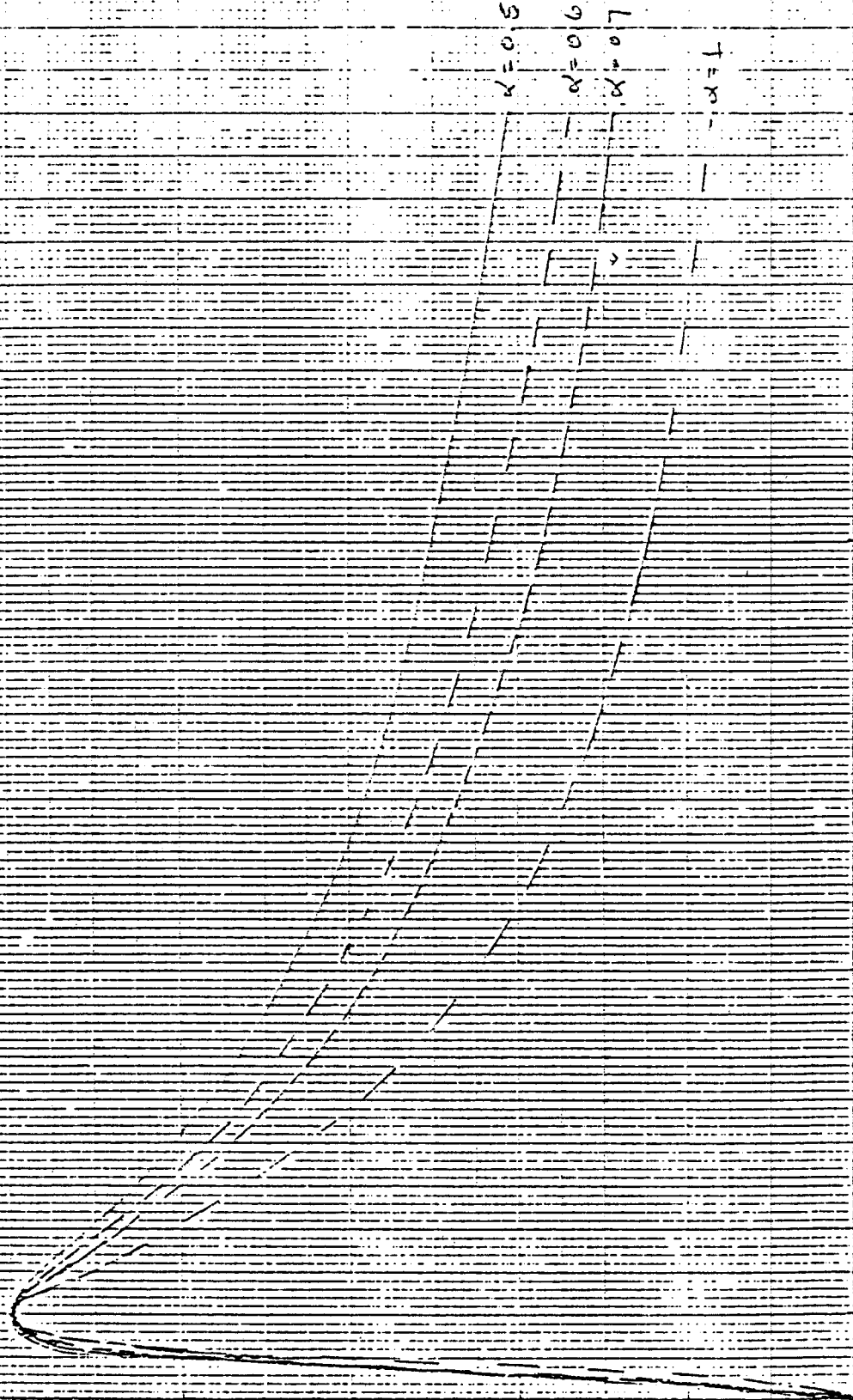


图13. 颱風風場模型徑向剖面

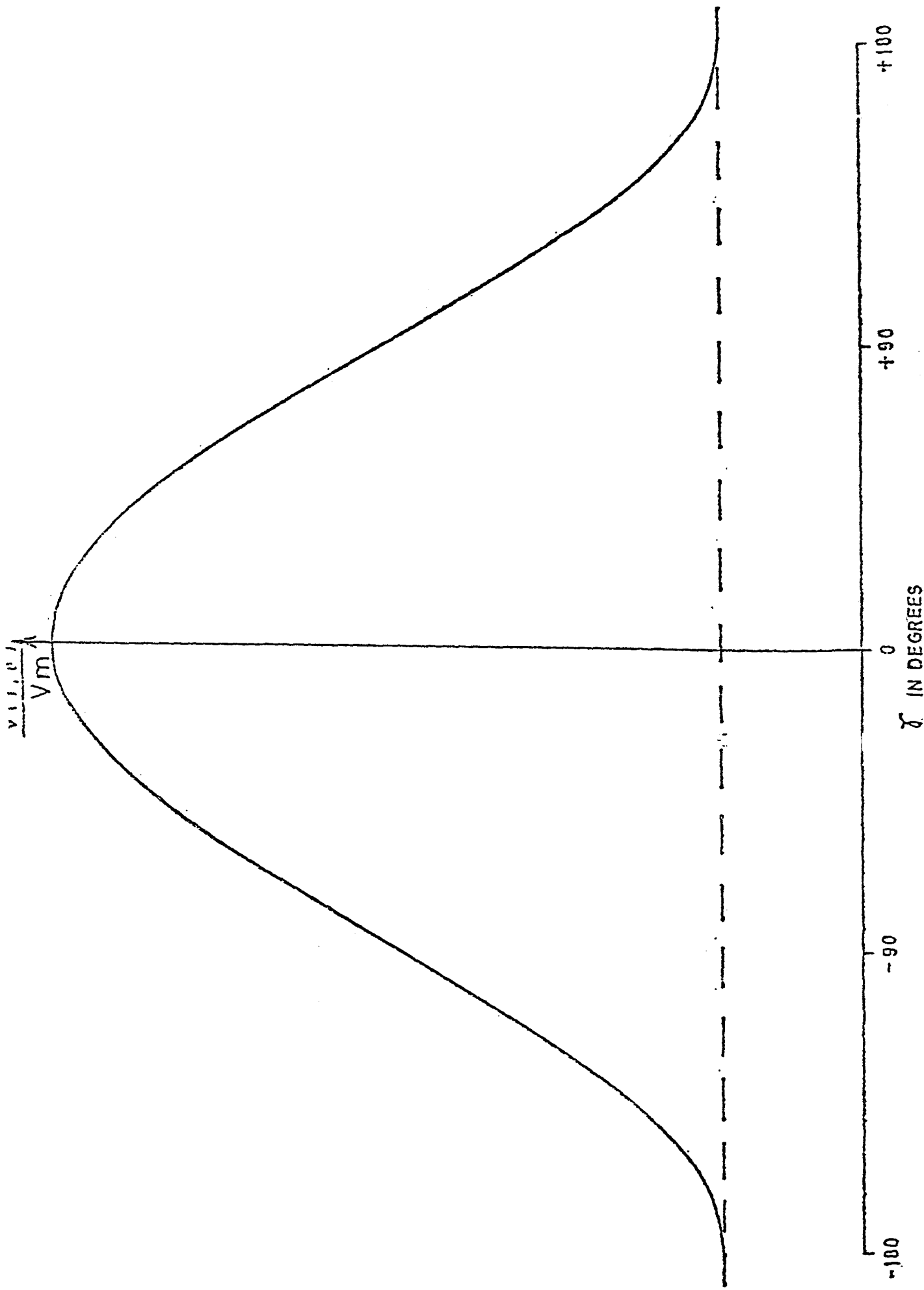


图4. 陀螺仪模型的方向部分

