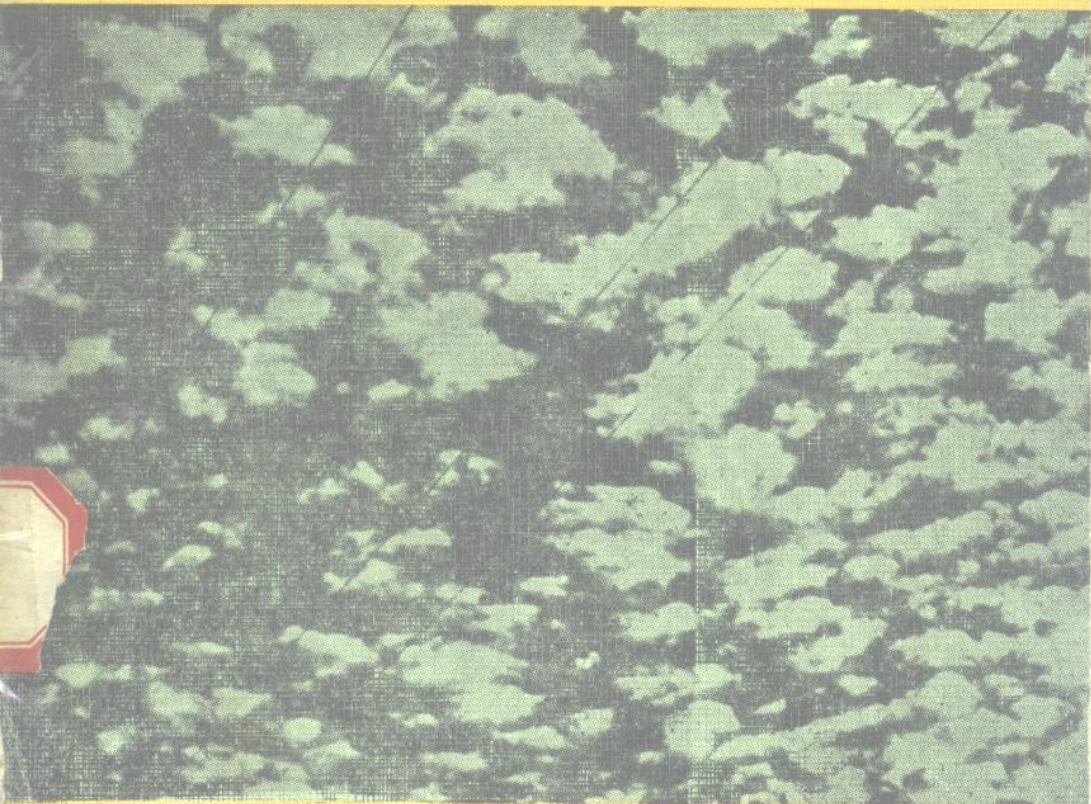


*Introduction to
the Atmosphere • RIEHL •*

大氣科學概論

戚啓勳 譯



東華書局印行

P351

412

大氣科學概論

Introduction to the Atmosphere

美國科羅拉多州立大學大氣科學系教授

Herbert Riehl 著

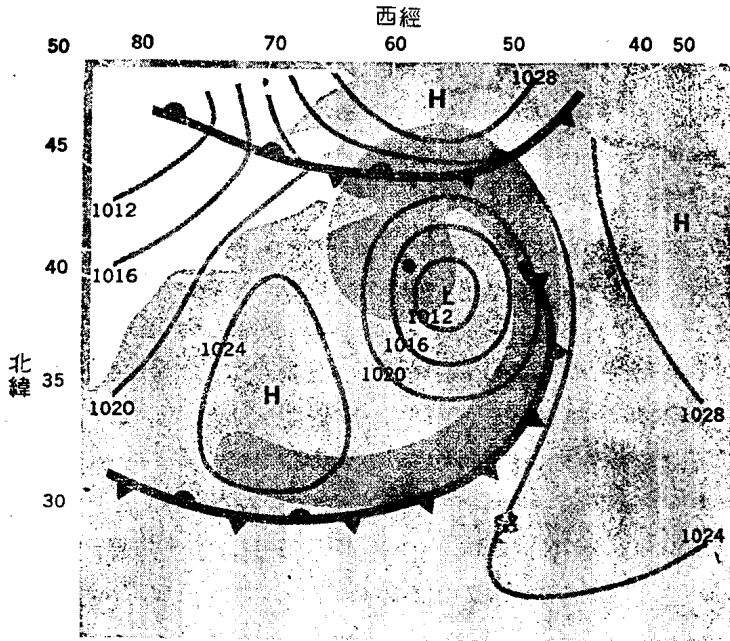
戚 啓 勳 譯

東華書局印行

TW31/3



1960年施放了氣象衛星泰洛斯一號，使氣象探測揭開了一個新的紀元。離地幾百哩的衛星上照相機和輻射感應器，對於遠離大陸海岸和氣象觀測網的大氣中風暴，提供了全球性的服務。雲系常具有巨大螺旋形的形態。這裏我們可以看到一幅壯觀的圖片，為泰洛斯六號1963年5月29日在大西洋西部所攝得。



1963年5月29日的地面天氣圖上，有一緩移的衰退低壓中心(或氣旋)位於紐芬蘭的東南方。泰洛斯六號所攝得的螺旋形雲區(陰影部份)很清楚地表示出地面冷鋒的位置。螺旋的中心和上層大氣的氣旋中心(黑點)相偕(等壓線取4毫巴間隔，鋒系的符號詳見附錄一)。

著 者 序

大約從 1940 年到現在，大氣知識的進展既迅速又輝煌。一部份因為我們對物理過程更為瞭解，一部份則由於觀測網的大為擴張和測量大氣的儀器進步。作者當時讀氣象學課程的時候，從上升氣球將高空的氣壓、溫度、和濕度傳送到地面，還是一種最新的技術。現在，我們已經有了很大的進步，氣象衛星能從遙遠的海洋上空帶來風暴的消息，火箭能報出很高地方的噴射氣流，巨型的計算機能够在幾分鐘之內作出全球大部地區的預報。

知識的增進，當然使我們對大氣科學以及它和其他科學間的關係，發生更大的興趣。公眾和私人機構對氣象資料已予廣泛應用。許多大學內，講授大氣科學已經開始作為地球物理課程的一部份；許多非專門性的短期訓練中，也成為科學知識的一部份。在這一類訓練計劃中，都應該使學生有一扼要的觀念，本書即在滿足此項需求。作者另外還希望這一本書對於工作上需要對大氣有若干瞭解和判斷的工程師和其他職業的男士和女士們，也有研讀和參考的價值。

