EJ095199421001

師大地理研究報告
第21期　民國83年3月
Geographical Research
No. 21, March 1994

台灣南端與東部海岸沙丘之地形學研究

A Geomorphological Study of Sand Dunes in Southern and Eastern Coast of Taiwan

石再添*　張瑞津**
Tsai-tien Shih　Jui-chin Chang
張政亮*1　連偵欽*1　林雪美*1
Cheng-liang Chang　Chein-chin Lien　Hsueh-mei Lin

Abstract

This paper is the third year's study of "The geomorphological study of coast sand dunes of Taiwan". The study areas include the eastern and southernmost coasts of Taiwan. Based on airphoto interpretation, particle size analysis, field studies etc., the results are summarized as follows:

1. In Southern Taiwan, most of the streams are short, and supply only a little sand. The eastern coast of Taiwan is fault coastline, so there are many cliffs along the coast. The extension of sand dunes is not so wide as that in the western and the northern Taiwan.

2. In southern coastal area, most of sand dunes are distributed on the plain near river mouths and on the coral reef platforms, such as Hai-kou, Chiu-peng, and Fou-chiu-sa, etc. Various types of dunefields: dome dunes,barchans, sandfalls, and pseudo dunes were easily observed there. The supply of sand come from the shelly fragments and mineral grains by coastal erosion and suspended sediment. The sizes of the gray and white color particles in the southern coast are smaller than those in the eastern coast.

3. The sand dunes in the eastern faulted coast are distributed only on the plain near river mouths like Pei-pu and Chih-pen. Most of the sand supplies come from suspended sediment. The sizes of the particles with gray and black color are bigger than those in the southern coast. The features of dunefields are simple only gradual undulation along shoreline.

民國83年1月12日投稿，2月23日受理。
本研究係國科會81年度補助專題研究計畫(NSC82-0202-M-003-043)成果。

*計畫主持人，**協同主持人，國立臺灣師範大學地理學教授(Director and Co-director of the study project; Prolassor, Department of Geography, National Taiwan Normal University)；*1兼任研究助理(Part-time Research Assistant)

4. Because of the dunefield was used as fishery, watermelon planting and cemetery, most of the sand dunes were leveled off entirely. Some of the residual sand dunes were stabilized by windbreak forest.

For sand dunes showing a function of protecting coasts, they had better be well-planned and well-used so as to maintain the sustainable utilization of land sources.

(Key words: coastal geomorphology, sand dunes, type, distribution, grain size analysis, land sources)

一、緒　論

㈠海岸沙丘研究的意義

風或波浪所搬運之泥沙，當其風速減低或受障礙物阻擋，在海岸地帶堆積而成的丘阜，通稱爲海岸沙丘。此地形一旦形成，沙丘便成爲海岸沈積物運動體系的一部分。一般而言，海岸沙丘多發育於大河河口附近或和緩的彎曲海岸，其成育對灘面大小、供沙來源、沿岸流方向、植被覆蓋、人爲開發及風、降水量、氣溫、相對濕度等氣候條件有著密切的相關。因此，海岸沙丘的形成乃爲各項要素的綜合表現，由供沙來源的多寡、海岸盛行風的風向、地形起伏的變化和植被的情形，有助於了解沙丘形態和其規模的演育，而透過古、舊沙丘的分布、排列及其粒徑與沙粒中的花粉、腐植質、生物化石和礦物成分等分析，可推知當時濱線的位置，提供做爲研究古氣候變遷與地殼運動的參考。

晚近，在科技進展與人口膨脹等因素下，沙丘地亦如山坡地、河川地、海埔地等邊際土地，陸續遭到開發；然而超限的利用和不當的經營，往往導致環境品質不斷惡化，造成「人地關係」的矛盾加劇。是故爲因應休閒場所、建築用地和工業區等不斷在海岸沙丘地區設置，加強沙丘地區的開發、利用和管理，以達到地盡其利的目的，對於沙丘的各項特性實有更進一步了解的必要。

㈡相關文獻的回顧

海岸沙丘爲陸地、海洋和大氣三者交互作用所成，各因子間繁雜的互動實不易掌握與探知，加以早期理論和設備上的欠缺、資料的不充分、定量研究的不足，故長期以來多爲描述性的記載。

唯最近因土地需求日益殷切，各種計測工具的推陳出新，如遙測及航照判釋技術與各種定年方法（如C14、ESR、螢光定年等）的引用，促使海岸沙丘的調查與研究有更進一步的發展，尤其以歐、美、澳、日等國的研究最具成果。

1. 歐、美、澳學者的研究

大體而言，海岸沙丘研究的趨勢，一則主在探討風力、雨水、波浪等自然營力與沙粒的運動、搬運及堆積間的關係：如R.A.Bagnold(1941)與W.S.Chepil(1945)均研究各種沙粒運動以及沙粒粒徑、摩擦速度、空氣密度、含水率等機制對飛沙量的影響，並推演出許多計算公式。S.A.Hsu(1971,1973)則測量風剪力與灘面的粗糙度有正面的相關。M.C.

Miller 、 I.N.Mccare 和 P.D.Komar(1977) 共同探討在不同流體速度中，沙粒等沈積物運動的臨界值變化情形。 Y.D.Shuiky(1986) 利用捕沙器在蘇聯黑海、波羅的海及鄂霍次克海三個濱海地區進行研究，發現黑海因盛行風由陸向海吹拂，故沙量推積不如後兩個地區。 B. G.Thom 和 W.Hall (1911) 也曾調查澳洲 Moruya 地區， 1972 ～ 1988 年間海濱侵蝕與堆積過程中，對海岸沙丘所產生的影響與變化。此外，像 A.W.Zingg(1952) 、 J.S.Oison(1958) 、 K. Horikawa 和 H.W.Shen(1960) 、 M.Lagie(1981) 、 N.H.Berg(1983) 、 J.A. Lee(1986) 和 W.M. Marsh & B.D.Marsh(1987) 、 M.F.Overton et al.(1987) 等多位學者，亦均曾分別實驗並探討風速大小、沙粒粒徑與密度、植被多寡等因素對於沙粒移動和飛沙量的影響。

海岸沙丘另一個研究趨勢則多在研究沙丘的分布、形態、規模、植被、形成的環境和年代以及沙丘沙的組成與粒度的分析方面，除了像 W.S.Cooper(1958) 、 J.L.Davies(1972)) 、 K.Pye(1986) 、 K.Nodstorm & N.Psuty(1990) 、 R.W.G.Carter et al.(1992) 等人，對沙丘形成的各因子作有系統的介紹外， A.E.Day(1928) 探討敘利亞沙丘和海岸各種不同顏色沙粒的礦物組成，並且加以分析。 R.Dolan(1972) 在美國北卡羅萊納州的沙丘研究中，指出因人爲作用的影響，使海岸線內移且活動沙丘帶擴大，造成諸多的失衡現象。 D. Hopley (1979) 則觀察出澳洲昆士蘭 Alva 沙嘴有漸往北移的趨勢，並影響其沙丘的形貌。 B.Swan(1981) 研究昆士蘭北邊 Friday Island 地區其海相及氣候因子對沙丘的影響，並對沙丘的地形、植被及沙粒大小和組成等均加以探討，且推估其形成年代。而 C.H.Thompson(1981) 亦研究澳洲東部海岸沙丘中灰壤堆積的時間次序和厚度來判別新、舊沙丘（愈新的沙丘灰壤層愈薄），做爲第四紀後期不同氣候帶之變遷參考。 N.Lancaster(1982 、 1987) 曾分別研究墨西哥的星狀和新月狀沙丘以及非洲奈米比亞的新月狀沙丘，發現其形態除與盛行風向有關外，粒徑大小亦有一定程度的影響，研究指出沙丘高度愈高且沙丘間距愈大，則沙粒愈粗。 C. Kidson et al.(1989) 利用不同時期的地圖，求取 DTM 的高度資料加以對比，研判英國西南部 Deron 地區主要沙丘帶有往內陸移動的現象。 W.Ritter et al.(1989) 則對美國路易斯安那州 Isles Dernieres 群島海岸沙丘的形態和分布進行跨年度的研究調查。 B.O.Bauer(1991) 分析設在不同地點的捕沙器所得之沙粒粒徑，發現較粗沙粒的搬運通常限於前丘 (foredune) 的前面一帶，而較細沙粒則能被攜帶至沙丘後坡，他認爲此現象與風的流動能力有密切的相關。

近年來，海岸沙丘的研究範圍也漸漸延伸至對沙丘地的利用、經營與規劃方面。如 H.J.Walker 和 J.Mossa(1986) 在研究日本海岸的人爲改變中，曾提及在沙丘地區開闢港口及工業區的利用情形。 K.F.Nordstorm 和 E.L.Lotstein(1989) 綜合各學者的見解，視海岸沙丘爲一動態體系，須依其不同特性而做不同的規劃與利用。 K.Pye(1990) 、 H.J.Verhagen (1990) 和 Andr'e Guilcher(1991) 等亦提出有關海岸沙丘經營和保護的各項方法與策略，期能在因地制宜下發揮其永續之利用。

2. 日本學者的研究

鄰近的日本對於海岸沙丘的研究亦不遺餘力，營力方面的探討如河村龍馬 (1951) 、土

屋義人(1970)、中島勇喜(1979) 等學者，均對風速分布特性及沙粒移動臨界條件等飛沙機制作過研究，並推導出若干經驗公式。而在沙丘的形態及其土地利用等方面，則如川崎敏(1942)曾敘述日本鳥取縣海岸沙丘開拓的過程。田邊健一(1946)利用1/50000與1/25000的地形圖爲參考，將日本海岸沙丘的形態分成二大項十一類，且針對其土地利用的情形加以調查。大西正己等(1960) 研究日本山陰一帶海岸沙丘生成的各項因素、遠勝邦彥(1969) 依沙丘中的花粉、腐植質加以定年，將日本沖積世的新舊沙丘予以分期，並推測古氣候與古濱線的變化。其後成瀨敏郎(1972)、井關弘太郎(1975)則由沙粒形態探知風成沙丘的特性，提出沙丘形成期的分類指標。此外，多田文男(1975)、角田清美(1975)、長谷正川(1975)、倉林三郎(1975) 、豐島吉則(1975)等，對日本海岸沙丘的成因、分布與特性亦均有論述[1)]。立石友男(1989)則將日本海岸沙丘不同時期的各種土地利用加以調查，並編寫成專書。近期的田井和彥(1979)與成瀨敏郎(1989)則有全國性補遺和歸納的綜合研究。

3. 台灣海岸沙丘的研究

台灣本島地勢陡峻、雨量豐沛、輸沙顯著，加上颱風、季風與海陸風盛行，故海岸沙丘甚爲發達。然有關台灣海岸沙丘專論的研究並不多見，日據時期圧司久孝(1937)對桃園草漯沙丘作過詳實觀察，並指出風向、降雨、植被和防風定沙等因素對沙丘形態的影響；玉井虎太郎、安倍光彌(1943)則調查淡水、草漯一帶的沙丘，認爲沙丘之含水量、含鹽度及其pH值等特性，對其植物群落的發展有密切的相關。

台灣光復以後，相關單位曾積極從事防風定沙與沙丘旱地的開發研究，多位學者均以飛沙作爲研究對象，如盛志澄(1961)、甘偉航(1962)、江永哲(1974、1977)均曾研究防風林對防治飛沙的功效。江永哲、張文詔(1978)、林信輝、江永哲(1979)利用風洞試驗，指出台灣西部的飛沙量較Bagnold或河村氏的公式計算值爲小，但與Havikawa之試驗相似，並認爲當沙體含水率達2.1%以上時，則飛沙量甚少，亦即風蝕極難發生。而游繁結(1986、1988)以實地測試的方法，認爲Bagnold等學者以掃流力理論所建立的飛沙量公式，無法適用於本省西海岸各區之飛沙推估，而另用摩擦速度、沙粒粒徑、沙粒含水率及沙粒密度等四因子以圖相關解析，推估西部的飛沙量約爲$13m^3/m \cdot year$。

另外張劭曾(1962)、康乃恭(1962)、張石角(1973)、孫宕越(1986)、張長義(1992)等，均在其論文中略提及台灣沙丘的分布情形。陳培源(1951)曾對桃園海岸沙丘一帶的鑽探資料加以分析，發現新期海濱堆積層的底部，常有一層厚數十公分的珊瑚層，再下即爲黃褐色沙質黏土與礫石層，局部沙層則含有鐵質結核。林朝棨(1957)在台灣地形一書中，綜合日據時期的研究，具體地指出台灣海岸沙丘分布的位置與規模。石再添(1970-1981)曾對台灣島四周海岸地形進行計量研究，在其對嘉南洲潟海岸沙丘沙所做的粒度分析中，發現其粒徑中數略較濱線爲小，此因沙丘位居後濱，風營力由濱線向陸地搬運減弱，故粒徑向陸地逐漸減小。

1) 有關這些研究論文均刊載於「日本第四紀研究」，日本海岸沙丘特集號，第十四卷第四期，1975。

而以海岸沙丘爲專論者，則有柳榗 (1975) 在「台灣西海岸沙丘生態之研究」中，對於沙丘的形成和演變比較有系統的介紹。文中指出安平以南的沙丘較安定，安平以北因冬季爲離岸風，沙丘不發達，但自台西海岸以北，飛沙極爲嚴重，濁水溪至崎頂一帶則趨安定，而新竹、桃園至淡水河口之海岸潮差較大，冬季季風較強，沙丘漸往南移，並對內陸造成嚴重的沙害。台灣省水利局 (1981) 針對全省沙丘地進行面積調查與灌溉實驗，據其統計，台灣海岸地區面積的沙性土壤面積約四萬公頃，其中具有起伏地貌及飛沙災害現象者約三千公頃。最近，鄭瑞壬 (1991) 依據沙丘形態將桃園沙丘分成台狀丘等九種類型。連偵欽 (1992) 、張政亮 (1992) 、石再添 (1992 、 1993) 則針對台灣北部與西部海岸多處海岸沙丘，進行生成環境、分布形態、粒度與土地利用等多項調查與分析。

㈡研究區概況

繼第一、二年台灣北端與西部海岸沙丘之研究，本文爲「臺灣海岸沙丘之地形學研究」第三年度報告，範圍起至屏東楓港溪口，經南端海岸、花東海岸，迄於和平溪口 (圖 1) 。

本研究以海濱的現生沙丘爲主要探討對象，全區劃分爲南端海岸和東部海岸兩部分。南端海岸爲環繞臺灣南端之恆春半島海岸，西起楓港，東至太麻里，海岸線長約 120 餘公里，爲一典型的珊瑚礁海岸，沙丘多發育在河口平原及珊瑚礁濱台上，以海口、風吹沙、港口和九棚較具規模，而白沙、旭海、安朔等地亦多有零星的沙丘散佈。東部海岸北起花蓮，南至台東，海岸因斷層作用，陡直岩壁緊臨海岸，故海蝕強烈，海蝕凹壁、海蝕洞、海階等地形顯著，海灘則以礫灘較爲常見，沙丘多分布在河口附近，以花蓮的北埔、美崙及台東的知本一帶較爲發達；另外如和平、長濱、白守蓮、小馬及都歷等，也有小規模的沙丘發育。

㈣研究目的與方法

1. 研究目的

⑴研究沙丘的生成環境，包括附近的地形、盛行風向及風力、供沙來源等，以了解其對海岸沙丘形成的影響。

⑵探討沙丘的分布、形態、粒度、土壤、植被等多項特性，以做爲日後研究和利用的參考。

2. 研究方法

⑴室內工作：除蒐集相關文獻閱讀外，另以立體鏡判讀民國 68 年、 79 年的 1/20000 航空照片圖，描繪沙丘分布的範圍，調閱民國 79 年之 1/25000 地形圖與民國 73 年 1/5000 像片基本圖，作轉繪、計測等工作，並對野外採集之樣本進行粒徑、土壤肥力、礦物成分與定年等分析。