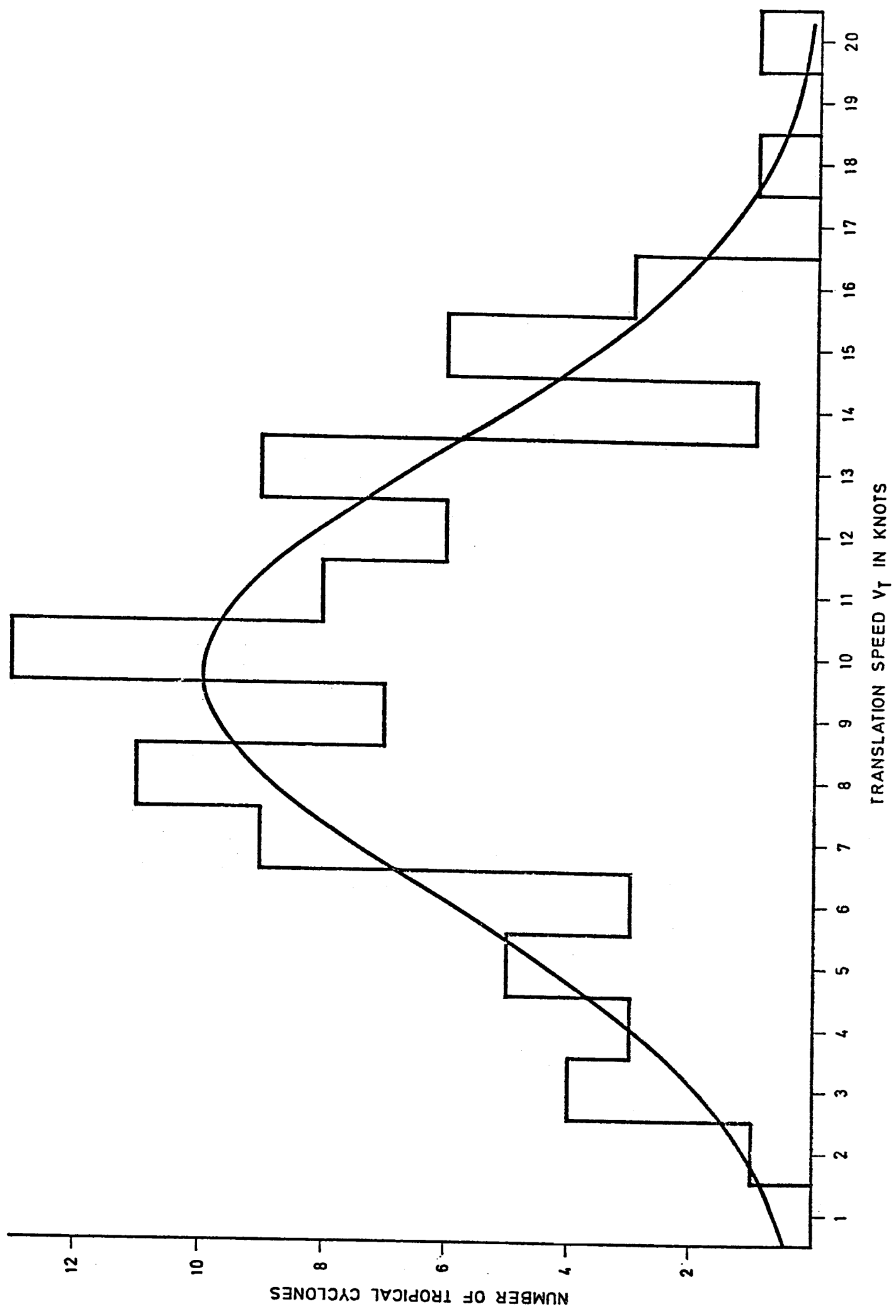
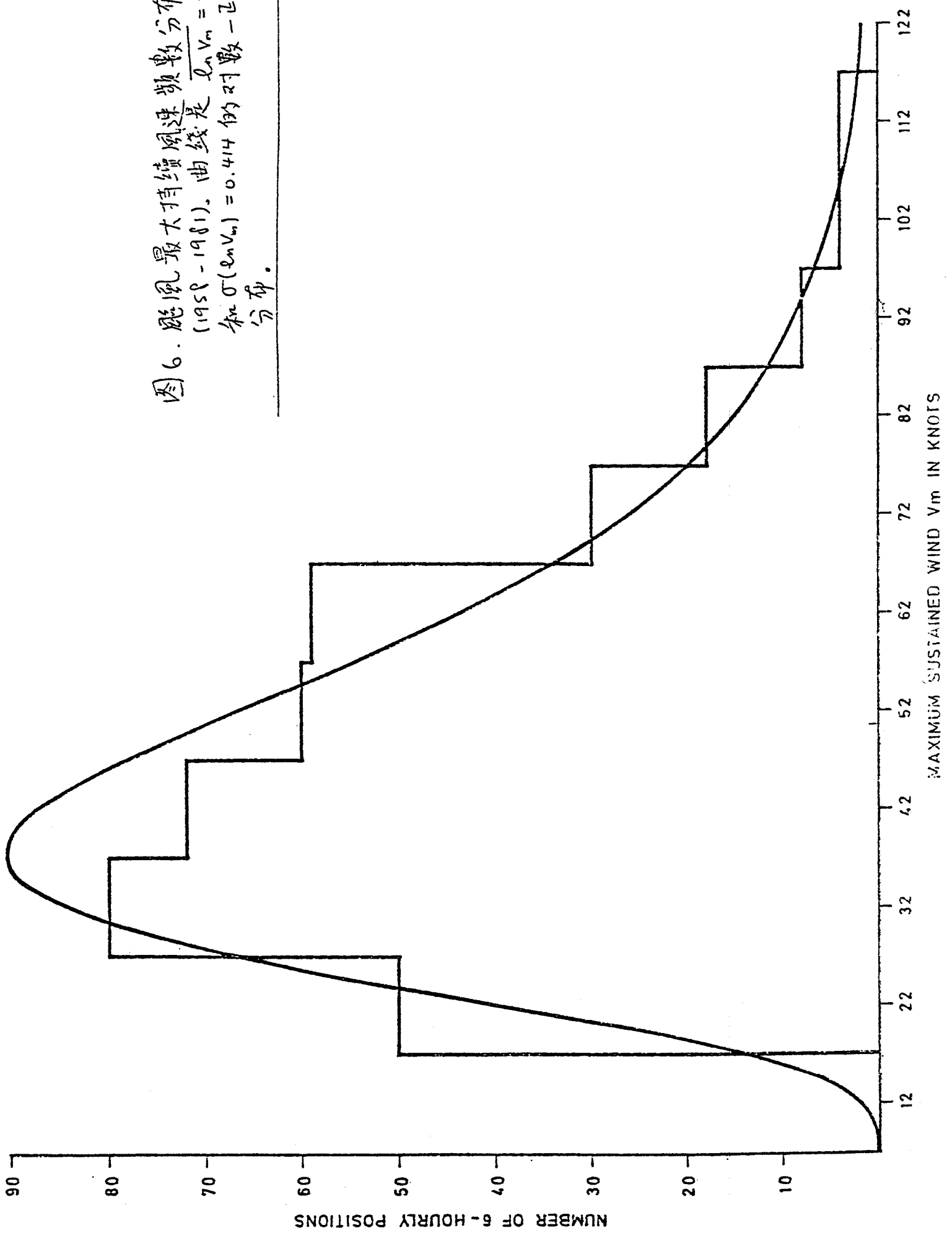


图5. 台风移动速度 V_T 的频率分布 (1958-81)。
 曲线是 $\bar{V}_T = 9.67$ 和 $\sigma(V_T) = 3.67$ 的正态分布。

图6. 台风最大持续风速频率分布
 (1958-1981). 曲线是 $\ln V_m = 3.80$
 和 $\sigma(\ln V_m) = 0.414$ 的正态
 分布.