基於這些目的，本書內容簡明而不涉及數學。主題都限於概論的一定範圍，而在強調科學的基本觀念。即使這樣，仍還保留了講師選擇的餘地，當然，他也還可以加以補充。在科羅拉多大學，此課程係為具有一般科學基本知識的學生而設。

近代關於大氣的觀念，以及將來的問題，都在書中提及。作者毫不遲疑地說明了像地球旋轉怎樣影響高空大規模波浪運動等主題。這是一個瞭解逐日天氣變化、寒冷或暖和的冬季，甚而至於氣候的最重要課題。爭論中的題目，像天氣改造，也包含在內。此外，作者還希望表達，雖然大氣科學是一種嚴肅而有用的研究，但也很有趣，將來的成就當更動人。

2 大氣科學概論

作者對若干著作權持有者和允許引用圖表的許多朋友們深表感謝。另當向科羅拉多波爾德大氣研究所國家中心 (National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado) 諸同仁, 尤其是派屈雷·史貴亞斯(Patrick Squires)博士的校閱, 以及安·愛溫(Ann Ewing)和嘉米亞·可恩 (Jamia Cone) 在編排上的幫助, 一併致謝!

赫伯脫·李爾

Herbert Riehl

譯 者 序

一般人對於地球的觀念，只知道它由陸地和海洋組成，而忽略了最重要的一部份，那就是它周圍還包裹着一層大氣。如果沒有這一層大氣，決不會有生命存在。地球物理學是一門新發展的科學，研究的對象當然是陸地、海洋、和大氣，三者相互關聯，不可劃分。所以大氣科學不過是以大氣爲主，旁及陸地和海洋對它的影響。這一門學問雖然是主要研討氣象，但似乎比氣象學着眼的範圍更廣，和太空也拉上了關係。

李爾 (Herbert Riehl) 教授是一位舉世聞名的氣象學家，一九五四年著有「熱帶氣象學」(Tropical Meteorology)，深受歡迎。筆者民國五十四年編著「颱風的理論和預報」，該書即爲重要參考書之一，內心至爲欽佩。近幾年來，李爾任教美國科羅拉多州立大學，講授大氣科學，1965年出版此書，其重要性自可想見。按科羅拉多州立大學設有大氣研究國家中心，擁有最新式之巨型電子計算機，氣象權威薈萃，成績輝煌，已成爲第一流的氣象學系。故而本書取材新穎，內容豐富，文字深入淺出，不涉數學公式，舉例切合實用，而插圖甚多，精美簡要，實在是一本研究大氣科學最理想的入門書。唯一的缺點——也是無可避免的缺點就是書中舉的都是美國的例證，只好希望將來能比照研究了。