⑵野外調查：實察研究區各地沙丘分布的情形，測量各地沙丘的高度、寬度、坡度等起伏特性，記錄不同季節的風向與風力，觀察植被的種類，並擇取沙樣及定年物質攜回研究。

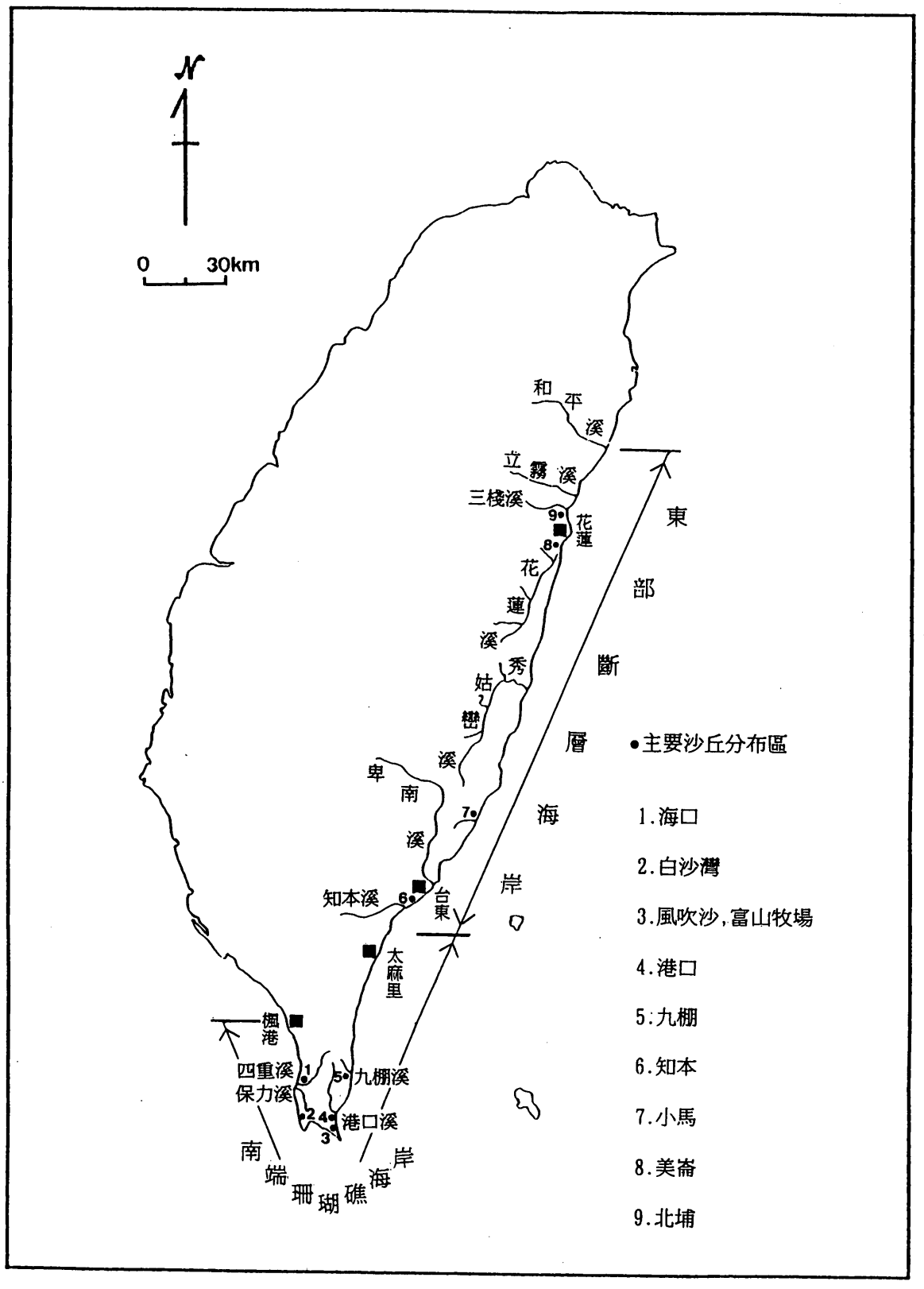


圖1　南端及東部海岸沙丘分布區圖

二、沙丘形成之環境要素

海岸沙丘的形成，有下列四項基本要素：1. 充分的沙源供給。2. 足夠的攜沙營力。3. 安定的緩坡濱面。4. 合適的堆積空間。此外，植被、潮汐、風向、沿岸流、降水量以及人爲作用，也同樣有著一定程度的影響。

圖 2 是海岸沙丘形成的示意圖，據此針對本區海岸沙丘的生成環境及其營力，探討如後：

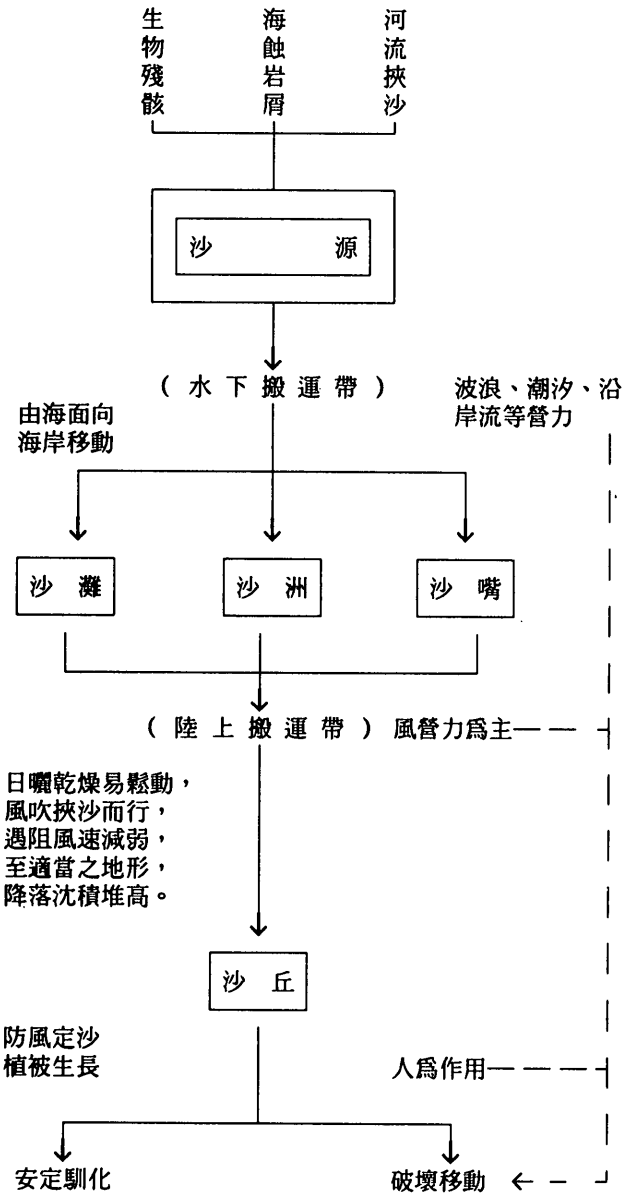


圖 2　海岸沙丘形成示意圖

1. 沙源

表1爲南端與東部主要河川如四重溪、保力溪、港口溪、九棚溪、知本溪、卑南溪、馬武窟溪、秀姑巒溪、花蓮溪、三棧溪、立霧溪及和平溪等之特性表，由表中可看出南端恆春半島爲近代隆起之珊瑚礁台地，鄰近丘陵低矮，故河川多十分短小，如保力溪、港口溪、九棚溪等，供沙有限，因此其海濱可視爲是一個十分安定的獨立海岸，這種生態環境利於珊瑚與貝類的生長，Boggs et al.(1974) 曾指出本區海域大約 68% 爲生物遺骸所組成之殘留 (relict) 沈積物。故構成本區沙丘沙之沙源除河流輸沙外，波浪所淘蝕的珊瑚、貝類等屑碎（即所謂的貝殼沙）亦提供大量的堆積物來源。

東部河川雖然輸沙顯著，例如卑南溪、秀姑巒溪、花蓮溪等大河，年輸沙量均在 1500 萬公噸以上，但因東部海岸山脈逼臨海岸，又受斷層影響，使海崖峻峭，海底陡深，不但無積沙空間，漂沙也不易向陸靠攏；再加上沿岸波浪較大，底流速度快，侵蝕力強，故沙丘的規模並非十分發達。

表1　台灣南端及東部主要河川特性表

河流		流域面積 (km²)	河流長度 (km)	平均河流比降	河流等級	歷年平均降雨量 (mm)	水系密度 (km/km²)	年輸沙量 10⁶MT	年輸沙量 MT/km²	平均剝蝕率 (cm/1000年)
南段	1.四重溪	130.02	22.8	1:59	5	2598.5	1.74	0.696	5353	226.3
	2.保力溪	105.10	12.3	1:28	4	2202.0	2.07	0.598	5690	215.3
	3.港口溪	104.07	17.9	1:62	5	2265.3	1.78	0.472	4535	175.8
	4.九棚溪	23.50	6.7	1:26	3	2265.3	1.81	0.106	4511	170.9
東段	5.知本溪	199.00	29.1	1:14	5	2615.1	1.14	2.875	14447	477.2
	6.卑南溪	1604.00	61.4	1:23	6	2606.3	0.45	17.250	10754	407.5
	7.馬武窟溪	149.60	15.1	1:26	6	1950.6	1.62	1.159	7747	293.5
	8.秀姑巒溪	1784.00	54.2	1:34	6	2552.1	1.48	15.870	8896	335.8
	9.花蓮溪	1558.00	57.9	1:25	6	2775.8	1.23	19.148	12714	481.3
	10.三棧溪	120.72	16.6	1:8	5	2339.6	1.14	0.949	7861	297.8
	11.立霧溪	619.08	36.1	1:17	6	2331.3	1.18	4.869	7865	297.9
	12.和平溪	569.78	35.4	1:14	6	3646.7	1.17	4.480	7863	290.5

※資料來源：根據黃朝恩(1980)及水資會(1991)的資料再經整理或推算

2. 陸上搬運系統

海底的沈積物受到波浪的擾動及潮汐、沿岸流等的輸送而向沿岸移動，形成所謂的沿岸漂沙 (littoral drift)，由於臺灣南端與東部各項海況的相關資料（如沿岸流、漂沙量…）欠缺，所以無法深究，在此暫不予討論。沿岸漂沙往海濱靠攏，形成堆積地形後，其搬運的動力便是以氣體動力流系統 (aercedynamic flow regime) 爲主。以下便針對陸上搬運的氣體動力流系統與沙丘形成的關係進行探討：

(1)風向與風速：風向會影響飛沙堆積的位置，而風速往往能左右飛沙堆積規模的大小。沙丘地位居海岸地帶，除有各該地域之特性外，並具海岸氣象的特性，故與陸地稍有差異。但本島南端與東部均無海岸氣象站的設置，僅能依中央氣象局鄰近本區沙丘地

所設立的恆春、大武、台東與花蓮測站之資料(表2，圖3)，由於上述測站均距海甚近，故實仍具參考性，另本研究並配合在北埔、知本、海口等海濱，進行冬夏數次二十四小時的風向、風速等實際觀測，其結果分析如下：

表2　台灣南端及東部各測站歷年之風速、風向統計表

(單位 m/s)

地點	風／月	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	觀測時間
恆春	平均風速	5.0	4.5	4.2	3.4	2.8	2.6	2.7	2.7	3.0	4.7	5.8	5.7	1887
	最大風速	19.8	19.8	20.0	19.2	26.8	28.2	27.7	39.8	36.0	28.3	33.5	24.2	｜
	最多風向	NE	NE	NE	ENE	E	E	E	NW	NE	NE	NE	NE	1990
大武	平均風速	3.8	3.6	3.3	2.9	2.5	2.4	2.4	2.4	2.8	4.1	4.6	4.5	1940
	最大風速	18.2	16.7	18.5	17.3	25.0	26.7	22.0	28.3	46.7	31.3	24.3	16.7	｜
	最多風向	NNE	NNE	NE	NNE	SW	NE	NNE	SSW	NE	SSW	NE	NE	1990
台東	平均風速	3.4	3.3	3.0	2.6	2.3	2.2	2.3	2.3	2.6	3.3	3.5	3.4	1901
	最大風速	18.5	18.3	15.5	16.7	40.0	43.0	30.9	42.5	32.7	32.4	21.2	20.0	｜
	最多風向	NNW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NNW	NNW	1990
花蓮	平均風速	2.9	2.8	2.7	2.5	2.1	2.1	2.3	2.1	2.3	2.7	2.9	3.0	1911
	最大風速	16.7	19.0	18.5	16.7	15.8	22.8	38.8	45.0	44.3	17.7	36.0	20.0	｜
	最多風向	NNE	NE	NNE	NNE	NE	NNE	N	NNE	NNE	NE	ENE	NE	1990
鹿野	平均風速	1.1	1.1	1.0	0.8	0.7	0.8	0.9	0.5	0.5	0.6	0.8	1.1	1961
	最大風速	12.3	11.8	12.4	12.8	12.2	12.5	17.4	15.1	16.0	14.6	14.3	12.9	｜ 1985

※資料來源：中央氣象局
註：鹿野爲內陸測站，在此提出以供參考

a. 冬季季風：每年十月至翌年三月，在此期間東北季風與東北信風輻合，故風力較爲強大。各測站全季風速平均約3～6m/s，最強風速常在12～14m/s左右，與本研究實測值相似。本區風速雖不若臺灣西部狂烈(西部各測站平均約5～9m/s，見沙丘研究第二年報告)，然已比內陸測站如鹿野0.6 ～1.5m/s均高出甚多。由風花圖(圖3)可看出臺灣冬季季風盛行時，研究區的恆春、大武和花蓮等地的主要風向，多集中在NNE～NE，而台東站最多風向爲NNW～NW，其次才爲NE，但以NE的風速最強，此乃因台東平原位於縱谷南端口，冬季季風由花東縱谷吹入時，會由原先的NNE～SSW 走向，在近南端口轉爲NW～SE走向出海，故台東多西北風，但風速卻因摩擦係數增大而減緩。南端的風速比東部大，例如恆春地區冬半年的平均風速甚強，可達4.2～5.8m/s，瞬間風速常爲20m/s以上。而本研究在冬季於海口、白沙等地，數次實地觀測值也常測得高達17m/s以上的風速，已有輕度颱風的威力，顯見其風力之強勁，這是因爲東北季風越過中央山脈後，受山谷地效應而增強之故；又由於這個季節風常沿山坡掠下，所以當地居民稱其爲落山風，這些持續的風力和風向便是造成飛沙移動與沙丘侵積最主要的營力。

b. 夏季季風：三月以後，東北季風漸止，四、五月份便開始進入西南季風期。一般

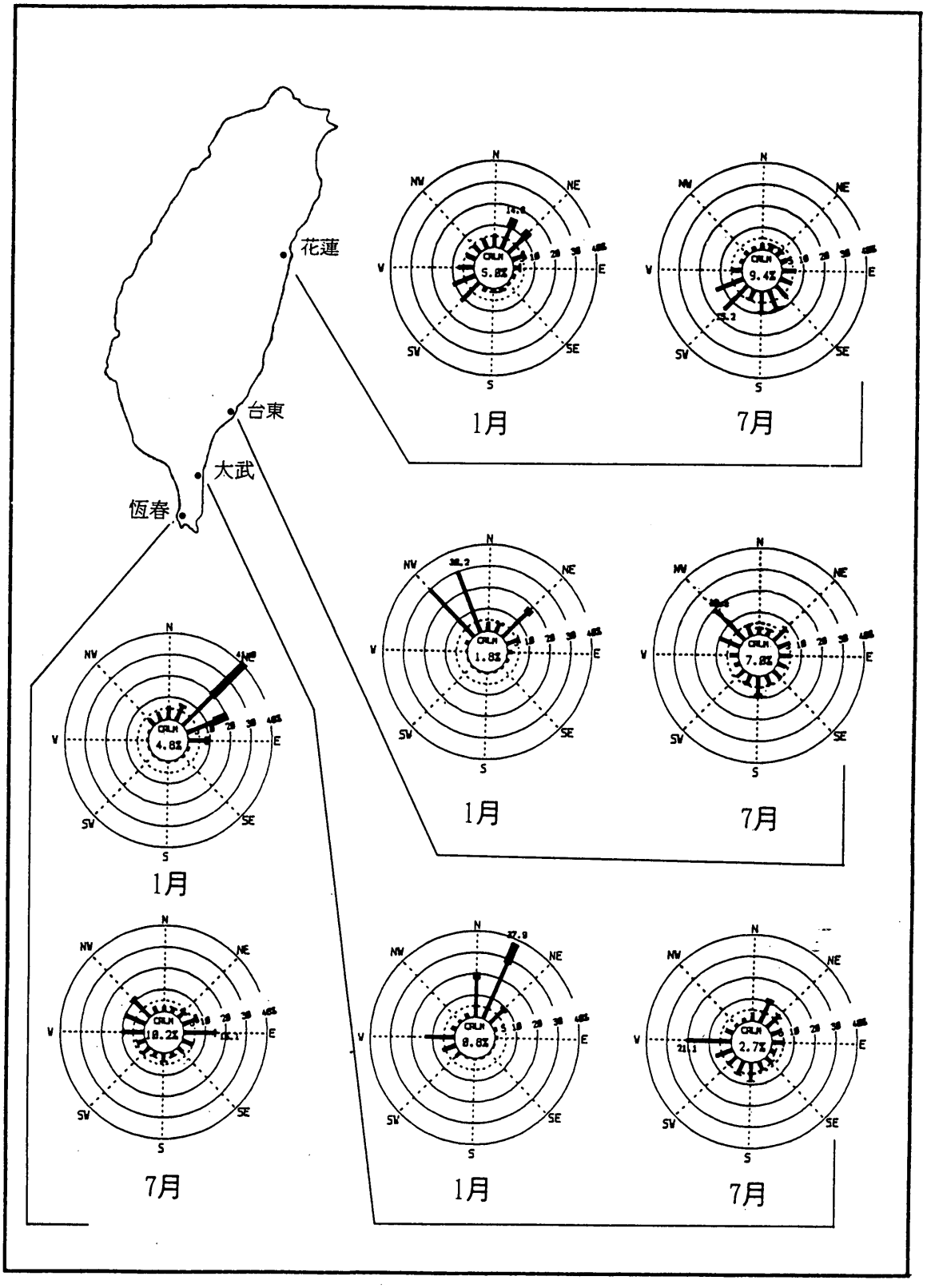


圖3　台灣南端與東部海岸各測站之風花圖(1981-1990)

而言，夏季季風遠不如冬季季風強勁，各地差異也較小，約在2～4m/s，而各月最大的風速則多爲颱風時，風向亦呈分散的現象。在西南季風期間，研究區較多陰雨，適度的水分不但使飛沙難以發生，同時有利於植被生長，進而造成沙丘的穩定，但此時狂烈的颱風卻是破壞沙丘、造成海岸侵蝕的重要原動力。

c. 海陸風：海陸風乃因海陸晝夜溫度差異所形成的局部環流，雖僅限於部分地區，然對海岸沙丘也可產生相當效應。大體而言，海風盛行於夏秋兩季，因午間日照強烈，對流旺盛所致，如本研究夏季觀測最大風速常在中午時發生，此種現象利於沙粒在海灘地帶堆積，進而形成沙丘。

(2)風速與沙粒運動：沙粒受氣流作用而發生運動，其移動形態有沈積物沿地面轉動、滑動或滾動的掃動搬運 (traction transport)；沿著地面進行一連串小躍進的跳躍搬運 (saltation transport)；以及沈積物在風速或渦流之強度大於沈降速度時，脫離了地面而隨著氣流漂移前進的懸浮漂移 (suspension transport)。一般而言，大多數的吹沙 (blowing sand) 均是以掃動或跳躍的方式向前挪移。

圖4爲起動風速與飛沙顆粒大小之間的關係，其他學者如 Bonglod (1941)、國分 (1963) 等的實驗 (圖4)，均有類似的結果，本沙丘第二年研究亦曾在臺灣西部的崎頂置放捕沙器，進行飛沙觀測，結果顯示風速約在3m/s時，便可發現開始有較明顯的飛沙移動，而後隨著風速轉強至6～7m/s，飛沙量便急遽地增加，經迴歸分析，有著 $V=10^{0.06} \times Q^{0.26}$ 的正相關，另游繁結 (1988) 在濁水溪口的實驗中，指出臺灣西部的飛沙量約爲 $13m^3/m \cdot year$。