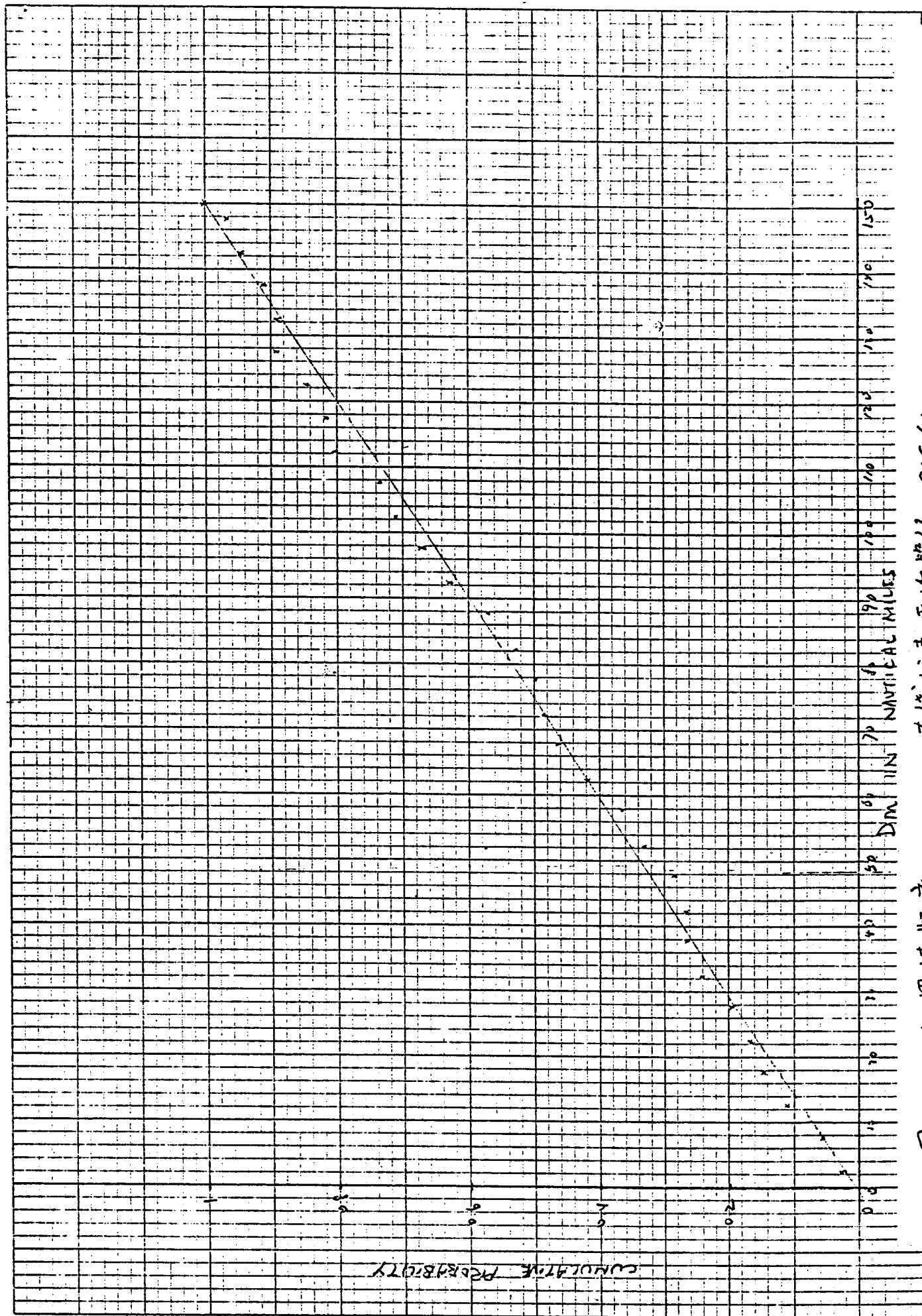


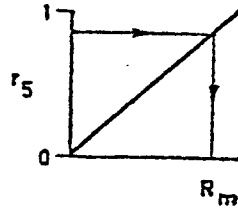
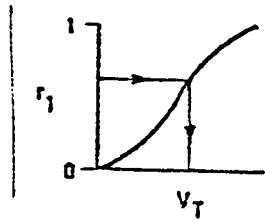
图7. D_m的累积频率率 (1958-81)。直线代表平均等于 2.935 的平均分布累积频率率。