筆者因任教中國文化學院，曾參閱多種氣象學教科書，當時本書尚未出版，深感國內缺少一本大學內應用的普通氣象學，氣象具有地域性也是原因之一，乃着手編著。民國五十五年，「普通氣象學」初版問世，幸獲好評，銷路日增，今已三版，足見氣象學逐漸被重視，去年(57學年)度大專院校又成立了三個氣象組。今後這一類教科書自然會更需要。因此，筆者讀此書後，如獲至寶。因爲，地球物理勢將隨太空的發展，在臺灣日漸被重視，氣象學也將擴展爲大氣科學，此其一；拙著「普通氣象學」雖適用於甲組專學氣象的同學，但是非專學氣象的班次則略感艱

4 大氣科學概論

深、因為內中有一部份公式，本書却正合需要，此其二；再者，大專教育要在鼓勵同學多找參考書，自行研讀，才能融會貫通，所以一本教科書是絕對不夠的，學自然科學更是這樣。在國內找原文書既貴又難，而且一般閱讀英文，進度總是太慢。綜上各點，才促使筆者將本書一口氣譯完。至於是否有不實或謬誤之處，尚祈讀者諸君不吝指正！

譯者序於民國五十八年八月

目 錄

卷首插圖	
著者序	
譯者序	
第一章 大氣概述	1~24
第一節 主環流	
第二節 垂直結構	
第三節 主要變數	

第一部 物理過程

第二章 輻射增暖和冷卻	25~38
第一節 太陽對氣候的控制	
第二節 短波和長波輻射	
第三節 太陽輻射的散射反射和吸收	
第四節 地球和大氣發出的輻射	
第五節 地面的熱平衡	
第三章 雲下空氣的垂直混合	39~53
第一節 地心重力	
第二節 垂直加速度	
第三節 垂直混合	
第四節 風的日變化	
第五節 污染的日變化	
第四章 蒸發凝結和雲	54~73
第一節 大氣中的水份	
第二節 蒸 發	

2 大氣科學概論

第三節 凝 結

第四節 雲

第五節 霧

第五章 降水和劇烈風暴.....74~95

第一節 降水的形成

第二節 雲的人工改造

第三節 降水的型式

第四節 雷 雨

第五節 雹

第六節 龍 捲 風

第六章 大規模空氣運動..... 96~116

第一節 運動的幅度

第二節 水平運動的力

第三節 地轉運動

第四節 波 動

第五節 穩定渦動

第六節 風速的改變

第七節 地面附近的風

第八節 能量的供應

第二部 天氣紛擾

第七章 中高緯度的天氣紛擾.....117~136

第一節 移動性氣旋和反氣旋

第二節 氣旋的生滅

第三節 西風帶內的波

第四節 氣旋的生命史

第五節 氣旋內的天氣分佈

第六節 熱帶以外的颶風級風力

第八章 熱帶的天氣紛擾.....137~159

第一節 東 風 波

- 第二節 赤道槽
- 第三節 颶（颶）風的描述
- 第四節 颶（颶）風的源地
- 第五節 颶（颶）風的路徑
- 第六節 美國的颶風警報作業

第三部 氣候控制和氣候區

- 第九章 主環流的機制……………161~173
 - 第一節 熱平衡
 - 第二節 熱量輸送的機制
 - 第三節 模型試驗中的主環流
 - 第四節 主環流的變動
 - 第五節 氣候的大規模控制
- 第十章 大範圍氣候……………174~200
 - 第一節 地面溫度
 - 第二節 全球雨量
 - 第三節 赤道槽
 - 第四節 季風
 - 第五節 信風
 - 第六節 大陸西邊的副熱帶
 - 第七節 大陸西邊的較高緯度
 - 第八節 北美的東邊
 - 第九節 中高緯度的內陸
- 第十一章 小範圍氣候……………201~225
 - 第一節 山嶺的影響
 - 第二節 水體的影響
 - 第三節 森林氣候
 - 第四節 近地層
 - 第五節 城市氣候