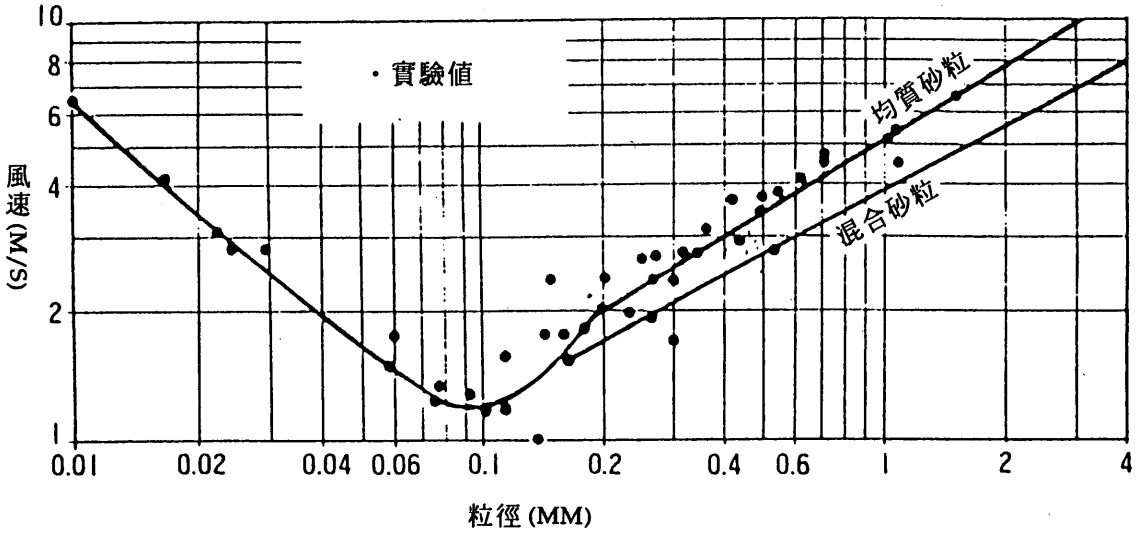


圖4　粒徑與風速變化之關係圖

※資料來源：岩垣雄一・椹木亨 (1979)，海岸工學，p.335。

(3)降水量與蒸發量：海岸地帶因沙性土壤保水力差，如蒸發強時，地面易形成乾燥層，利於被風攜帶與堆積。然降水量增加，即沙粒與水體間的結合增強，使沙粒不易移動，飛沙量減少。林信輝、江永哲(1979)即指出當沙體含水率達2.1%以上時，則飛沙量甚小，亦即風蝕極難發生。

此外，適當的降水量具有灌溉沙丘土壤的效果，有助於植被生長，而使沙丘安定。表3爲本研究區歷年降水量與蒸發量情形，一般而言，降水集中夏半年，降雨量都大於蒸發量，但冬半年除花蓮以外，其餘各站蒸發量皆大於降水量，例如台東10～3月降水量與蒸發量分別爲446.3㎜與738.8 ㎜，大武爲533.1㎜與873.3㎜，而恆春降水量僅有275.9㎜，蒸發量卻達964.3㎜，約爲降水量的3.5倍，其較差雖比臺灣西部小，然此時東北季風強勁，不但使植被不易生長，亦使飛沙危害激烈，沙丘移動迅速，故沙丘的生成除風速以外，降水量、蒸發量亦扮演著重要角色。唯若暴雨驟來，往往會使膠結不佳的沙丘產生崩塌與破壞，影響沙丘的發育。

表3　台灣南端及東部各測站歷年降水量與蒸發量比較表

（單位：㎜）

地點	項目／月	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	合計
恆春	雨量	22.1	25.8	23.3	47.1	172.9	388.5	477.5	518.8	310.0	132.7	53.3	18.7	2190.7
	蒸發量	145.0	143.8	180.6	189.1	192.0	154.4	159.5	146.5	150.4	179.1	165.0	150.8	1956.2
	較差	-122.9	-118.0	-157.3	-142.0	-19.1	234.1	318.0	372.3	159.6	-46.4	-111.7	-132.1	234.5
大武	雨量	52.3	55.9	56.5	96.9	198.0	406.4	406.4	414.3	393.6	204.1	109.7	54.5	2469.2
	蒸發量	129.6	122.5	149.0	164.6	185.4	180.4	206.5	192.7	169.4	177.8	154.2	140.1	1972.3
	較差	-77.3	-66.6	-92.5	-67.7	12.6	226.0	220.4	221.6	224.2	26.3	-44.5	-85.6	496.9
台東	雨量	40.8	42.7	55.5	79.8	163.2	240.8	305.1	293.6	309.7	179.6	85.4	42.2	1838.5
	蒸發量	111.9	107.1	125.6	139.1	154.4	173.9	188.5	173.7	155.2	151.2	128.2	115.0	1712.6
	較差	-71.1	-64.4	-70.1	-58.3	8.8	76.9	116.6	119.9	154.5	28.4	-42.8	-72.8	125.9
花蓮	雨量	69.5	90.2	102.8	114.6	199.0	213.6	224.2	236.6	344.2	274.6	149.1	71.6	2090.2
	蒸發量	78.1	75.2	94.0	109.5	128.6	145.3	192.3	177.9	152.4	128.9	97.4	84.9	1464.5
	較差	-8.6	15.0	8.8	5.1	70.4	68.3	31.9	58.7	191.8	145.7	51.7	-13.3	625.7

※資料來源：中央氣象局

綜括上述研究得知，海岸沙丘的生成以沙源、海陸營力（尤以風營力最重要）及地形爲較具影響力的要素。本島南端與東部沙丘發育的規模不及北端及西部，其原因乃在：

1. 南端海岸：(1)鄰近丘陵低矮、河川短小、供沙有限。(2)本區爲隆起珊瑚礁岩岸地形，積沙空間有限。
2. 東部海岸：(1)海岸山脈逼臨海岸，河床陡峻，多礫灘地形，積沙不易。(2)屬斷層海岸，海崖陡深，不但無積沙空間，漂沙也不易向陸靠攏。(3)沿岸波浪較大，底流速度快，侵蝕力強。

另外，與西部海岸相較，上述地區之冬季盛行風速較弱，雨量與蒸發散量之差亦較

小，均是造成沙丘較不發達的因素。

三、沙丘分布與形態

本研究以現今保存尚較完整之沙丘分布區爲主要研究對象；形態方面的探討，則參考各學者之研究（表 4），配合台灣南端與東部海岸沙丘之現況，以 R.Dolan(1972) 之分類爲準繩。據此，對本研究區沙丘的分布和形態分述如下：

表 4　海岸沙丘分類一覽表

分類學者	田邊鍵一(1946)	W.S.Cooper(1958)	R.Dolan(1972)	C.G.Groat(1989)	・成瀨每郎(1989)	・鄭瑞壬(1991)
海岸沙丘分類	A.與海岸平行之沙丘 a.濱堤狀沙丘 b.山脈狀沙丘 c.橫沙丘 B.與海岸垂直之沙丘 d.新月沙丘 f.m.n.沙丘 e.結節沙丘 g.鄉齒沙丘 h.匍上沙丘 i.台地狀沙丘 j.縱沙丘 k.曲線沙丘	A.原生沙丘 (primary dunes) a.自由沙丘 (free dunes) a1.transverse ridges a2.barchans a3.oblique ridges a4.percipitation ridges b.阻礙沙丘 (impeded dunes) b1.frontal dunes b2.dune platforms B.次生沙丘 (secondary dunes) C.侵入沙丘 (transgressive dunes) c1.blow out dunes c2.longitudinal dunes c3.parabolic dunes D.殘存沙丘 (remnant dunes)	A.濱灘帶 (beach) B.活動沙丘帶 (active dunes) C.安定沙丘帶 (stabilized dunes)	A.裸沙地 (bare) B.前鋒丘 (pioneer dunes) C.緣丘 (edge dunes) D.環丘 (rim dunes) E.沙丘脊線 (continuous ridge) F.台狀丘 (terrace)	A.原生沙丘 (primary dunes) a.濱堤沙丘 (barrier dunes) b.橫沙丘 (transverse dunes) c.新月沙丘 (barchans) d.小沙丘 (mound dunes) B.次生沙丘 (secondary dunes) e.縱沙丘 (longitudinal dunes) f.拋物線沙丘 (parabolic dunes) g.斜行沙丘 (obligue dunes) h.圓頂沙丘 (dome dunes) i.吹上沙丘 (climbing dunes)	A.假性沙丘 B.錐狀丘 C.丘狀丘 D.球狀丘 E.條狀丘 F.鄉齒狀丘 G.並列丘 H.複合丘 I.重疊丘
分類依據	依形態	依形成原因	依距海遠近與植被情形	依形態	依形成原因	依形態

※資料來源：張政亮(1992)

㈠南端海岸（圖 5）：

位居於台灣南端的恆春半島，以低山及丘陵台地爲主體，河流密布而短促，向兩側成放射狀，每於河口形成小型平原，海岸則介於東部斷層海岸與西部隆起海岸之間，是典型的珊瑚礁海岸。隆起的珊瑚礁與沙灘相間，景色優美而富變化。沙丘分布不少，主要者有：

1. 海口沙丘區（圖 6）：北自海口港、車城，南至射寮港一帶的沿海，亦即恆春縱谷平原北端。北段海口一帶海岸底質爲珊瑚礁臺 (reef flat)，使海岸線呈弧狀向西南突出延展，南段則爲四重溪、保力溪兩河流所沖積的河口平原。本區沙丘普遍廣泛發育，涵蓋面積可達四平方公里以上。其中以北段最具規模（圖 7），原因爲地形向西突出的特徵，秋冬寡雨時期，盛行的強烈東北季風幾與海岸直交，形成所謂的向岸風，而鄰近海岸所淘蝕的珊瑚、貝殼碎屑與北方楓港溪等河流的漂沙，又順風向與地勢往本區海岸移進，在地形、氣候與地質條件的配合下，使該地沙丘異常發達，此區沙丘形態大致與海岸平行，呈東北一西南的長條狀排列。安定沙丘帶位於後濱最靠內陸地區，爲較早形成的沙丘已

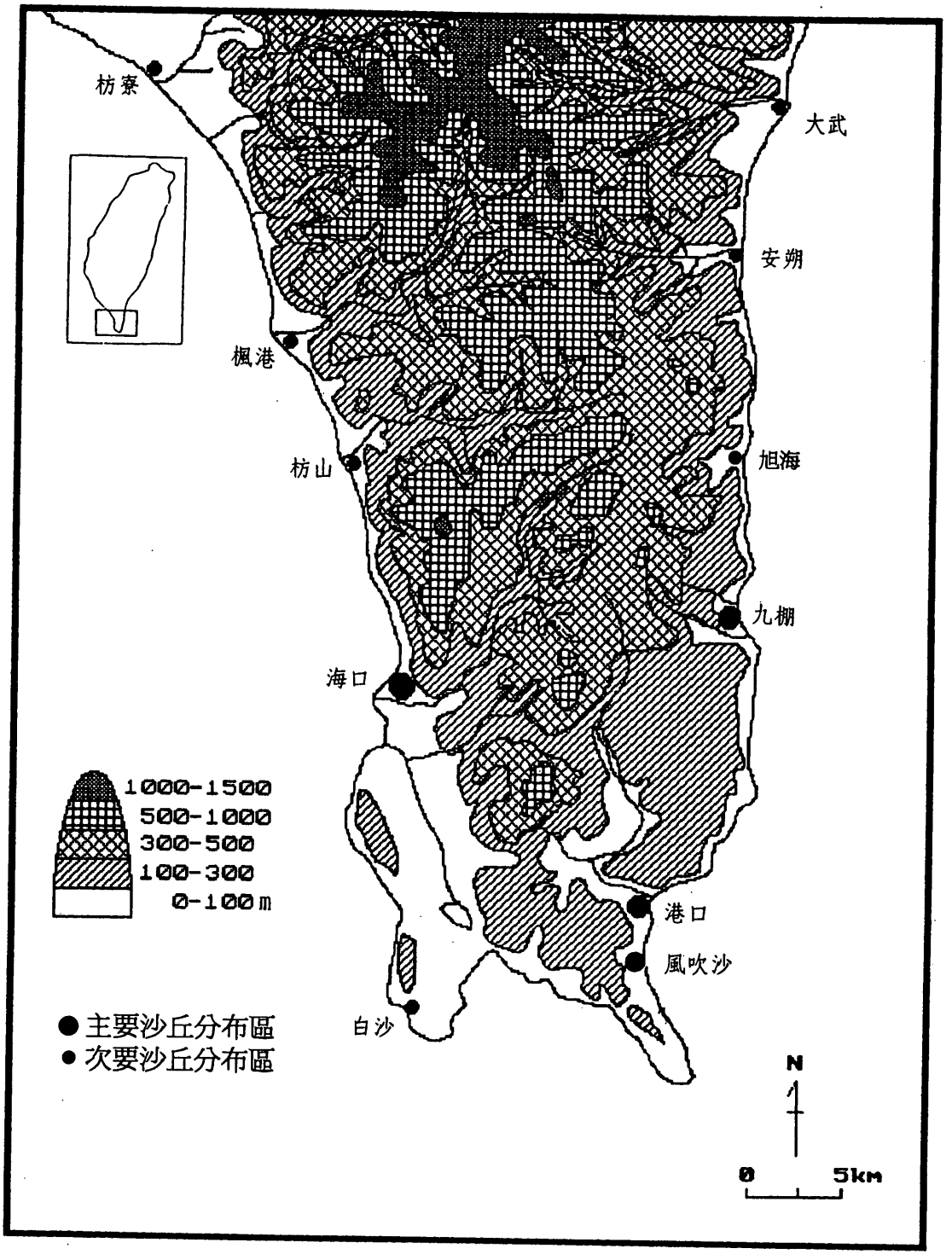


圖5　南端海岸沙丘分布區圖

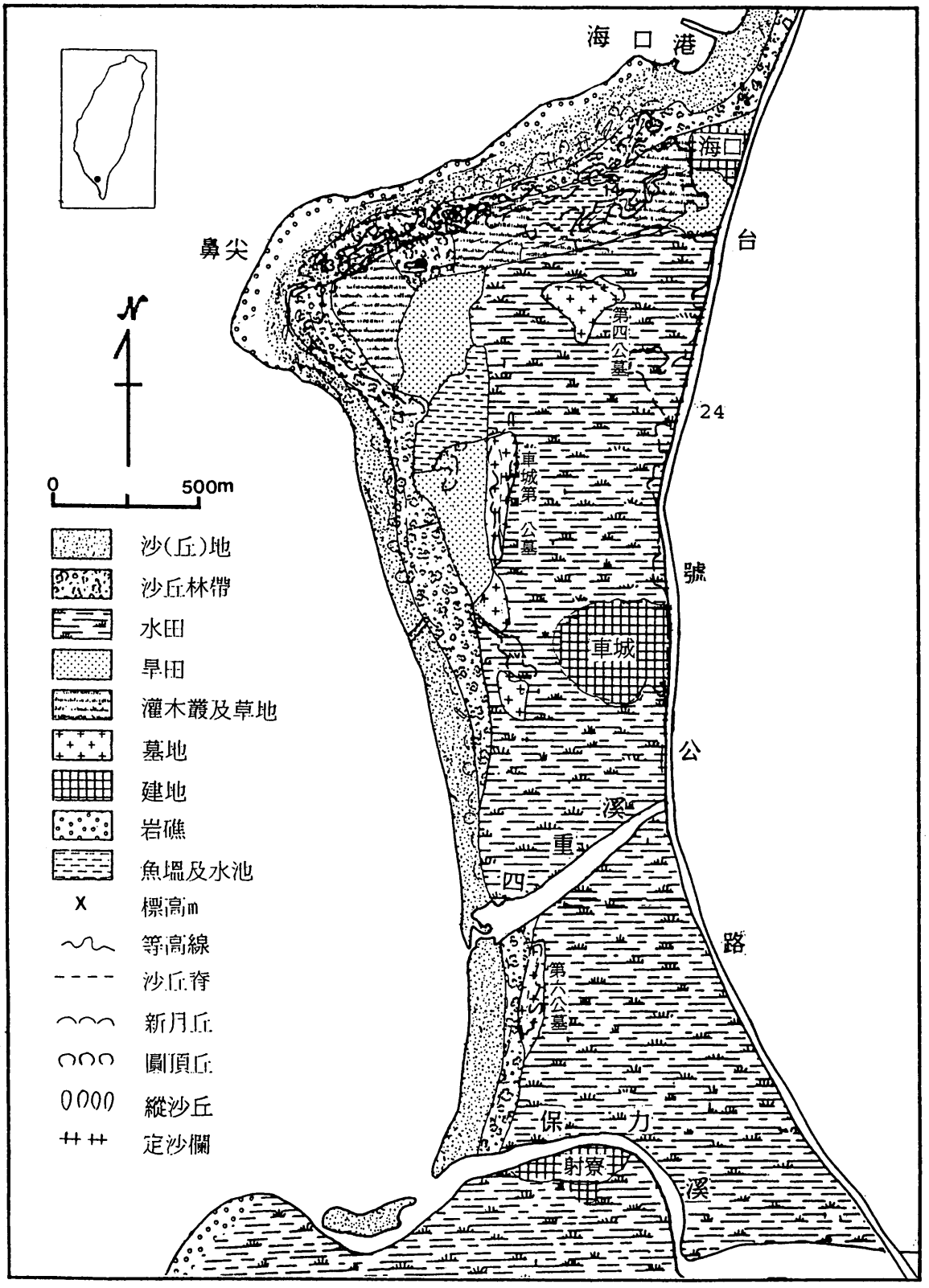

海口港
海口
台
24
號
公
路
鼻尖
第四公墓
車城第公墓
車城
重溪
四
第六公墓
保力
射寮
溪
N
0
500m
沙(丘)地
沙丘林帶
水田
旱田
灌木叢及草地
墓地
建地
岩礁
魚塭及水池
標高m
等高線
沙丘脊
新月丘
圓頂丘
縱沙丘
定沙欄