0 与 1 之间的随机数字

(r_1, \dots, r_5)



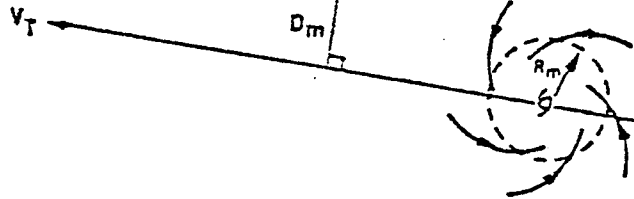
累積頻率



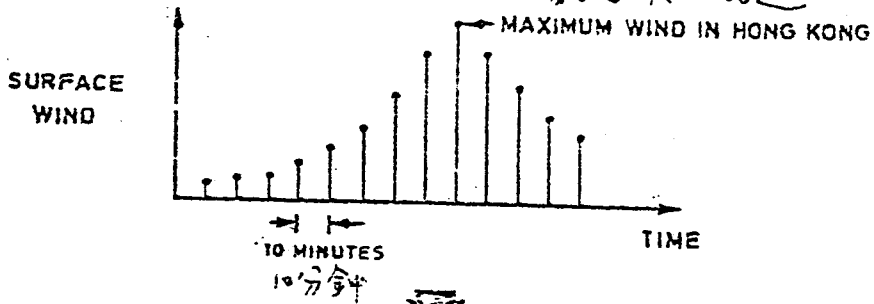
(V_T, \dots, R_m)