第四部 天氣和氣候的應用

第十二章	天氣和流域管理	227~242
第一節	水量平衡中的因子	
第二節	水份滲入地下的年變化	
第三節	降水量分析	
第四節	洪水預防	
第十三章	航空氣象	243~261
第一節	飛機起落的天氣因子	
第二節	沿途飛行障礙：積冰	
第三節	沿途飛行障礙：亂流	
第三節	飛行計劃和噴射氣流	
第五節	噴射氣流和飛彈航跡	
第十四章	設計和操作的氣象因子	262~276
第一節	天氣控制	
第二節	設計用的氣象資料分析	
第三節	可預測性	
第四節	每日天氣預報	
第五節	展期預報	
附錄一	天氣圖的閱讀	277~280
附錄二	換算表	281~285
主題索引		286~305
地名索引		306~310

第一章 大氣概述

1789年法國大革命開始前五年，在巴黎的湯姆斯·傑佛遜(Thomas Jefferson)觀察到動亂已迫在眉睫，即將爆發。發現了當時的局勢之後，皇后和廷臣們曾努力各項進步措施都歸於無效，關於1788-1789年，他有一段記載(在他的自傳中)：

“然而上蒼顯然很重視於朝廷(王后和廷臣)的各項決定。由此產生一連串事件，雖然不能壓平情勢，但却有力地顯示國家能以和平共存，改組政府，克服難關，打開自由之路。因為即使平常的勞工薪金，政府也要一天之內化費百萬里拉(livres)，這真是大眾自由呼聲下最後的一段衝刺。現在來了一個如此寒冷的冬天，在人類的記憶和歷史的記載中還從無先例。水銀柱降低到華氏冰點以下50度(列氏冰點以下22度)，所有戶外工作都被迫停止，窮人拿不到工資，當然也得不到麵包和燃料。政府發現需要無數木柴，堆在十字路口燃燒，大家都圍在那裏烤火，才能免於凍死。”

傑佛遜在這幾行文字中，有力地分析天氣怎樣對人類的影響，尤其是極端性天氣。巴黎何以會溫度降至 -18°F 。現在我們大家都知道：那一種氣流型可以使歐洲帶來極寒冷的冬天，因為自從十九世紀開始，就建立了氣象觀測網，有記錄可查。空氣不斷地從蘇俄和西伯利亞向西流出，當為1788-1789年間冬季的情況。

此種反常空氣運動的根源，也像正常情形一樣，是大氣受太陽輻射、地球旋轉、巨大冰體、山嶺等很多因子的反應。這些反應決定溫度、風、降水等變數空間和時間上的變化。大氣這門科學是物理學的一支，目的在於瞭解大氣過程。如果大氣的各種變數，整體來說，僅屬於一瞬間，此大氣的特殊狀態稱之為「天氣」(weather)。假定觀測天氣達到一段相當長的時間，表明平均年溫、年雨量、溫度和雨量的季節變化，以

及全球各部份的差異，我們就稱它為「氣候」(climate)。

本書實質上就是討論大氣過程、天氣和氣候。大多數氣象觀測，唯有針對大範圍內的氣候來說才能顯示它的意義。因此我們首先要對全球的主風系和溫度型作一概略的說明。

第一節 主環流

主要控制因子 地球和大氣從太陽上得到熱，它們輻射相等的熱量到太空。但此種熱量平衡僅能適用於整個地球來講，而並非任何特定區域。赤道區吸收的熱量超過喪失的熱量，極區則支出超過收入。但事實上，赤道區在一年之內並未逐漸增暖，兩極地區也沒有逐漸變冷。熱量從較暖區流到較冷區，這樣才保持了觀測所得的平均溫度。此種熱量交換由大氣運動來完成；而此種運動如以整個地球而論，即稱「主環流」(general circulation)。

自赤道至大約緯度 35 度(圖 1-1)，流向兩極的熱量逐漸增加。超過 35 度以後就漸次減少，因為較高緯度的每一帶內還保存一部份收入熱量。熱帶以外，巨大風暴的風系攜帶大部份的熱量交換。這些風暴主要是自西向東移行。由此形成具有反時鐘向風系的低壓中心或氣旋，後面追隨順時鐘向高壓中心或反氣旋的一種永無休止的進行。在緯度 45 度附近，移行風暴的數目達於最大，冬季平均每星期有兩次惡劣天氣時期(圖 1-2)。在氣旋的前方，南風將暖空氣帶往北方，使較高緯度得以