圖6　海口沙丘分布圖

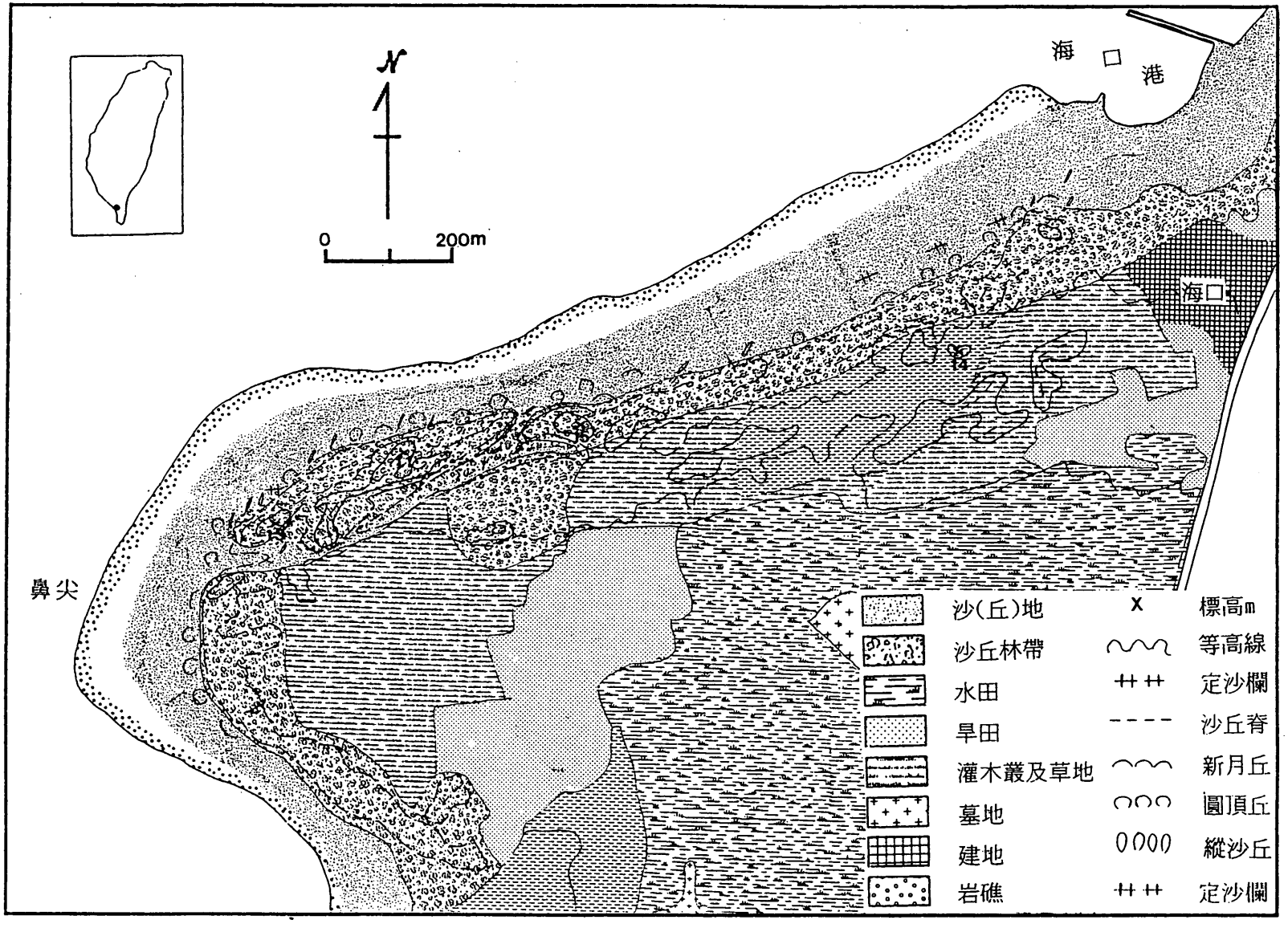


圖7　海口北段沙丘分布圖

趨穩定，其上爲植被覆蓋，呈灌木—喬木林之植生群落分布，寬 100 ～ 400m 不等，此沙丘林帶，可看出 1-2 道沙丘脊並列，形狀呈東北—西南的長條狀，亦有呈新月狀與不規則狀者，平均高度約十餘公尺，其上遍植木麻黃、瓊麻與林投等防風林，沙丘林帶後方悉遭開發，丘體多所破壞，利用類型以旱田爲主，更內陸側地區則在加強灌溉和土壤改良下，已有水稻田的分布，散布在其間的風蝕窪地與後背溼地 (back marsh) 則闢爲魚塭，並一度有擴增的趨勢，現則多所荒廢，近期興建的車城第四公墓仍可見殘留的沙丘形態。

安定沙丘前爲活動沙丘帶，沙源來自濱灘，在盛行風的吹拂下（尤其冬季），大規模地移動並侵入 (transgressive) ，在安定沙丘帶的前端堆積，形成活動沙丘（照片 1 ）。狂烈的飛沙走石，經常掩覆大規模地區，故有「海口大沙漠」之稱。活動沙丘帶常見由數個聳起約 4 ～ 5 公尺高的圓頂丘連結，形成長牆狀的沙丘脊 (long walled ridge) （照片 2 ）。丘頂和迎風側常有一些原生 (pioneer) 植被的障遮，而形成所謂的遮蔽丘 (shadow dune) 、圓矮丘 (coppice dune) 和灌叢帶 (bushpockets) 等小地形。末端鼻尖一帶沙丘規模最爲發達，沙層厚度可達 15 公尺，盛行季風所挾的飛沙常沿其內陸側的風蝕缺口越入沙丘林帶，形成侵積 (encroament) ，產生流動的沙河，條條沙漣隨風婆娑，並依冬夏季風而改變其方向，頗富其趣，現因植被廣種與魚塭闢建，此景觀漸遭破壞（照片 3 ）。

活動沙丘前的濱灘實乃堆積於寬平的礁台上，礁台平均寬約 130 公尺，低潮時被波浪所攜來的沙粒在此露出，日照蒸發後，易被強風吹帶，成爲後方沙丘供沙的來源，局部灘面表沙被吹蝕後，浮現礫層與礁台的景觀。

海口沙丘南段沙丘規模漸小，主要由四重溪與保力溪攜帶的沙粒堆積在河口先形成沙嘴，再經風力吹拂而促成沙丘，由於對本段海岸而言，冬季盛行的強烈東北季風乃屬離岸風，即由陸地吹向海面，沙粒多往海上飄移，故沙丘發育欠佳，高度多在 3 ～ 4 公尺左右，至保力溪口已成緩起伏狀，地貌並不明顯。安定沙丘林帶後方亦留有數個殘留丘體，皆爲公墓所在地，其餘均已闢爲水稻田、魚塭等利用形態（照片 4 ）。

2. 風吹沙沙丘區（圖 8) ：恆春半島南端之鵝鑾鼻半島東海岸大都爲陡立之珊瑚礁懸崖，崖壁逼近海岸，崖頂崩落之珊瑚礁岩常堆置在崖坡上，故本區原屬岩石海岸，但鵝鑾鼻北方約 6 公里處的風吹沙海岸，卻爲沙丘所覆蓋，沙體一直蔓延到海岸後之高約 60 公尺的崖壁上，成爲沙瀑 (sand fall)(照片 5) 。峭壁以上沿東北—西南向之山谷，沙丘更綿延堆積，盛行強風吹襲時沙石漫天，沙體挪移迅速，形成沙河的特景。此種特殊沙丘地形的產生，是河流作用與風的作用相互制衡的結果，東北季風期間，強烈的季風每每可達 10 ～ 17m/s ，這種風速可將沙粒沿陡崖逆向吹送上達崖頂的沙河內，夏天短時而強度大的降水聚入谷內，攜沙沿坡面又流向海岸；從谷道上殘留的陸生貝殼殘碎及層狀堆積物來看，其沙源無疑爲陸地之侵蝕爲主。

海崖下的沙丘多倚附於崖下，呈瀑布狀；崖頂上的沙丘呈南北兩支向山谷西南斜向延伸，成帶狀分布，寬度僅數十公尺，長度 500 ～ 700 公尺不等，北支的沙丘帶因公路與

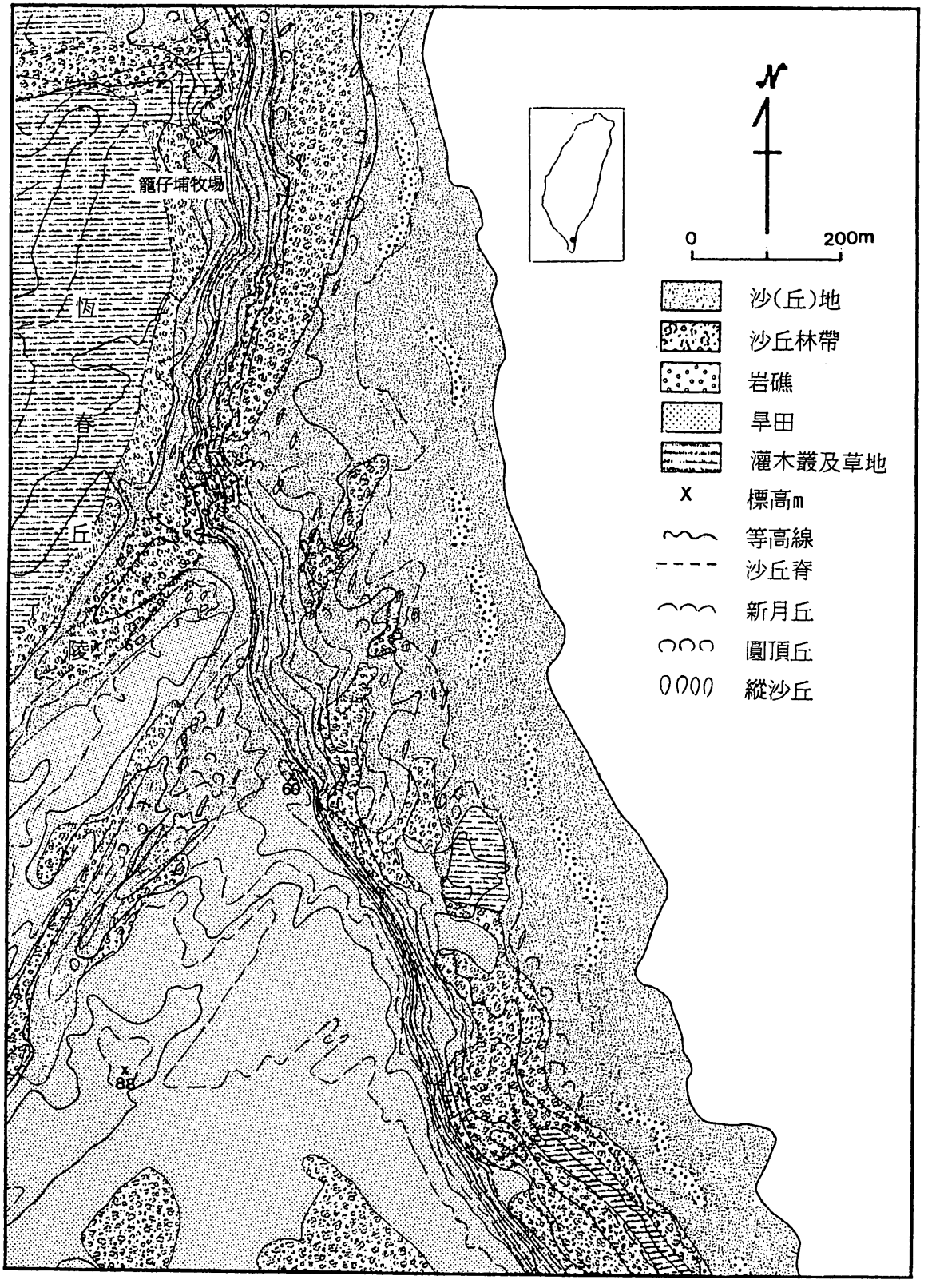

N
0
200m
沙(丘)地
沙丘林帶
岩礁
旱田
灌木叢及草地
X 標高m
等高線
沙丘脊
新月丘
圓頂丘
縱沙丘
籠仔埔牧場
恆
春
丘
陵
68
88

圖8　風吹沙沙丘分布圖

橋樑修築，阻擋飛沙越進山谷，復因林務局廣種防風林，沙體移動已不明顯，並趨安定，南支則仍保有原狀，其中央寸草不生，顯露出沙丘體圓滑的曲線，整體地形面呈傾斜的平台狀 (tabular) ，並依原地形面起伏，局部有強風吹蝕的風蝕窪地 (blowout) ，邊緣過度帶則有一些岩礁與前趨草本植物截阻飛沙，形成圓頂丘或台狀丘（照片 6 ），其旁便是林投灌木叢與村民所種植的瓊麻。

風吹沙一帶亦可見許多舊沙丘，例如南側二公里處的富山牧場爲一海階地形，其上有舊沙丘的分布，標高約 70 公尺，爲昔日濱台所堆積的沙丘，後因離水隆升，植被生長而漸趨安定，部分地區因拓墾不當，使沙體裸露，造成風蝕吹穿或再次堆積，形成所謂殘留丘體 (remnant knobs) （照片 7 ），其交錯層 (cross beding) 內石灰質沙粒被淋溶後，有再結膠成粗顆粒的現象。

3. 港口沙丘區（圖 9) ：風吹沙往北約 4 公里的港口溪一帶亦有規模不小的沙丘發育，溪口在冬季河川流量少與強勁東北季風吹送下，河岸沙嘴經常橫阻河道，使其成爲沒口溪，有時則留有狹窄的流路入海（照片 8 ），河流北岸因崖高坡陡，加上盛行東北季風將漂沙往西南吹送，故沙丘多發育在溪流南側，長約 1.5 公里，寬 200 ～ 300 公尺，高約 10 餘公尺，有典型的縱沙丘、新月丘與圓頂丘分布其間，且沙層渾厚，最高可達 30 餘公尺（照片 9 ），活動沙體常侵越後方安定的防風林帶與公路上，在背風側順盛行風向延伸爲小沙丘脊，形成條條並列的櫛齒丘 (climblike dune) 。活動沙丘帶前的濱灘寬廣，寬約 30 ～ 50 公尺，沙層常有礫石夾層，局部在表沙被吹蝕後，露出壘壘石塊。

4. 九棚沙丘區（圖 10) ：恆春半島東端出風鼻至南仁鼻間有一內凹海灣，稱之爲八瑤灣，此灣頭由港仔溪口向南延伸到九棚溪一帶，亦有較大規模的沙丘分布。本區地形呈漏斗狀，開口向外，生成環境與港口溪一帶的沙丘相似，均是由河流提供沙源，沙丘順沿盛行東北季風的方向發育，故形態亦頗爲相近。

沙丘分布的範圍長約 2.5 公里，寬在 200 ～ 1000 公尺之間，北窄而南寬，偏西北走向的海岸線與盛行東北風向直交，風速常達 10m/s 以上，飛沙劇烈，沙丘移動十分明顯（照片 10 ）。雖然活動沙丘前有多道定沙欄，仍難以截阻風沙移動，尤其在冬季，沙丘呈一列列順風向平行的條狀縱沙丘，有些迎風面形態較圓厚，背風側沙體漸減，而終趨殲滅，狀似鯨背，故稱之爲鯨背丘 (whaleback) （照片 11 ），有些沙丘高度可達 20 公尺，延長達 600 ～ 700 公尺以上，現今沙丘移動仍頻，局部沙丘往內部移進，已掩覆港仔溪南側支流，形成河道埋積的現象，顯見其活動之盛。

往南過九棚溪沙丘依然廣布，然因山麓逼近海灘，故飛沙覆蓋丘陵，直抵脊肩，高度可達百餘公尺，其實此沙丘形態受底部岩體之起伏支配，稱之爲假性沙丘 (pseudo dune) 。濱面礫灘漸增，礫石表面亦因受強風刮蝕，常呈多角狀，形成所謂的風蝕礫 (wind-facetted pebble)(照片 12) 。南端海岸除上述外，局部小河的河口平原與海灣內側，例如枋山、楓港、白沙、安朔、旭海、大武等地，亦有零星的沙丘散布，不過規模均非十分發達。