香港
HONG KONG



香港最大風速



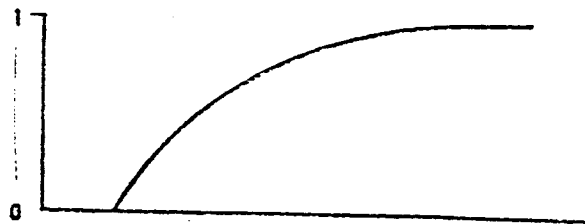
重複多次



颱風出現頻數 - 波松分布律



累積頻數



颱風帶來之最大風速

圖 8. 蒙地卡罗模拟網要图解

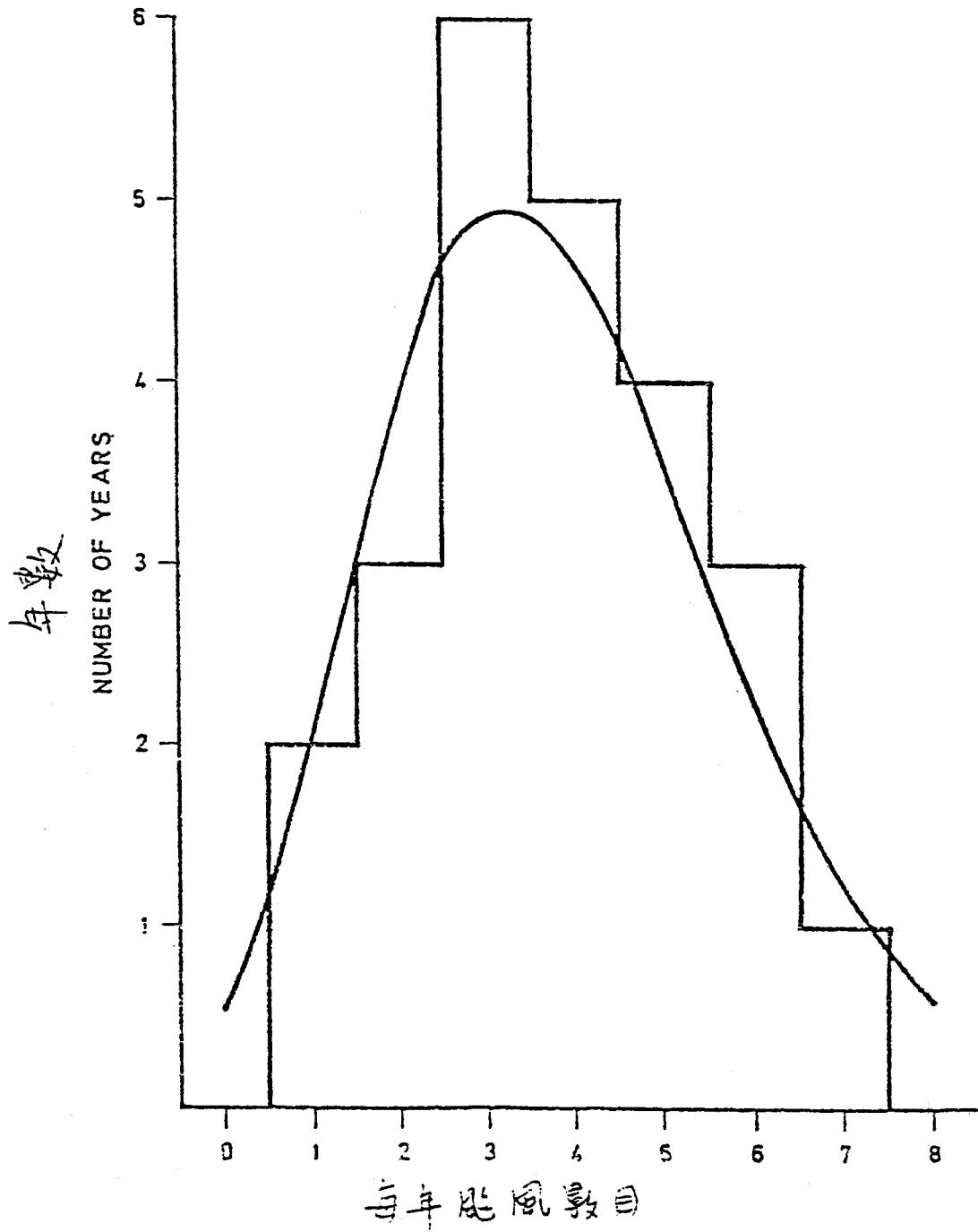


圖9. 颱風在音凌150海里內掠過的頻數分布
 (1958-1981).