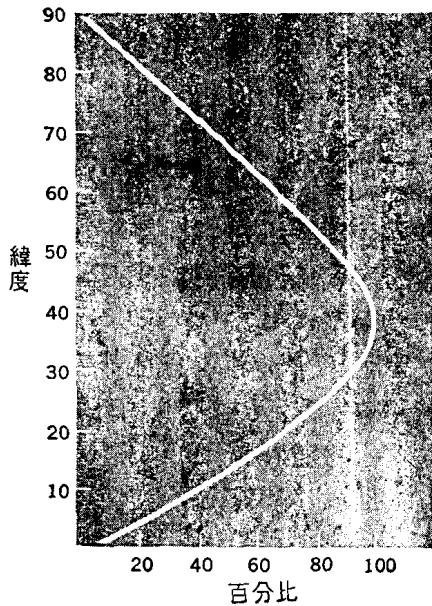


圖 1-1 熱量向極流的最大百分比

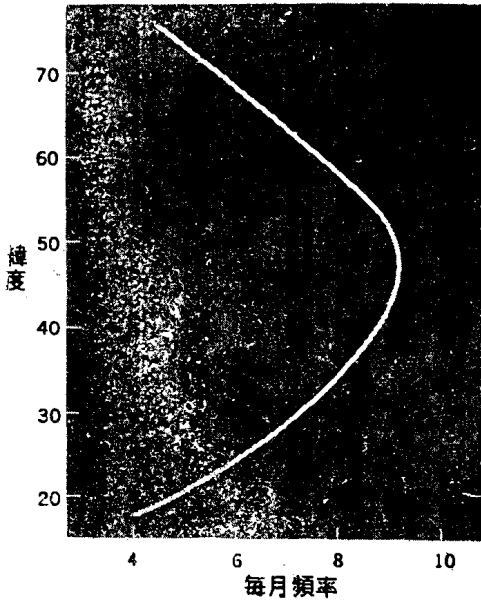


圖 1-2 北半球冬季各緯度每月移行天氣紛擾的平均頻率。自 45° 附近的巔峯向北和南，風暴數迅速低減。

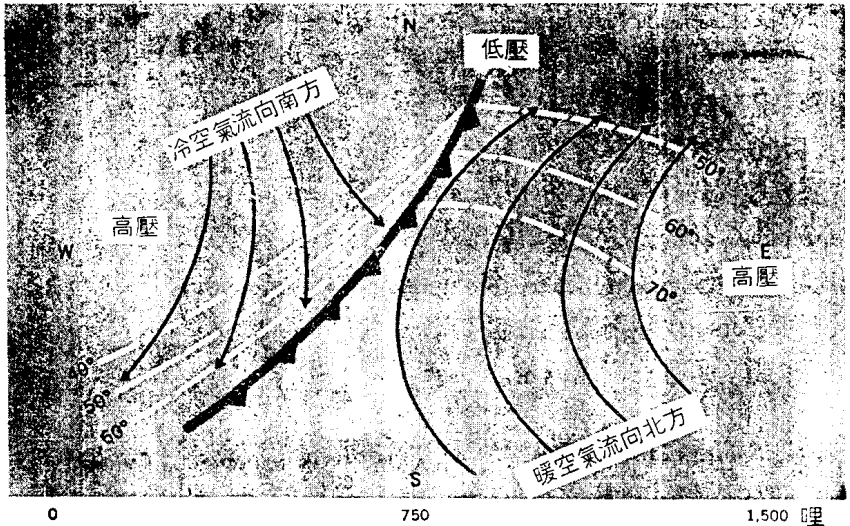


圖 1-3 冷鋒及其鄰近的流線(箭頭指風吹方向)和等溫線(虛線標示, 華氏度數), 示熱量向北輸送及風向隨緯度的改變

增暖。在南風的後面，北風將冷空氣從極區帶到熱帶(圖1-3)。像這樣大規模的冷暖空氣混合，可以調節赤道和兩極間的溫度差，以免過於懸殊。

受熱之不等，啓發南北向運動，使空氣從暖處流到冷處，但地球每24小時繞軸自轉一週，也會產生大氣的東西向運動，第六章將解釋空氣移向極方，在北半球怎樣偏向右邊(南半球偏向左邊)，這是循空氣移動方向來看，因此它的路徑彎向東方。空氣移向赤道也是偏向右方，所以說是轉向西方(圖1-3)。可見地面附近熱帶爲東風，即「信風」(trade winds)，中緯度爲西風，即「極地西風」(polar westerlies)(圖1-4)。由於地面摩擦作用的關係，使地面附近的平均風速減低。雖然這樣，南半球緯度40度至60度之間因爲缺少大陸，所以沒有強烈的摩擦拉力，該處西風稱爲「咆哮的四十度」，遠較北半球爲強。