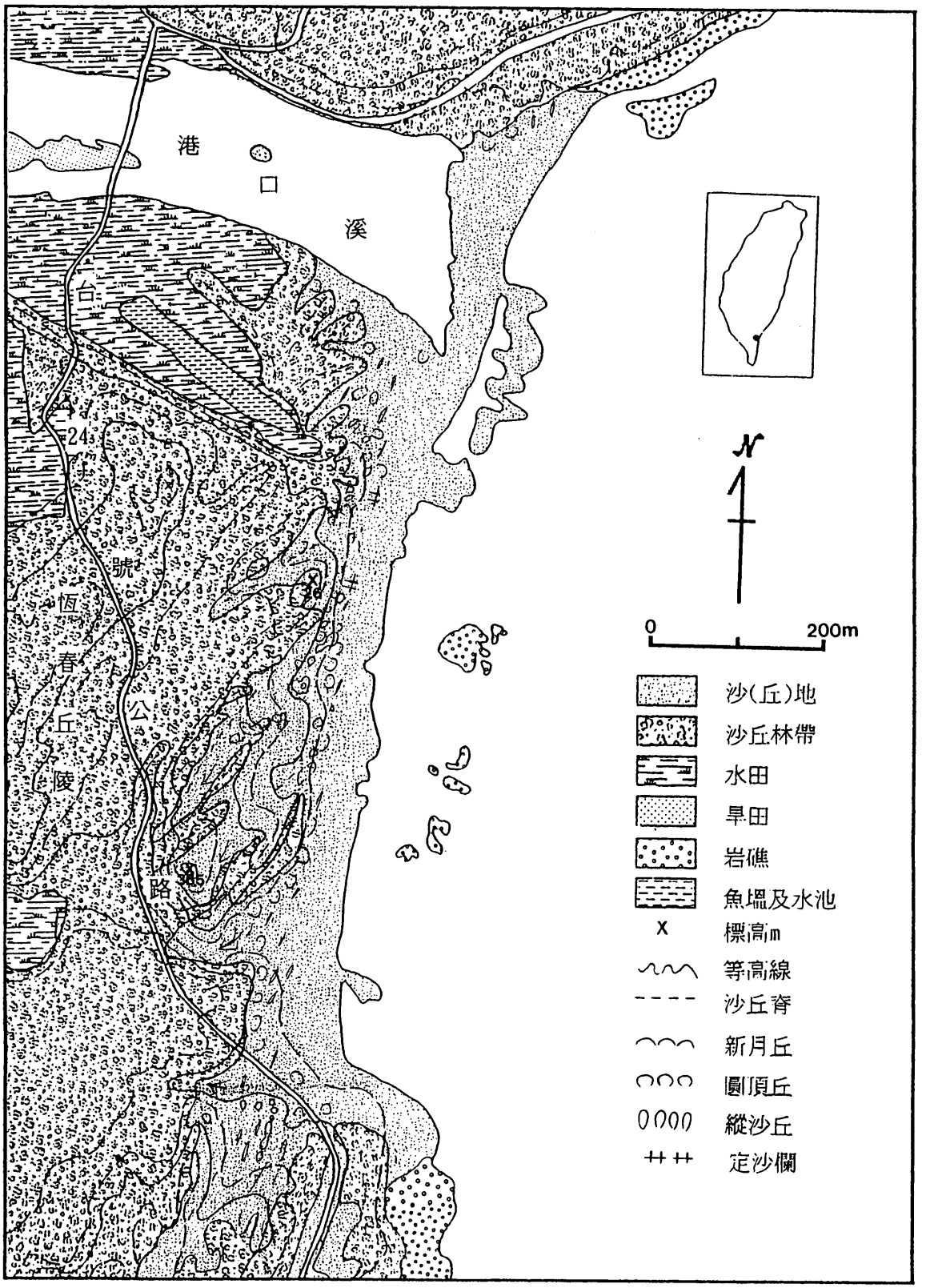

港
口
溪
台
24
號
恆
春
公
路
丘
陵
N
0
200m
沙(丘)地
沙丘林帶
水田
旱田
岩礁
魚塭及水池
X
標高m
等高線
沙丘脊
新月丘
圓頂丘
縱沙丘
定沙欄

圖9　港口沙丘分布圖

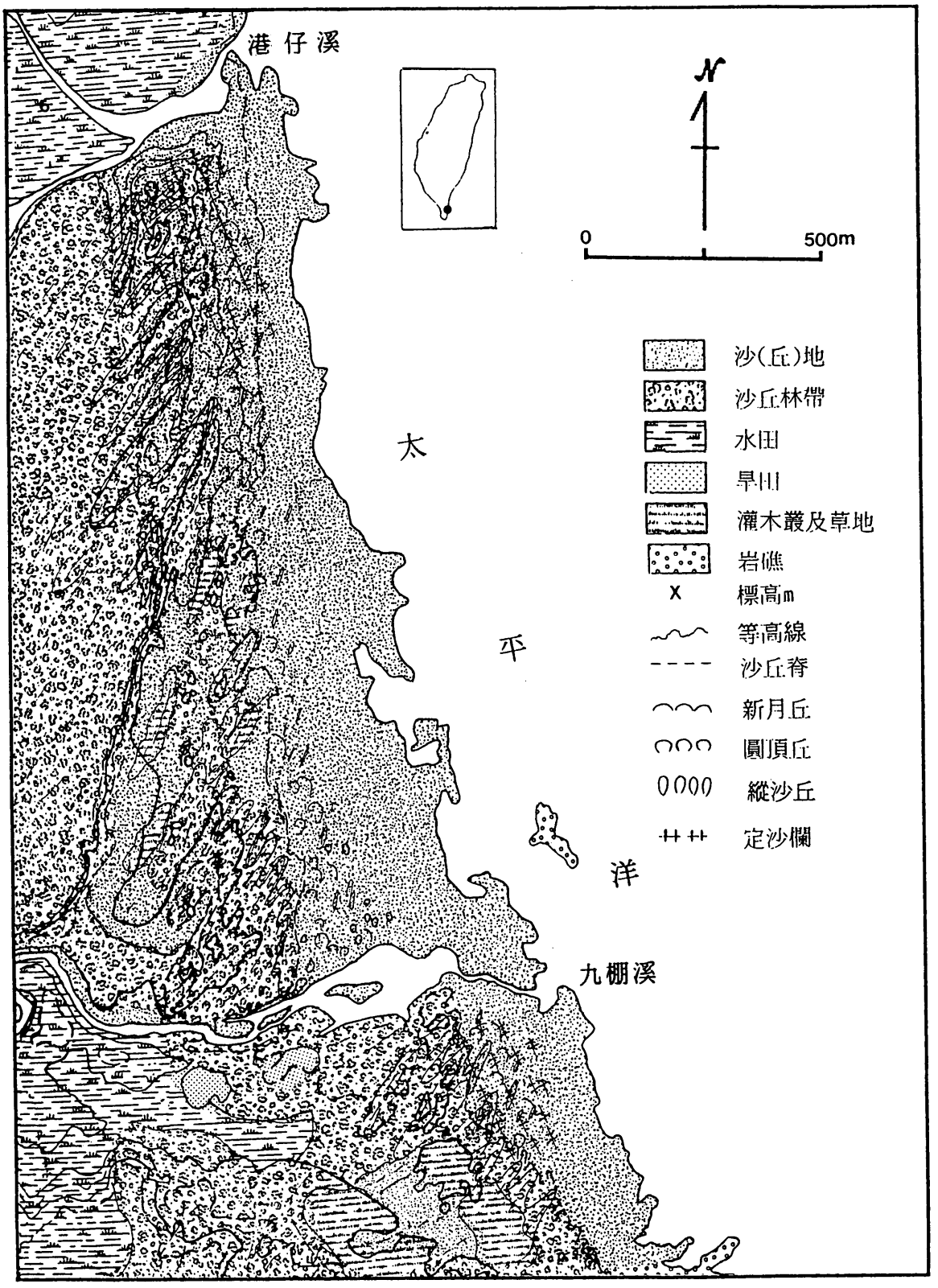

港仔溪
N
0
500m
沙(丘)地
沙丘林帶
水田
旱田
灌木叢及草地
岩礁
X 標高m
等高線
沙丘脊
新月丘
圓頂丘
縱沙丘
定沙欄
太
平
洋
九棚溪

圖10　九棚沙丘分布圖

㈡**東部海岸（圖 11）：**

東部從台東至花蓮的海岸地區，地形主體爲陡深的斷層海岸，全域冬季面對強烈的東北季風，夏季又常是颱風首當其衝的區域，海蝕作用劇烈，導致海岸線後退。從上一章節生成環境的要素可以得知，本區海岸沙丘的堆積條件不如西部海岸，規模也不如西部，主要沙丘分布如下：

1. 知本沙丘區（圖 12）：台東三角洲之外緣，在卑南溪與知本溪口間，即大南沖積扇扇端，有沙丘的發育，延展約 2-3 km，寬在 200 ～ 300 公尺間。本區海岸相對於盛行的東北風向而言，屬於離岸向，風沙原不易於向海濱堆積，再加上本區河流坡度陡急，河口及濱灘的堆積物顆粒均甚粗重，搬運不易。故沙丘帶之地貌並不明顯，僅爲平行海濱的帶狀緩起伏之丘阜，高度約在 3-4 公尺左右。丘前濱灘多礫石，丘後多植以木麻黃爲防風林，形態單調（照片 13）。

2. 北埔沙丘區（圖 13）：花蓮北方三棧溪至七星潭，地形上稱之爲加禮宛平原，沙丘分布南北延長可達 6 ～ 7 km，爲東部沙丘最發達者。本區沙丘依其生成時序可分新舊兩期，舊期沙丘分布於平原東側與海岸線平行，距離濱線約 300 ～ 450 公尺，其中以農場沙丘（即今新城公墓與機場一帶）最大（照片 14），長約 3 ～ 4 km，平均寬 200 公尺，高 15 公尺左右，農場沙丘之北原尚有兩個小沙丘，長 300 ～ 400m，寬約 150 m，高約 15m，現因機場開闢與耕地利用而多遭破壞，原有地貌多趨平緩。在今海岸西側則爲近期的新沙丘，亦多呈緩起伏狀，沙脊形態並不明顯，多已爲植被覆蓋。沿濱沙粒常經沿岸流搬運與波浪衝濺堆積而形成濱堤 (berm)，高度可達 1m 以上（照片 15）。花蓮吉安溪附近的南濱公園一帶，亦有沙丘的分布，丘體明顯，顆粒較細，高約 15m，長可達 1 km，近期由於海蝕劇烈，迎風坡面多遭刮蝕，坡度可達 50° ～ 60°，現又因沙石開採，使此區沙丘逐漸破壞消失（照片 16）。美崙砲台山一帶，乃爲 5 ～ 6 個舊沙丘所形成的崗阜，高度 25 ～ 35m，沙丘大致呈北北東一南南西向之延長，現爲高爾夫球場與美崙大飯店的所在。本研究在此地標高 36m 處，採取沙層中的珊瑚礁樣本，經台大貴儀中心定年爲 4250 ± 40B.P.Y. 足以顯現本區海岸有隆升的現象（每年約 0.8 mm），這些資料可進一步提供爲海岸變遷研究的參考。東部其他地區雖然尚有許多的沙丘地分布，如水璉、長濱、白守蓮、八仙洞、東河、金樽、都蘭、隆昌、小馬、都歷等，有些沙體則堆積於海階之上，形成年代亦遠，局部較高位之沙丘亦有紅化之現象，但規模有限，故本研究於予略去，待來日細究。

四、沙丘沙的組成與粒度

㈠**沙丘沙的組成**

沙丘沙的主要來源爲海岸淘蝕碎屑及河流攜帶下來的沙粒。由本區沙丘沙的組成、顏色、礦物成分和沙粒的形狀，可以反應海岸的地質屬性和河川上游集水區的地質環境。透過沙丘沙組成的分析，有助於對沙丘的特性作更深層的了解。