 曲線是 $\lambda = 3.790$ 的波松分布。

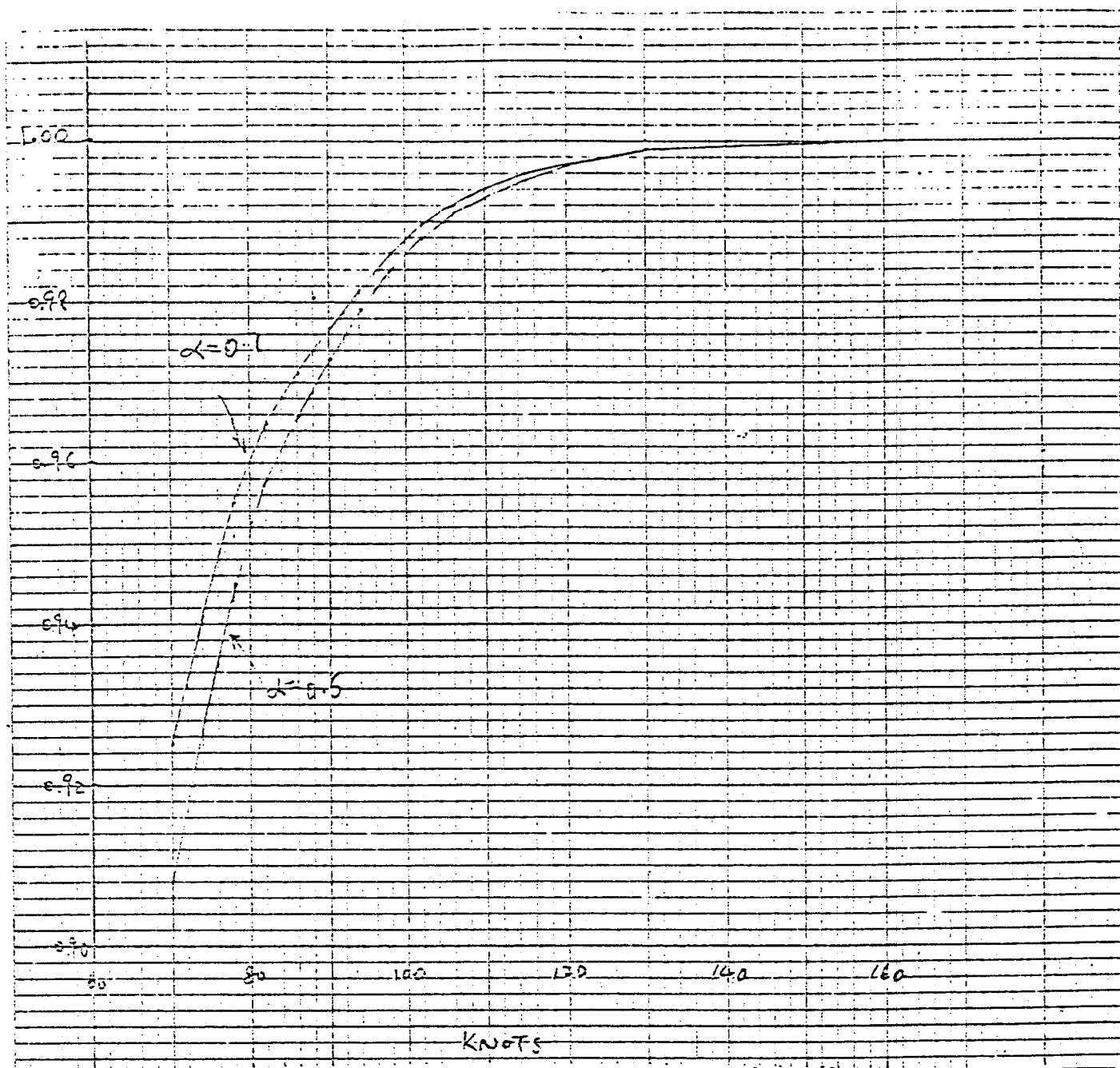
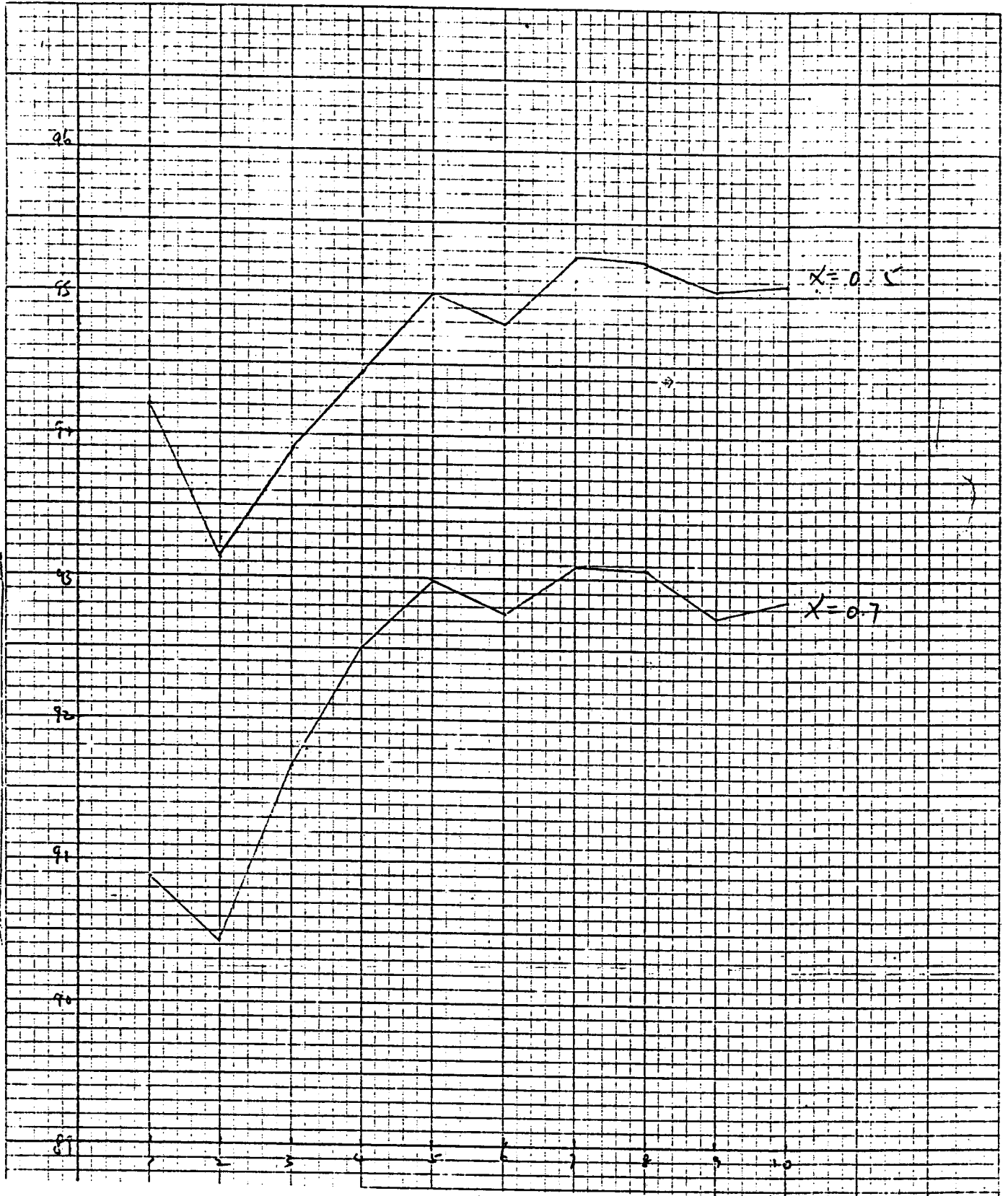


图10. 香港每年由台风带来的最大持续
风速(10米)累积频率.

最大風速 (海里/時)



x 10000 個 模拟 台风

图 11. 隨著樣本台风數目增大估计 50 年一遇最大風速的变化

最大風速 (海里/時)