活動中心 在一均勻的地球表面上，高低壓中心一定以相等的頻度在一條緯度上穿越所有經度。但實際上因爲有海陸和山嶺的關係，若干地區經常發現高低壓中心，它處却很少出現。因此一季中的平均氣流包含若干圓圈型式。這種中心稱爲「活動中心」(centers of action)，以其和長期平均相比較，表示天氣和平均相差多少。傑佛遜(Jefferson)曾觀測得法國1788-1789年間冬季有一極端偏差。

在氣候平均中，高緯度洋面上有一個低氣壓中心，風逆時鐘方向繞入中心；副熱帶洋面上有一個高壓中心，風順時鐘方向吹出(圖1-5)。副熱帶高壓向赤道一邊，信風有一吹向赤道

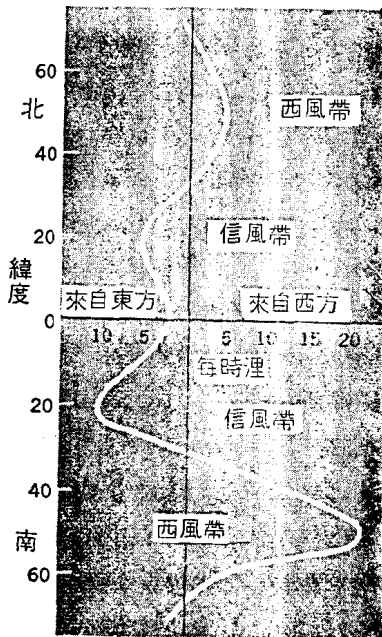


圖 1-4 地球上的主要東西向(緯流)風系

的分力，因而在北半球稱為「東北信風」(northeast trades)，赤道區有一條低壓帶或「槽」(trough)，在這裏和來自南半球的「東南信風」(south-east trades) 相遇。此槽在全年平均中位於北緯約 5 度，此緯度稱為「氣象赤道」(meteorological equator)。

沿赤道槽，兩信風氣流相遇，產生上升氣流。當空氣上升時，因為它含水汽非常豐富，所以容易凝結，結果產生全球最大雨量(圖 10-4)，第二帶壞天氣和大雨是在風暴經常經過的中緯度，在這兩個多雨地帶中

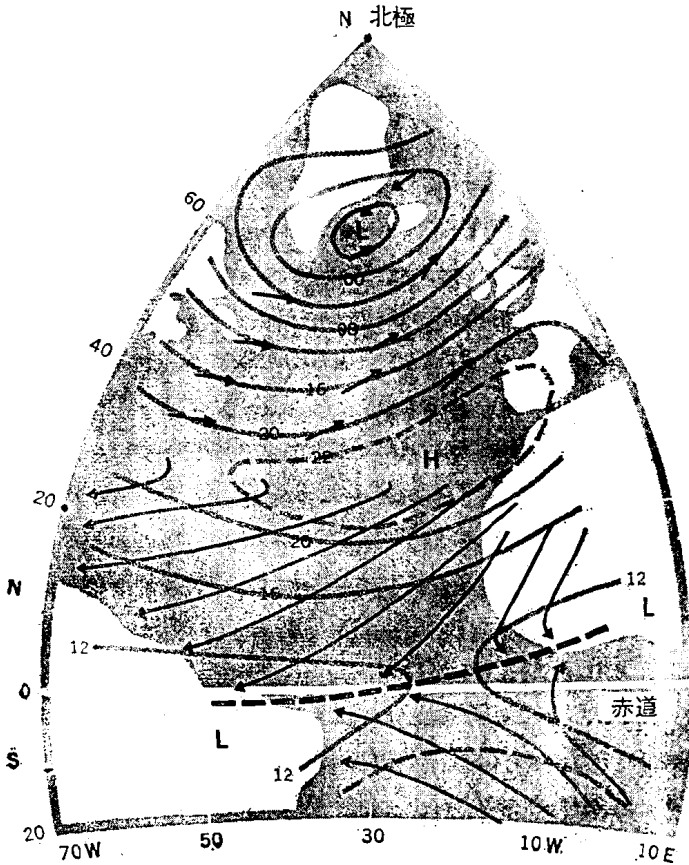


圖 1-5 北大西洋冬季的平均地面等壓線和風，表示一海洋區的主環流模式