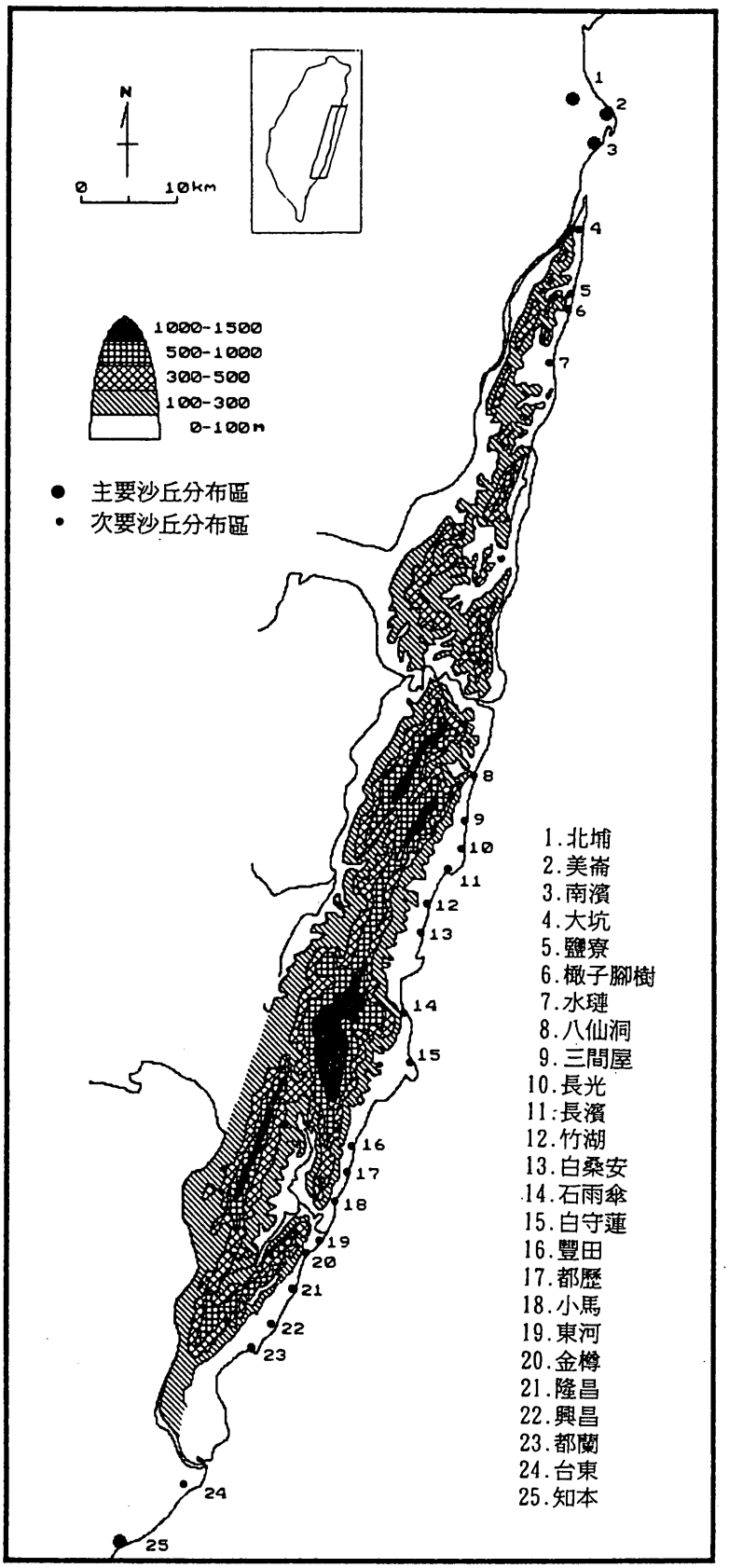


圖11　東部海岸沙丘分布區圖

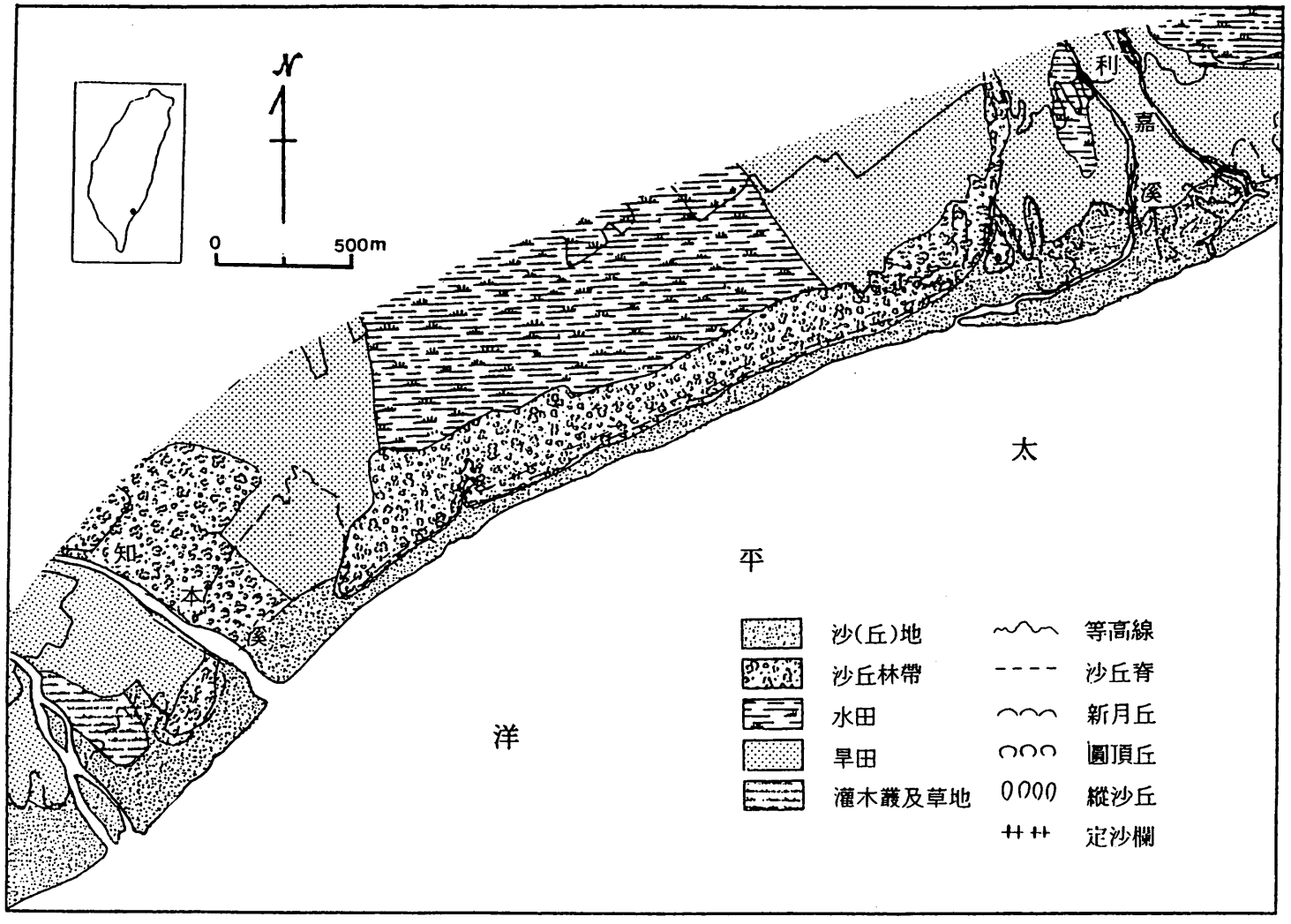

N
0
500m
利
嘉
溪
太
平
洋
知
本
溪
沙(丘)地
沙丘林帶
水田
旱田
灌木叢及草地
等高線
沙丘脊
新月丘
圓頂丘
縱沙丘
定沙欄

圖 12　知本沙丘分布圖

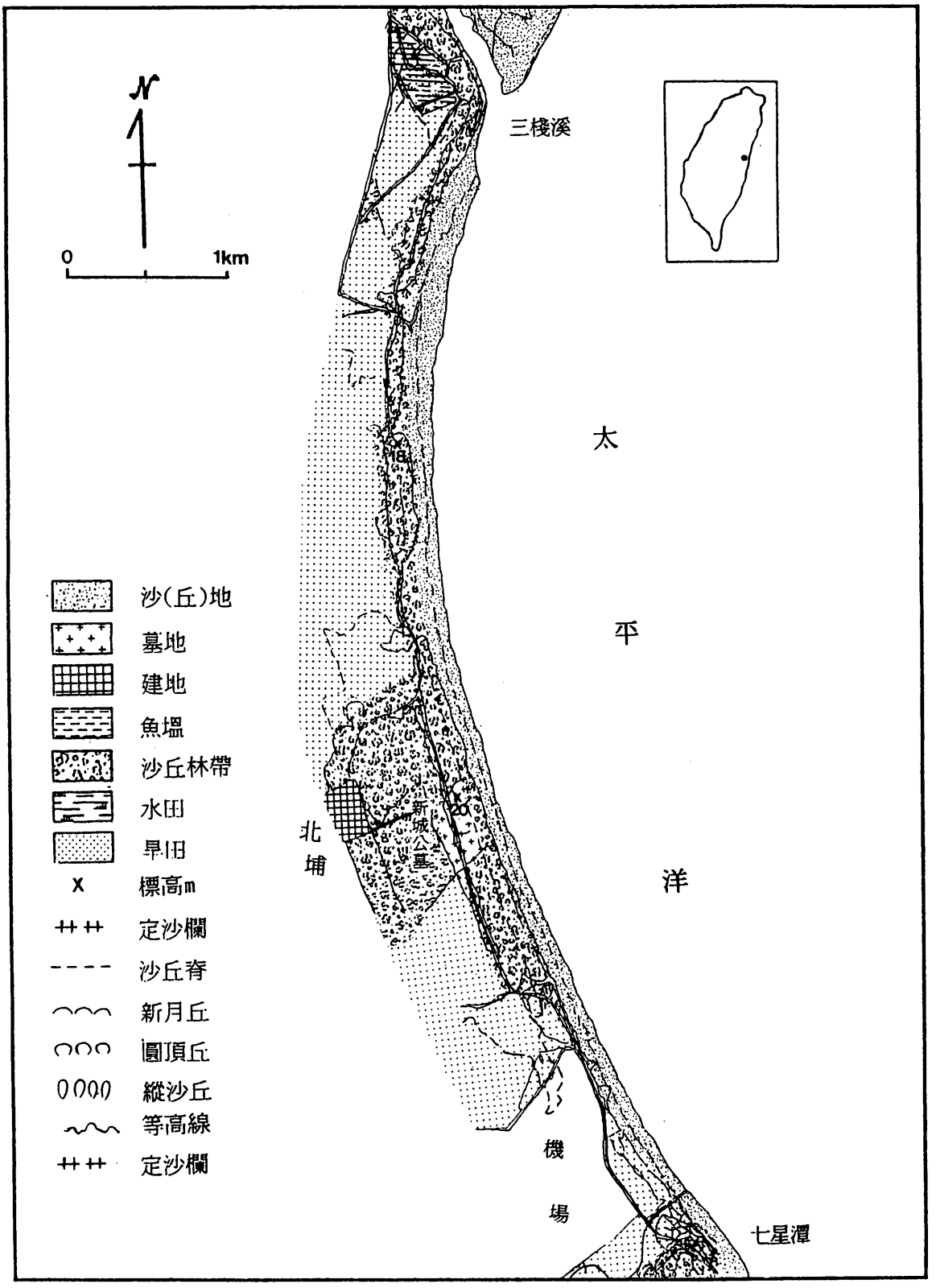

N
0
1km
三棧溪
太
平
洋
北
埔
新城公墓
機
場
七星潭
沙(丘)地
墓地
建地
魚塭
沙丘林帶
水田
旱田
標高m
定沙欄
沙丘脊
新月丘
圓頂丘
縱沙丘
等高線
定沙欄

圖 13　北埔沙丘分布圖

本研究利用 Olympus BHSP 型偏光顯微鏡以及鹽酸滴定，對本區主要沙丘沙進行初步辨識，發現南端海岸的海口沙丘以石英和砂岩岩屑爲主，所佔比例最高，在 60% 以上；其次爲珊瑚碎屑以及少數的貝殼碎屑，顏色灰白，顆粒多圓狀，其原因乃爲河川上游是礫石台地堆積，沿岸則有珊瑚礁台；白沙、砂島和風吹沙一帶則以貝殼和珊瑚碎屑爲主，佔 80% 以上，少數的石英、砂岩岩屑夾雜，顏色爲土黃帶白色，其原因爲本區是珊瑚礁海岸，且多貝殼遺骸，經海浪淘蝕，形成供沙的主要來源；九棚的沙以石英和砂岩岩屑爲主，少量的珊瑚碎屑、長石和雲母，顏色灰白，其原因爲本區河流上游屬大南灣層的砂岩、粉砂岩。花東海岸的沙丘沙則多爲砂岩、頁岩岩屑，其次爲石英、雲母及長石，顏色灰黑，粒多扁平，乃因本區供沙河流上游爲大港口層、奇美層以及都巒山層的砂岩、頁岩及火成岩屑(徐鐵良，1956)。

(二)沙丘沙的粒度分析

沈積物顆粒大小等級之分析過程，稱爲機械分析或粒度分析 (grain size analysis)，其目的藉沈積物粗細、淘選、峰度、歪度等計量分析，推知搬運營力的種類、能量、方向等，以作爲探討其生成的條件及沈積環境的變遷等。

本研究利用系統選樣的方法，採等間距的方式，採集南端與東部幾處海岸的濱沙、活動沙丘沙與縱向剖線的沙樣，以篩網和沈降的實驗方法進行粒度分析。其結果如下：

1. 濱線灘沙的粒度：由表 5、圖 14 來看，東部和平、知本、小馬、北埔等濱沙平均粒徑 (Md ϕ) 值爲-2.23 ϕ ～ 0.08 ϕ (4.691 mm～ 0.946 mm)，依 Wentworth(1922) 的分類已屬於小礫至細礫 (grannle ～ pebble)，顯見其顆粒之粗重，故東部濱灘實可名之爲礫灘。南端海口、白沙、風吹沙、港口、九棚各海岸濱沙的 Md ϕ 值爲 1.32 ～ 2.15(0.401 mm～ 0.225 mm)，較東部爲細，屬細沙至中沙級，其中以海口地區之粒度最細。

表 5　台灣東部及南端海岸沙丘沙與濱沙的粒度統計表

		沙丘沙								濱沙								備註
		Mdφ	Mφ	Pφ	αφ	SO	Kφ	採集袋數	採集距離	Mdφ	Mφ	Pφ	αφ	SO	Kφ	採集袋數	採集距離(km)	
東	1.北埔	0.21	-0.46	0.79	-0.07	1.55	0.77	31		-2.23	-3.26	0.74	-0.36	1.34	0.65	19	0.95	採樣日期 820703
部	2.小馬	1.44	1.42	0.60	-0.13	1.37	0.78	18		0.08	0.21	0.74	-0.14	1.45	0.68	8	0.4	採樣日期 820704
海	3.知本	0.22	0.18	0.70	0.31	1.20	0.72	34		-0.37	-0.29	0.94	-0.01	1.80	0.60	32	1.60	採樣日期 820801
岸	4.和平									-0.08	-0.03	0.92	-0.10	1.59	0.60	17	0.85	採樣日期 820704
	5.九棚	1.92	1.85	0.45	-0.16	1.22	0.79	96		1.88	1.85	0.35	-0.08	1.17	0.83	40	2.00	採樣日期 820808
南	6.風吹沙	1.82	1.66	0.42	0.39	1.49	0.83	19		1.32	1.22	0.65	-0.08	1.34	0.62	25	1.25	採樣日期 820718
端	7.港口溪	1.90	1.70	0.53	-0.12	1.39	0.66	19		1.68	1.61	0.48	-0.24	1.25	0.83	24	1.20	採樣日期 820718
海	8.富山牧場	1.96	1.82	0.48	-0.33	1.35	1.17	5										採樣日期 820704
岸	9.海口	2.18	2.11	0.42	-0.15	1.21	1.13	24		2.15	2.05	0.42	-0.18	1.22	0.75	41	2.05	採樣日期 820717

※註：$\phi = -\log_2 D_{mm}$

東部濱沙之標準值（$\rho\phi$）介於 0.94 ～ 0.74 間，據 Frolk and Ward(1957) 之分等，僅爲淘選中等；南端則爲 0.35 ～ 0.65 之間，屬淘選良好至尚可等級，亦可看出東部濱沙之淘選程度比南端來得差。此外，東部與南端的峰度 (K ϕ)，分別爲 0.60 ～ 0.68 、 0.62 ～ 0.83 ，歪度平均值爲-0.01 ～-0.36 、-0.08 ～ 0.24 皆屬負值，表示東部海濱沙粒大小分布的頻率比南部更呈分散狀態，而兩地顆粒則都近似對稱，但局部地區有稍偏粗的現象。

2. 沙丘沙的粒度：表 5 、圖 14 中所示，南端沙丘沙的 Md ϕ 值在 2.18 ～ 1.66(0.221 mm～0.316 mm) 之間，其差異不大，然均比東部各地來得細，其中富山牧場的舊沙丘雖已遭風化，但因多石灰質沙粒，局部淋溶過程中，產生碳酸鈣再膠結的現象，並有新期的海岸飛沙摻雜，故淘選度差，且粒徑並非最細。

東部沙丘沙以小馬最細 (1.44 ϕ)，乃因其位於海階面上的舊沙丘風化程度較高之故。整體觀之，各區海岸沙丘沙之粒徑平均中數，均較濱沙爲細，此因沙丘位居後濱，風營力由濱線向內陸搬運，故粒徑漸小。在淘選度（$\sigma\phi$）方面，沙丘沙亦優於濱沙，東部屬於粗沙～中沙，南端爲中沙～細沙。峰度在 0.66 ～ 1.17 間，歪度則在-0.33 ～ 0.39 之間，均顯現出沙丘沙粒徑較爲集中且近似對稱、差異不大的均質特性。

㈢縱向剖線沙粒粒徑之變化

圖 15 、圖 16 爲本區幾條沙丘剖線地形起伏與粒度變化的情形。大致而言，均有前濱略細而後濱較粗、往沙丘帶又變細的趨勢，此種現象可以反映出沈積物的生成環境和營力的變化。

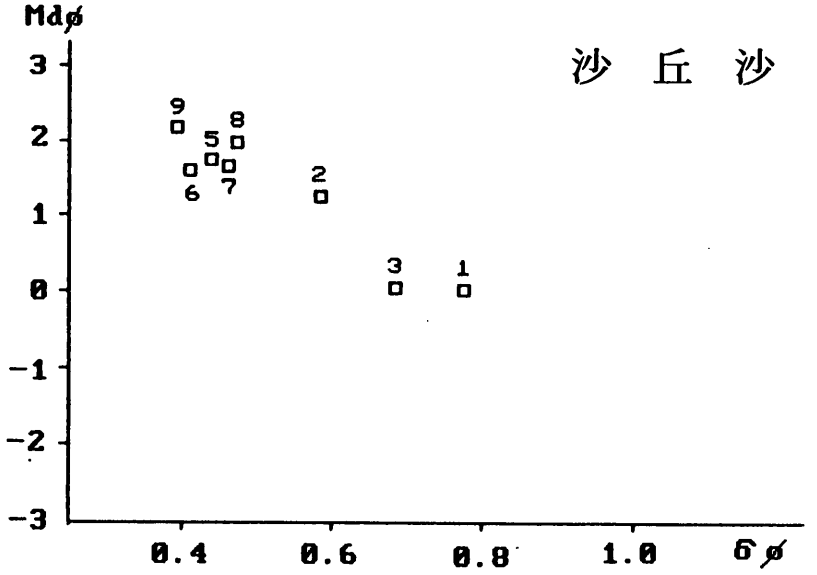
前濱（潮間帶）地區就能量的傳送而言，屬低能量帶，原因乃當漲潮時，碎浪形成強勁的濱上流，將海底粗質的沈積物往後濱搬運，形成濱堤或沙灘等堆積地形；退潮時因回流速度較緩慢，又攜回較細的物質往潮間帶堆積，所以前濱的粒度較細，且淘選較好；後濱地區不但有湧上流帶來較粗的沈積物，且在暴風潮浪時，經常會有粒徑更大的沙粒被搬上灘面堆積，是故後濱乃爲顆粒質地最粗、淘選最差的地帶。

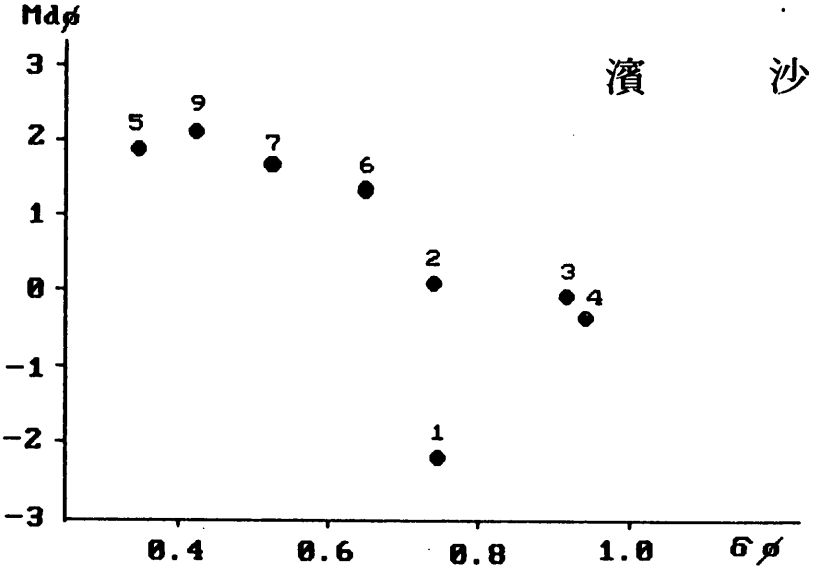
海濱的濱沙搬運和集散營力爲波浪，因其動能較大，故淘選能力較差；而沙丘地乃因風吹起濱沙再次堆積，所以其淘選和分級會較佳。當風沿丘坡爬升時，往往會因摩擦力而減低其速度，因此無力攜帶沙粒沿坡堆積，過了丘頂，沙粒通常已變得很細，且在向下滾或由空中墜落時，超出主風的吹移範圍，而在背風坡加積，故其淘選較佳，峰度也較集中突出。不過，由於地表形態複雜，加上人爲的干擾，當風遇阻時會形成亂流或渦流，有時會因輻散而減低速度，造成沈積，有時亦可能輻合而增加侵蝕，故可能造成局部因風速不同所產生粒徑上的差異，其中東部因沙粒粗重，影響風的淘選能力，所以變化較不明顯。