图 12. 隨著樣本颱風數目增大估計 100 年一遇最大風速的變化

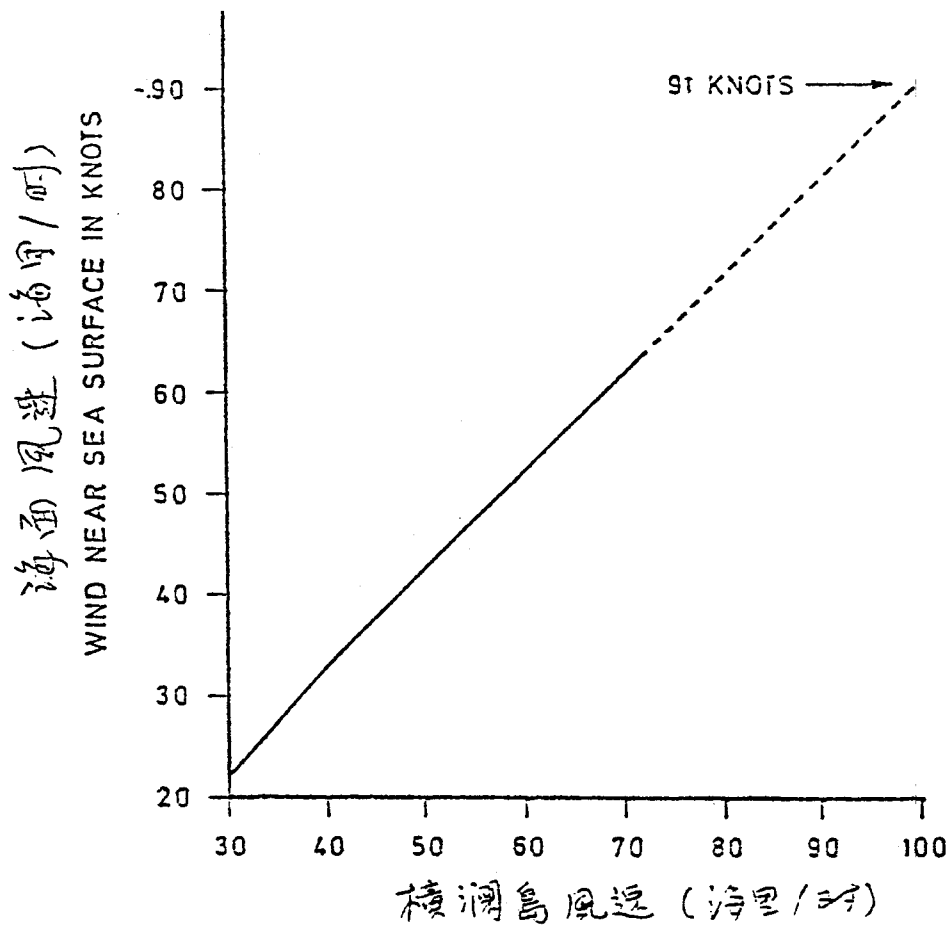


图13. 钱象象等(1978)的工作结果外推到横澜岛风速等於100海里/时。

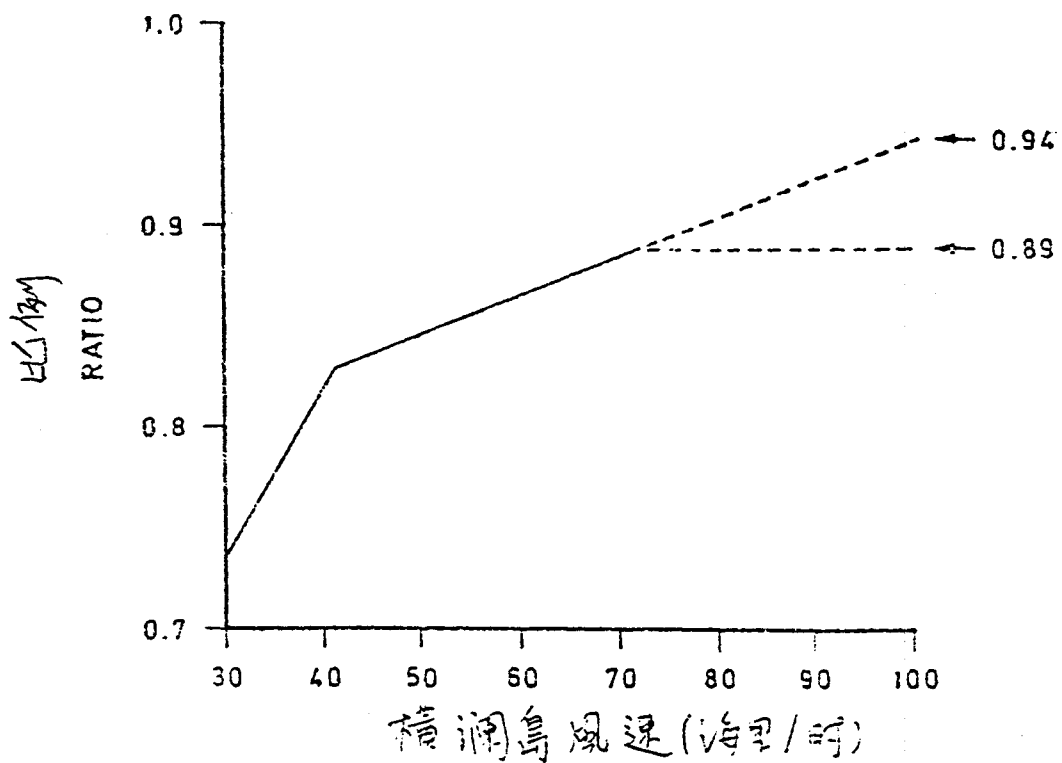


图14. 钱象象等(1978)有关海面风速和横澜岛风速比例的工作结果外推到横澜岛风速等於100海里/时。