五、土壤與植被

㈠沙丘地土壤之特性

一般而言，沙丘地的土壤具有：質地粗、顆粒均勻、滲透性大、透氣性良好、保水





1.北　埔
2.小　馬
3.知　本
4.和　平
5.九　棚
6.風 吹 沙
7.港 口 溪
8.富山牧場
9.海　口

圖 14　濱沙與沙丘粒度統計圖

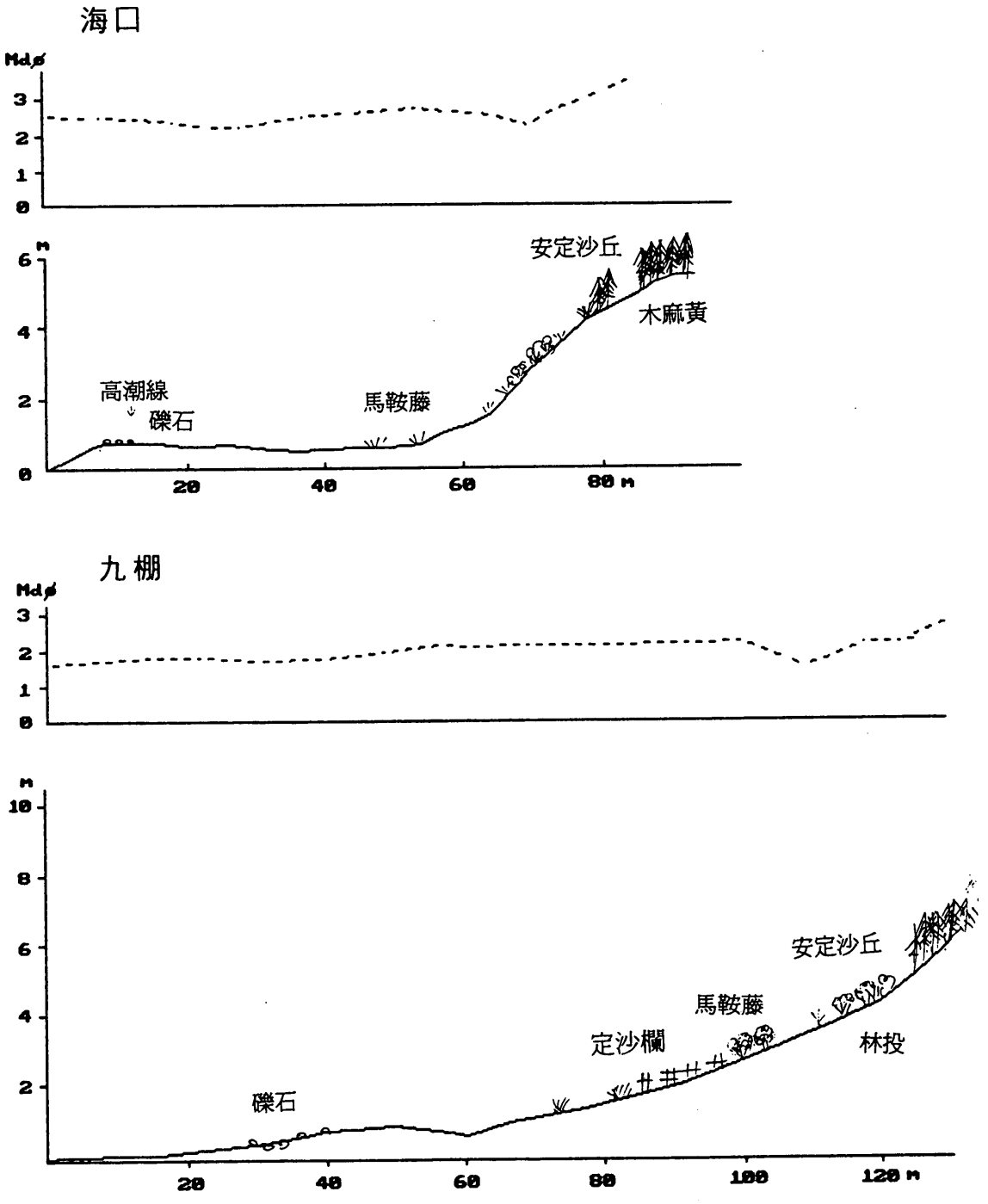


圖 15　沙丘縱剖面地形起伏與粒度大小分布圖

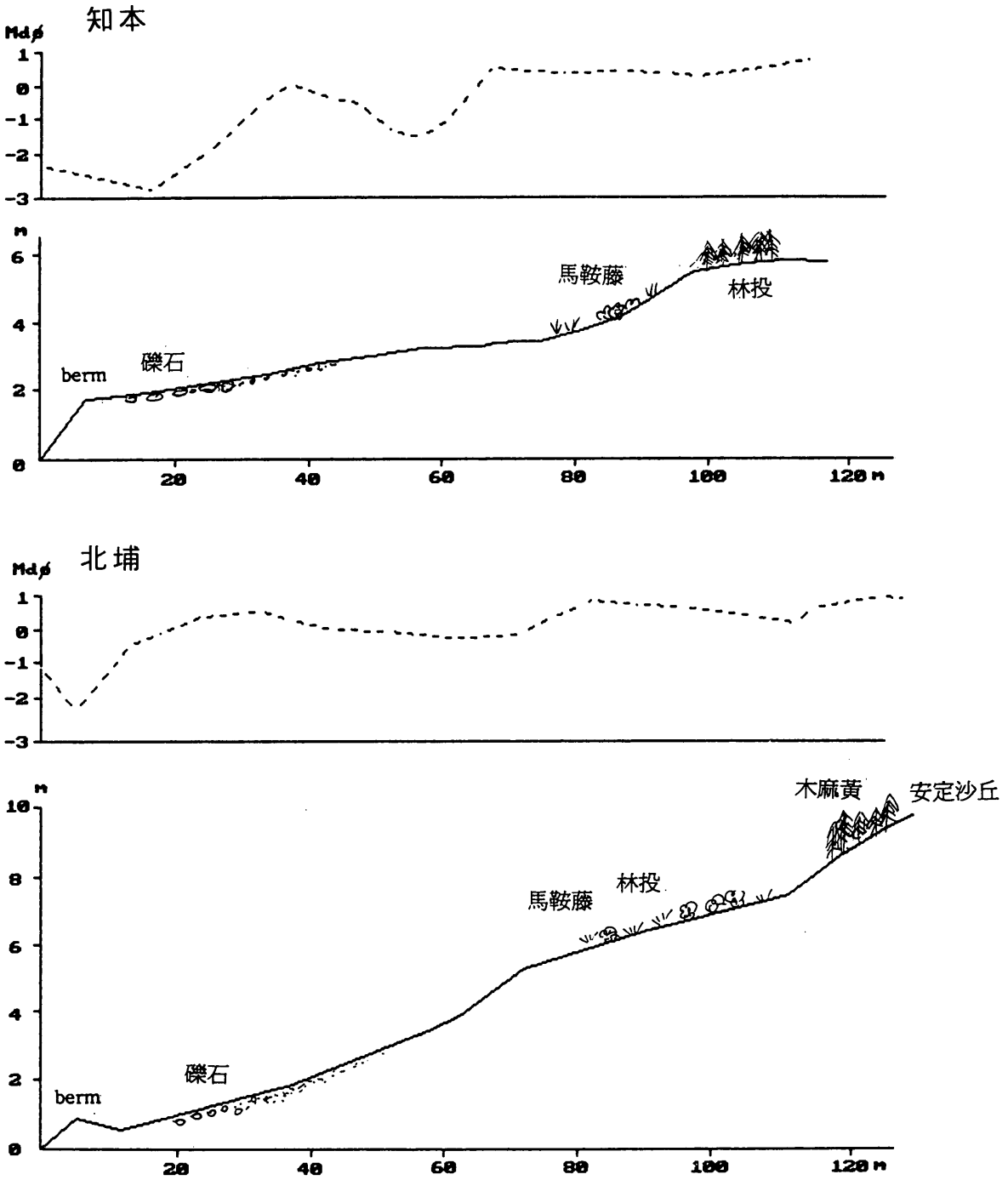


圖 16　沙丘縱剖面地形起伏與粒度大小分布圖

力低、乾燥、易受旱害及風蝕、肥力差、地溫變化大等共同特性。

本研究分別採取海口活動沙丘帶和安定沙丘帶、風吹沙活動沙丘帶、九棚活動沙丘帶和安定沙丘帶、知本活動沙丘帶和安定沙丘帶、富山牧場古沙丘、小馬古沙丘等沙性土壤，以及花蓮水田壤土之樣本（編號A～J），送交台灣省農業試驗所農化學系進行下列的化驗，其結果如下表：

表6　沙丘土與一般土壤土之物理特性及肥力比較表

地點	pH值	有機酸（%）	有效磷（PPM）	可交換性鹽基				機械組成(%)			孔隙率（%）
				鈣	鎂	鉀	鈉(PPM)	沙粒	粉粒	黏粒	
A.海口活動沙丘	8.2	0.12	2.2	3646	138	24	95	98.4	1.5	0.0	43.96
B.海口安定沙丘	8.3	0.17	2.8	3375	127	28	90	97.4	2.5	0.0	45.50
C.風吹沙活動沙丘	8.8	0.06	0.8	3818	190	27	148	98.4	1.5	0.0	40.29
D.七棚活動沙丘	8.5	0.10	1.7	2388	108	15	67	98.4	1.5	0.0	41.24
E.九棚安定沙丘	8.5	0.06	2.1	1533	58	11	50	99.4	0.5	0.0	43.54
F.知本活動沙丘	8.3	0.06	1.7	2169	37	10	44	99.4	0.5	0.0	41.18
G.知本安定沙丘	8.1	0.12	2.8	1863	35	13	57	97.4	1.8	0.7	39.77
H.富山牧場古沙丘	8.0	0.12	0.9	4027	199	12	78	98.4	1.5	0.0	43.34
I.小馬古沙丘	7.9	0.29	3.7	1052	115	60	104	98.4	1.5	0.0	43.98
J.花蓮水田壤土	6.8	0.69	2.0	4993	152	119	242	25.4	13.3	60.5	56.70

*樣本採集者：張政亮(1993.Sep.)
*化驗單位：台灣省農業試驗所

1.pH 值：海岸沙丘地的土壤因海水鹽分入侵，導致鹽分過高與交換性鹽基失調，而使土壤生產力遭受破壞，此種土壤稱之爲鹽鹼土，本研究A～J樣本之pH值均在8.1～8.8之間，鹼性極強。一般而言，鹽鹼土因其含鹽分高，易造成植物細胞脫水，故較不利於開發利用，若能利用科學方法改良，如加強灌溉、排水與客土，並選擇合適作物種植，則往往具有經濟開發之價值。

沙丘地離海陸化後，鹽分會逐漸降低，加上許多沙丘地開闢用來種植旱作，如西瓜、甘蔗、甘藷之栽種，因排水、施肥與客土，pH值也會隨之改變（如編號H與I），至於內陸的壤土，其pH值則更降至6.8(編號J)。

2. 機械組成分：質地之粗糙乃爲海岸沙丘地土壤最基本之特性，其他諸項物理特性，幾乎全由質地之粗糙而來。比較表7可得知，海岸沙丘土壤沙粒約佔97%以上，粉沙與黏土之含量甚微，又由於沙丘土大都是經由風力搬運堆積，是以淘選度十分良好。而內陸沙丘則會慢慢風化分解並土壤化，故黏土和粉沙之比率漸增，最後演變成壤土質地（如編號J）。

3. 土壤之肥力：沙丘地土壤因質地粗疏、保水力低、通氣性良好、微生物的活動旺

盛，分解作用進行很快，土壤中的有機質不能有多量的積聚，且由於其吸附養分的元素離子之黏度與有機質等膠體均極微少，是以養分含量與保肥力（離子置換容量）均低。而質地黏重的水田壤土，常保持相當水分，空氣流動亦較受阻塞，妨礙有機物的分解，因此，在同一氣候條件下，黏重的土壤中，常能積聚較多的有機質。由表7中亦可觀察出沙丘土壤的有機碳和有效磷的含量均比一般水田壤土低很多，交換性鹽基部分，沙丘土因貝殼沙的關係，故鈣質含量很高，其他養分整體而言不如水田壤土。

㈡植被的種類與分布

海岸地區的限制條件迥異於內陸，其植被的種類也隨之有差異。一般而言，海水、潮浪、風力（鹽霧）等對海岸的基本特性影響甚大，大抵由沿海向內陸呈現梯度遞減，更依局部微地形、風力與風向、基質物化性等有甚大變異。故除卻因子補償地段，基質含鹽度爲顯著限制因子，逐次向內陸則改由其他因子所取代（陳玉峰，1984），而效應顯著區即可謂鹽生環境，有些生態學者則另立「鹽生植被（halophyte vegetation）」討論之(J.Baun-blonguet,1932)。

沙丘土壤常因鹽分大量堆積而發生積鹽作用，形成不利植生的鹽土，有些植物分類群，通常只見其存在於大部分植物所無法忍受含鹽度過高的地段，可稱爲鹽生植物。海濱沙丘的鹽生植物通常具有：(1)匍匐生長。(2)節節生根。(3)莖葉肥厚。(4)細胞增大。(5)具備鹽腺。(6)隱藏根莖等特性，以保持水分，防止強風、日曬、鹽霧之傷害。

本研究在1993年8、9月間，於本區海岸沙丘帶進行植被的調查與研究，依照植物所處的地形位置，可分述如下：

1. 海灘帶與活動沙丘帶：面對海洋波浪、強風、鹽霧等首當其衝的第一線植物，主要是以固定海沙的鹽生草本植物爲主，其較常見的優勢種類如：馬鞍藤[*Ipomoea pes-caprae* (L.) Sweet subsp.brasiliensis (L.) Ooststt.]、濱刺麥[*Spinifex littoreus* (Burm.f.) Meer.]、海埔姜[*Vitex rotuncifolia* L.F.]、雙花蟛蜞菊[*Wedelia biflora* (L.) DC.]、天蓬草舅[*Wedelia prostrate* (Hook. & Arn.) Hems.]、茵陳蒿[*Artemisia capillaris* Thumb.]、白蒡[*Impcrata cylindrica* (L.) Bcauv. var. major(nccs) C.H.Hubb.]、毛馬齒莧[*Portu-laca pilosa* L.]、海雀稗[*Paspalum vaginutm* Swartz.]、孟仁草[*Chloris barbata*]、乾溝飄拂草[*Fimbristylis cymosa* R.Brown]、濱豇豆[*Vigna marina* (Burm.) Merr.]…等，南端海岸沙丘則再有蓮葉桐[*Hernandia sonora* L.]、文珠蘭[*Crinum asiaticum* var. sinicum]、苦林盤[*Clerodendrum inerme* (L.) Gaertn.]、高麗芝[*Zoysia tenuifolia* Willd.ex Trin.]、恆春風藤[*Piper Kawakamii Hayata*]…等。

2. 安定沙丘帶：此區已漸由草生帶轉爲灌木林帶之植生群落，最常見的植生乃爲人工種植的林投，林投爲全省海岸面第一道擋風灌木，亦是海岸線指標群落。若林投植株增多，遂有擋風與遮蔽之效，使其後植株更爲高大。但其葉輪旋密生，終至冠層密緻相連而造成透光度低，使其爲絕對優勢而罕有其他植物雜生其間。灌木帶內陸側沙丘已成穩定狀態，丘上植物漸趨向終極群落的演替，形成所謂的林木沙丘帶(forest dune zone)。

此帶內陸植物已有明顯增加的趨勢，木麻黃等人工防風林亦普遍地栽種。安定沙丘帶常見的植物有：林投[*Pandanus odoratissimus* L.f.var. Sinensis (Warb.) Kanchira]、木麻黃[*Casuarina equisetifolia* L. Sinensis (Warb.) Kanchiral]、銀合歡[*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wie.]、黃槿[*H.tiliaceus* L.]、海檬果[*Cerbera manghas* L.]、相思林[*Acacia comfusa* Mcrr.]、馬纓丹[*Luntana camara*]、月桃[*Alpiniaspeciosa* (Wendl.) K. Schum.]、構樹[*Broussonetia papyrifera* (L.) L'Herit. ex Vent.]、血桐[*Macaranga tanarius* (L.) Muell.-Arg.]、月橘[*Murraya paniculata* (L.) Jack.]、枯婆芋[*Alocasia macrorrhiza* (L.) Schott & Endl.]、榕樹[*Ficus microcarpa* L.f.]…等。南端海岸則再有瓊麻[*Agave sisalana* Perr. exEnghlm]、穗花棋盤腳[*Barringtonia racemosa* (L.) Blume ex DC.]、倒地鈴[*Cardiospermum halicacabum* L.]、恆春皂莢[*Gleditsia rolfei* Vidal]…等。

㈢防風定沙的功效

沙丘地帶的飛沙和鹽霧，往往影響海岸地區作物的生產，甚而破壞公共設施，危及生活環境，而適當的植被栽種則具有：(1)減弱風速。(2)改變風向。(3)增加蔽風範圍等運動的效能（游繁結，1989），以達防風定沙之功效。

唯目前本區海岸沙丘地因人爲開墾，原始植被部分爲人工防風林、旱作與魚塭等取代，爲使農作物、建物等免受強風和鹽霧之害，故應儘可能維持海濱植物帶之完整性，勿使之受濫墾與破壞，俾使土地資源受到妥善的保護和利用。

六、結論

台灣本島地勢陡峻、雨量豐沛、輸沙顯著，加以颱風、季風、海陸風盛行，故海岸沙丘特別發達，本文透過航照判讀、地形計測、野外實察及室內實驗等多種方法，對台灣南端與東部海岸沙丘的特性加以探討，其結論如下：

1. 南端海岸因鄰近丘陵低緩、河川短小、供沙有限，再加上本區爲隆起珊瑚礁岩岸地形，使積沙空間受阻。東部海岸因海岸山脈逼臨海岸，河床陡峻，多礫灘地形，堆沙不易，又因斷層作用使海崖深峻、波浪大，底流速度強，不但使本區無積沙空間，漂沙亦不易向陸靠攏。

2. 生成環境：沙丘沙源方面南端多來自海岸淘蝕的珊瑚和貝殼沙，部分爲河流輸沙，東部沿岸則以河流輸沙爲主。氣候方面南端地區的風速與蒸發強度比東部大，但均比西部來得小，故研究區的飛沙危害較西部要來得少。

3. 在分布與形態方面：南端海岸沙丘多分布在河口平原及珊瑚礁濱台，如海口、九棚、風吹沙等地，其形態變化較多，以圓頂丘、新月丘、縱沙丘、沙瀑、假性沙丘等較爲常見。東部沙丘則在河口平原一帶，如北埔、知本等地，因沙粒粗重，形態較少變化，多沿濱線呈緩起伏狀。

4. 在組成與粒度方面：南端沙丘的顏色灰白，以貝殼和石英沙爲主，少數爲岩屑，粒度較細，屬細至中沙級，東部顏色灰黑，以砂岩、頁岩、火成岩屑爲主，粒度較粗，屬

中至粗沙級。在縱深剖線上，除局部地形與人爲作用的影響而稍微變化外，大致而言均有前濱較細，而後濱較粗，並往沙丘漸漸變細且淘選較好的趨勢，顯示後濱波浪營力要比前濱來得大，而風力在淘選和分級方面比波浪營力好。

5. 土壤與植被方面：海岸沙丘的土壤經化驗後，具有質地粗、顆粒均勻、透水性大、透水性良好、保水力低、鹽分高、易受旱害及風蝕、肥力差等共同特性，故不利於農耕，多爲旱作地。而在植被方面，因要適應烈日、強風與鹽分，故多半具有莖葉肥厚、匍匐生長等特性，常見的海濱植物有馬鞍藤、海埔姜、林投、木麻黃等。由於植被具有防風定沙之功效，故應儘量維持其完整，以保護海岸之安全。

6. 目前沙丘地除了種植防風林外，尚被利用爲墓地、魚塭及蔗田、瓜田等旱作地，而使沙丘地貌快速地變更。如果沒有適當的規劃和經營，不但造成景觀破壞，還可能會導致環境的災害，危及人類的生命與財產，是故因應未來開發與利用，如何進一步了解沙丘特性以及建立一套合理的經營模式，仍有待努力與加強。人地關係的和諧是生態平衡的基礎，面對土地資源日貧，環境品質日惡的條件下，人類對此一具脆弱性、敏感性與動態性的沙丘地開發，宜以一種生態環境經營的觀念，維持資源的永續利用。

〔附記〕本研究係國科會 *81* 年度補助專題研究計畫 (*NSC82-0202-M-003-043*) 成果，研究期間承鄧國雄、石慶得、黃朝恩、楊貴三、許民陽、曾正雄諸系友參與研究工作、提供寶貴意見，本系阮琡婷、蕭立慈、林芳穗、吳秋薇、辛毓玲等同學協助野外調查、粒度分析、整理資料及繪圖，使研究工作得以順利完成，謹此一併申謝。

參考文獻

一、中文部分

王鑫 (1988)：地形學，聯經出版事業公司，pp.181-192。

內政部 (1992)：台灣海岸地區環境資源管理研究計畫，pp.168-173。

石再添 (1975)：台灣南端珊湖礁海岸域的地形學計量研究，師大地理研究報告，第一期，pp.74-102。

石再添 (1976)：臺灣東部蘇花及礁溪斷層海岸域的地形學計量研究，師大地理研究報告，第二期，pp.55 ～ 88。

石再添 (1977)：臺灣東部蘇花及礁溪斷層海岸域的地形學計量研究，師大地理研究報告，第三期，pp.143 ～ 169。

石再添 (1978)：臺灣東部蘇花及礁溪斷層海岸域的地形學計量研究，師大地理研究報告，第四期，pp.55 ～ 95。

石再添等 (1989)：墾丁國家公園地區的珊瑚礁定年及地形研究，內政部營建署，pp.10-36。

江永哲，張文詔 (1978)：海岸飛沙量估算之風洞試驗，中華水土保持學報，第九卷，第二

期，pp.53-58。
朱健一等(1981)：砂丘地灌溉農業技術手册，農發會水利特刊第三號，pp.33-54。
吳全安(1985)：台灣沿海自然資源之保育，大自然季刊，第二卷，第二期，p.87。
何春蓀(1982)：臺灣地體構造的濱變，臺灣地體構造圖說明書，中華民國經濟部，pp.96-98。
林朝棨(1957)：臺灣地形，臺灣省通志稿，卷一，臺灣省文獻委員會，pp.359- 364。
徐鐵良(1956)：台灣東部海岸山脈地質，台灣省地質調查所彙所，no.3, pp.35-43。
翁國盈(1974)：台灣東部氣候之研究，師大地理研究所碩論，pp.9-15。
康乃恭(1962)：台灣海埔地之河川與河口，台銀季刊，第十三卷，第二期，pp.156-172。
許中民(1986)：台灣南端恒春半島第4紀後期構造運動之研究，台大地質研究所博士論文，pp.57-60。
張仲民(1984)：土壤與肥料學，徐氏基金會出版部，pp.50-62。
張劭曾(1962)：台灣海埔地之地形變遷，台銀季刊，第十三卷，第二期，pp.70-99。
張長義等(1991)：臺灣海岸地區環境資源保育考察研究報告，臺大地研所，132pp.。
張政亮(1992)：蘭陽平原海岸沙丘的地形學研究，師大地研所碩論，135pp.。
張瑞津(1980)：粒度分析在地學研究的意義，中等教育，第三十一卷，第二期，pp.16-38。
張瑞津(1985)：濁水溪平原的地勢分析與地形變遷，師大地理研究報告，第十一期，pp.199-228。
陳民本等(1985)：墾丁國家公園地區海域及海濱石灰質砂之調查研究，內政部營建署，pp.14-19。
陳玉峰(1990)：墾丁國家公園海岸植被，墾丁國家公園管理處，pp.30-35。
陳炎基(1987)：海岸地帶發展的問題及其管理趨勢，人與地，pp.23-29。
郭寶章(1963)：臺灣之防風林及功效，台銀季刊，第十四卷，第一期，pp.188-203。
曾若玄(1978)：漂沙量與波浪、沿岸流關係之探討，台大海研所碩論，pp.1-15。
黃朝恩(1980)：臺灣島諸流域特徵及其相關性的研究，文大地研所博論，136pp。
游繁結(1986)：台灣海岸飛砂量推估之初步研究，中華水土保持學報，第十七卷，第一期，pp.107-117。
游繁結、江永哲、吳約西(1987)：台灣西海岸砂粒性狀之探討，水土保持學報第十九輯抽印本，國立中興大學水土保持學系印行，pp.37-50。
游繁結(1988)：濁水溪河口飛砂量研究與調查，第四屆水利工程研討會論文集，國立中興大學，pp.513-532。
楊之遠(1988)：台灣東部農業氣候資源之研究，文化大學地學研究所碩論，pp.32-35。
臺灣省水利局(1992)：台灣海岸水文氣象年報，151pp.。
臺灣省水資源會(1990)：台灣水文年報。

臺灣省地政處 (1991)：台灣省沿海土地利用及管制調查－花東地區。

鄭元春 (1984)：台灣常見的海濱植物，渡假出版社，p.8。

謝孟龍 (1990)：台灣花東海岸晚第四紀沈積層海階地形暨新構造運動的研究，台大地質研究所碩論，pp.25-33。

劉鴻喜 (1972)：臺灣西岸海埔地區概觀，地學彙刊，第二期，pp.33-39。

魏仰賢 (1972)：臺灣海埔地之開發與利用，台銀季刊，第二十三卷，第一期，pp.242 - 253。

蘇福來編譯 (1979)：飛沙理論，河海工程，第十一期，pp.23-34。

二、日文部分

大西正已、近藤正史 (1962)：沙丘の生いたち，大明堂，pp.7-24。

川崎敏 (1942)：鳥取縣に於ける海岸砂全の開拓，地理學評論，第十八卷，第四號，pp.1-21。

日本第四紀研究 (1975)：日本海岸沙丘特集號，第十四卷，第四期，pp.177-247。

田井和彥 (1979)：日本にける海岸砂丘の形態と風，廣島大學卒業論文。

立石友男 (1974)：日本海沿岸における海岸砂丘の造成過程，日本大學文理學部研究紀要，pp.15-44。

立石友男 (1989)：海岸砂丘の變貌，大明堂，pp.40-42 。

田邊健一 (1941)：日本の海岸砂丘の形態的分類並に土地利用，地理學評論，第十七卷，第五號，pp.41-69。

圧司久孝 (1937)：新竹州草漯の砂丘㈠，臺灣地學記事，第八卷，第三期，pp.23-51。

安倍光彌、玉井虎太郎 (1942)：臺灣北部の海岸砂丘に於ける植物群落成立の要因にその立地的特徵に就いて，台灣農會報告，pp.60-73。

伊藤太右衛門 (1917)：台灣保安林施業法，台灣總督府殖產局，pp.122-127。

成瀨敏郎 (1989)：日本の海岸砂丘，地理學評論，62A-2, pp.129-144。

渡邊光 (1976)：地形學，古今書院，pp.219-220。

豐島吉則 (1975)：山陰の海岸砂丘，第四紀研究，14 ，pp.221-230。

三、英文部分

Bagnold, R.A.(1941): The Physics of Blown Sand and Desert Dunes, Chapman & Hall, pp.8-20。

Bauer, B.O.(1991): Aeolian Decoupling of Beach Sediments, A.A.A.G., vol. 81, pp.290-303。

Carter, R.W.G.(1992): Coastal Dunes, A.A.Balkema, Netherlands, 533pp. 。

Borowka, P.K.(1980): Present Day Dune Processes and Dune Morphology on the Leba Barries, Polish Coast of the Baltic, Geografiska Annaler, vol.62A, pp.75-82。

Davies, J.L.(1972): Coastal Dunes, Geographical Vanation in Coastal Development, Charpt

X, pp.152-168 。

David, H.(1979): Australian Landform Example, Deltaic Barrier Spit, australian Geographer, vol.14, no.35, pp.248-251 。

Day, P.A.E.(1928): Pipes in the Coast Sandstone of Syrie, Geology magazine, pp.412-415 。

Dolan, R.(1972): Barrier Dune System along the Outer Banks of NorthCarolina: A Reappraisal, Science, vol.176, pp.286-288 。

Finkel, H.J.(1959): The Barchans of Southern Peru, Journal of Geology, vol.67, pp.614-647 。

Guilcher, Andr'e, and Hall'egouet, Bernard (1991): Coastal Dunes in Brittany and Their Management, Journal of Coast Research, vol.7, no.2, pp.517-533 。

Hall, K.(1983): Sorted Stripes on Sub-antarctic Kerguelen Island, Earth Surface Processes and Landforms, vol.8, pp.115-124 。

Hsu, S.A. (1971): Measurement of Shear Stress and Roughness Length on a Beach, Journal of Geophysical Research, vol.76, no.12, pp.2880-2885 。

Hsu, S.A.(1973): Computing Eolian Sand Transport form Shear Velocity Measurements, Journal of Geology, vol.81, pp.739-743 。

Jungerius, P.D. and Verheggen, A.J.T.(1981): The Development of blowouts in 'De Blink ', a Coastal Dune Area Near Noordwijkerhout the Netherlands, Earth Surface Processes and Landforms, vol.6, pp.375-396 。

Kenyon, N.H.(1970): Sand Ribbons of European Tidal Seas, Marine Geology, pp.25-39 。

Kidson, C., Collin, R.L. and Chisholn, N.W.T.(1989): Surveying a Major Dune System-Braunton Burrows, North-West Devon, The Geographical Journal, vol.155, no.1, pp.94-105 。

Lancaster, N.(1982): Dunes on the Skeleton Coastal, Namibia (South West Africa): Geomorphology and Grain Size Relationships, Earth Surface Processes and Landforms, vol.7, pp.575-587 。

Lancaster, N., Greeley, R. and Christensen, P.R.(1987): Dune of the Gran Desierto Sandsea, Sonora, Mexico, Earth Surface Processes and Landforms, vol.12, pp.277-288 。

Lee, J.A.(1987): A Field Experiment on the Role of Small Scale Wind Gustiness in Aeolian Sand Transport, Earth Surface Processes and Landforms, vol. 12, pp.331-335 。

Logie, M.(1981): Wind Tunnel Experiments on Dune Sands, Earth Surface Processes and Landforms, vol.6, pp.365-374 。

Macintyre, I.G.(1970): Sediments off the West Coast of Barbados: Diversity of Origins,

Marine Geology, pp.5-23 。

Marsh, W.M. and marsh, B.D.(1987): Wind Erosion and Sand Dune Formation on high Lake Supeior Bluffs, Geografiska Annaler, vol.69A, pp.379-391 。

Miller, M.C., Mccave, I.N. and Komar, P.D. (1977): Threshold of Sediment motion under Unidirectional Currents, Sedimentology, no.24, pp.507-527 。

Mitchell, J.K.(1984): Hazard Perception Studies: Convergent Concerns and Divergent Approaches During the Past Decade, The University of Chicago Department of Geography Research Paper, no.209, pp.33-59 。

Nordstrom, K.F. and Lotstein, E.L.(1989): Perspectives on Resource Use of Dynamic Coastal Dunes, The Geographical Review, vol.79, pp.1-12 。

Nordstrom, K.F., Psuty, N.P. and Carter, R.W.G.(1990): Coastal Dunes, John Wiley & Sons, England, 392pp. 。

Oison, J.S.(1958): Lake Michigan Dune Development: 1. Wind-Velocity Profiles, Journal of Geology, vol.66, pp.254-263 。

Okagbue, C.O.(1987): Stability of Waste Spoils in an Area Strip Nine-Geological and Geotechnical Considerations, Earth Surface Processes and Landforms, vol.12, pp. 289-300 。

Paskoff, R. and Kelbtat, D.(1991): Review of coastal problems, Z.Geomorph. N.F., pp.1-13 。

Pye, K.(1982): Morphological Development of Coastal Dunes in a humid Tropical Environment, Cape Bedford and Cape Flattery, North Queensland, Geografiska Annaler, vol.64A, pp.213-227 。

Pye, K.(1986): Coastal Dunes, Progress in Physical Geography, no.4,pp.531-550 。

Ritchie, W.etc.(1989): The Coastal Sand Dunes of Louisiana an Inventory, Coastal Geology Technical Report, no.5, pp.1-22 。

Robinson, A.H.W.(1964): The Inshore Waters, Sediment Supply and Coastal Change of Part of Lincolnshire, East, Mid. Geog., no.3, pp.307-321 。

Shuisky, Y.D.(1986): Studies of Aeolian Processes on Seashores of the Sovlet Vnion, Geografiska Annaler, vol.68A, pp.33-40 。

Sun, C.C.(1964): Photogeologic Study of the Taiwan-Kaohsiung Coastal Plain in Twain, Petrol. Geol. Taiwan, no.3, pp.39-51 。

Swan, B.(1981): Dunes of Friday Island, Torres Stratt, North Queensland, Singapore Journal of Tropical Geography, pp.114-128 。

Thom, B.G. and Hall, W.(1991): Behaviour of Beach Profiles During Accretion and Erosion Dominated Periods, Earth Surface Processes and Landforms, vol.16, pp.

113-127 。

Thompson, C.H.(1981): Podzol Chronosequences on Coastal Dunes of Eastern Australia, nature, vol.291, pp.59-61 。

Toy, T.J.(1983): A Linear Erosion/ELevation Measuring Instrument (Lemi), Earth Surface Processes Landforms, vol.8, pp.313-322 。

Verhagen, H.J.(1989): Coastal Protection and Dune Management in the Netherlands, Journal of Coastal Research, vol.6, no.1, pp.169-179 。

Walker, H.J. and Mossa, J.(1986): Human Modification of the Shoreline of Japan, Physical Geography, vol.7, no.2, pp.116-139 。

Wasson, R.J. and Hyde, R.(1983): A Test of Granulometric Control of desert Dune Geometry, Earth Surface Processes and Landforms, vol.8, pp.301-302 。

Yair, A.(1990): Runoff Generation in a Sandy Area-The Nizzana Sands, Western Negev, Israel, Earth Suface Processes and Landforms, vol.15, no.7, pp.597-609 。

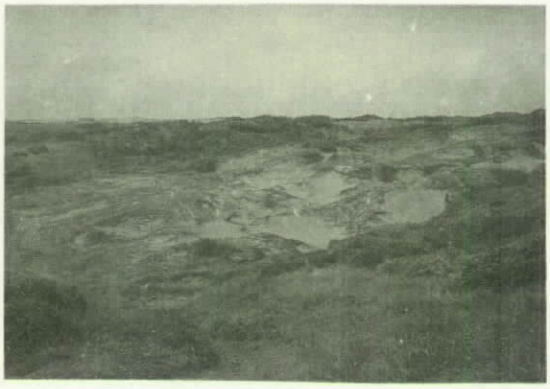
照片 1　海口一帶在盛行風吹拂下，大規模沙體移動並侵入在安定林帶前方，形成活動沙丘帶。

照片 4　海口地區的沙丘地常利用爲魚塭、旱田等而遭破壞，照片下方荒廢的魚塭，上方爲殘留的沙丘體，其上多闢爲公墓。

照片 2　海口海濱活動沙丘帶常由數個圓頂丘連結而成長牆狀的沙脊，其上有原生植被障遮。

照片 5　風吹沙地區在東北季風盛行時，沙體逆行蔓延至60餘公尺的崖壁上，形成沙瀑。

照片 3　鼻尖北側沙丘規模最爲發達，圖右爲盛行季風所挾之飛沙沿風蝕缺口越入後方沙丘林帶，形成侵積。



照片 6　風吹沙崖頂上的沙丘，整體呈平台狀，局部有風蝕窪地與圓頂丘、台狀丘分布其間。

照片 7　富山牧場一帶原原爲海階上之安定舊沙丘，局部因開墾不當造成風蝕吹穿，使沙體再次裸露。

照片10　九棚地區沙丘移動迅速，常掩埋定沙欄與防風林，而侵入安定林帶，形成侵積的現象。

照片 8　港口溪在冬季盛行東北季風吹拂下，溪口常成没口狀，南岸沙丘亦比北岸發達。

照片11　九棚一列列平行風向的縱沙丘，迎風面形態較爲圓厚，背風側沙體漸減，而終趨殲滅，狀似鯨背，故稱之爲鯨背丘。

照片 9　港口溪一帶，沙丘常順沿風向成條狀縱沙丘，沙層渾厚，高度可達 20 餘公尺，局部有礫石露出。

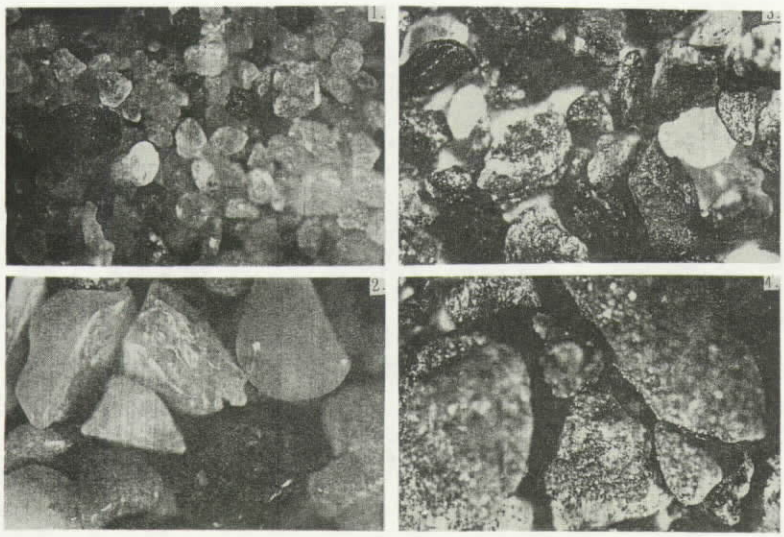
照片12　九棚南端礫石表面因受強風刮蝕而呈多角狀，形成所謂的風蝕礫。

照片13　知本海濱一帶多礫石，沙粒粗重，沙丘形態不明顯，多呈緩起伏狀，形態單調。

照片14　花蓮北埔近機場一帶的舊沙丘現多遭開發破壞。

照片15　花蓮北埔一帶，前方海濱爲礫堆，局部地區有濱堤產生，沙丘多在後濱堆積，多已有植被覆蓋。

照片16　花蓮南濱公園一帶沙丘，高約7-8公尺，現因海蝕劇烈，丘體多遭破，海岸已有防波堤防止進一步惡化。



照片17　南端與東部海岸沙丘沙的顯微照片，①海口②白沙③小馬④北埔，由北可看出其顆粒大小與組成物質的差異。