

鋒與界面之理論與經驗 米文

P. Raethjen 原著

么枕生譯

自挪威學派極面學說成立後，予於十九年曾作文介紹（極面學說與長江流域下游之風暴，氣象研究所集刊第二號），迄今七八載，國內文獻更無隻字道及，而極面學說自成立至今，逐年進步，已非舊貌。一九三八年漢堡海洋觀象臺出版之 *Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie* 第三冊載有是文，可謂極面學說最近研究之總結果，因倩么君譯之，以補予前文之不足，並為國內談天氣者介紹焉。

呂炯附識

(一) 假設與定義

鋒 (Front) 的觀念並非由於高空經驗而來的，而是由於訂正至海平面的天氣圖中所產生的。所以這種觀念原來只是平面上的界線 (Grenzlinie)，並不是伸入高空中的界面 (Grenzfläche) 但是普通總把天氣圖上的界線就作為空中已存在的界面延長到地面上的跡線 (Spurlinie) 看待。因之倘此界面不切在地面上；甚至天氣圖上並無跡線可尋，也將名此空中之界面為鋒。

在另一方面，穩定高壓的逆增層，(Inversionfläche)，或此逆增層為已知氣團之界面，則普通不以鋒名之。

關於面 (Fläche) 什麼時候可以稱為鋒，什麼時候不可以稱鋒的問題，則對於已往的理論是不可誤解的。我們普通說：‘鋒只是在氣旋

米此文原名 *Fronten und Grenzflächen in Theorie und Erfahrung*
載 *Ann. d. Hydr. u. M. Met. Heft III, 1938*

‘Front’ 一字普通譯作「面」，但在此文中譯「面」字有困難，因為 Front 如譯「面」，則 *Frontfläche* 須譯作「面面」，而 *Frontlinie* 則須譯作「面線」，殊覺不妥，故暫擬譯「鋒」字，免此困難，非立異也。

裏面的，因在氣旋中，高空中之界面在天氣圖上常有顯明的跡線表示。但若以高空中的界面隨便名之曰鋒，則不妥殊甚。

我們普通認為這「鋒」字，不僅是地面天氣圖上的界綫，而且是三度空間內氣團的界面；若然則在高壓範圍內，即使天氣圖上並無跡線的時候，高空內的界面亦將稱之為鋒。或者僅稱天氣圖上的界綫為鋒，而在空中之界面則不名之為鋒。據作者的意見，後者的說法似乎合理些。一個已經證明的鋒線，在海平面天氣圖上為跡線而出現時，則其界面自亦可以鋒而名之。為避免誤解起見，茲述下列定義以作基礎：

(1) 界面是三度空間溫度場 (Temperaturfeld) 的或相當溫度場內的不連續面，又可分下面二項：

(a) 溫度場之界面。因為平常溫度大概是循濕絕熱降低率 (Feuchtadiabatisch) 向上減低；故此界面在濕位置溫度 (Feucht Potentiale—Temperatur) 場中最為明顯。

(b) 相當溫度之界面。除有溫度之分佈外，尚有水汽之分佈，故最明顯的不連續可在相當位置溫度場中見之。

一個溫度場之界面，不一定就是相當溫度場之界面，反之亦然。溫度場之界面，就是密度場之界面；然而相當溫度場之界面不必同時為密度場之界面。

(2) 鋒就是地面天氣圖上的界綫，牠能表示一種特點。即能表示在二度溫度場(或相當溫度場)及風場中的不連續性。

(3) 鋒面 (Frontfläche) 就是界面(據定義 1)，牠在海平面天氣圖上證明有跡綫的；而這跡綫含有定義 2 的性質的。

根據上述的定義，關於界面及鋒就可從經驗的事實來仔細考查，不必受先前的意見或理論的展示所限制。

(二) 經驗的事實

下面是經驗的結果，在今日已成為無可爭辯的事實。

(1) 鋒(照上面的定義)大都與雲雨有密切的關係。

(2) 鋒大抵發見於氣旋內，在反氣旋內很少見之。在氣旋中而沒有鋒的亦較少見；反之，鋒在反氣旋中亦是少見的，即有，其範圍亦

極受限制。

(3) 在鋒內風的突變 (Windsprung) 常是順轉的，即在很少數反氣旋內的鋒裏邊也是順轉的 (例如夏季反氣旋的地方性颶鋒 Boefronten)。鋒內逆轉的變化那是例外的情形，這種鋒在幾點鐘內即可消滅。(圖 1)

(4) 如界面之上為冷空氣，界面之下為暖空氣，則其間之面從來不十分顯著的，而其過渡層是很厚的(2—5公里)這是絕無例外的。

(5) 如界面之上為暖空氣，界面之下為冷空氣，則界面在反氣旋內比在氣旋內為顯明；就是在低壓內，過渡層厚度為半公里至三公里。而在高壓內則常為很明顯的逆增層。

(6) 在鋒的附近(最遠的至 300 公里)之鋒面，大抵成自過渡層(厚度自 $\frac{1}{2}$ 至 5 公里)而非成自明顯的面。

(三) 基礎定律

關於上述六個經驗事實在理論上的解釋是很有意義的。此處就想把六個經驗的原則歸納在一個假設中。這個假設當然以經驗的事實為根據的。假使沒有其他的事實足以說明此假設為不適用時，則這種假設自然可以成立。這假設便是：

顯明的界面發生於有向下直運動(由於萎縮作用。即下沈作用)的範圍內。相反的，鋒是垂直向上而為強有力運動的基線。

由上述假設，對於六個經驗原則逐條加以說明如下：

(1) 無須解釋。

(2) 因垂直上升運動大抵發見於氣旋內，所以鋒常在氣旋內發生。

(3) 因為鋒為垂直上升

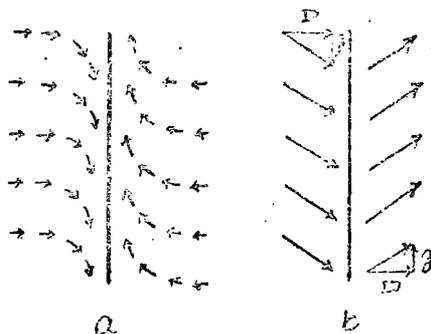


圖 1. 鋒氣流 (Frontströmung) 之產生與保持。

(a) 輻合氣流因地球自轉而發生氣旋的相反氣流 (Zyklonaler Gegenstrom)

(b) 由氣旋的相反氣流 G 及普通氣流 D 而成功氣旋的氣流突變。

運動之基綫，故牠亦爲近地面氣流場之輻合綫（Konvergenzlinie）由鋒之兩側合流之空氣，因受地球自轉的影響，故風的突變爲順轉的（圖1）。逆轉的氣流祇有在鋒爲輻散綫的時候可以成立；但在此情形下，溫度場之不連續綫消滅甚快，因其氣流爲輻散的，故溫度之區別愈吹愈遠。

（4）由於下沈及萎縮作用，僅有溫度逆增可以發生。若然，上面空氣較冷，而下面空氣較暖，則其溫度變化是不穩定的，僅僅相當位置溫度可以有此變化，這在某種情形中是穩定的。但此並非由於下沈及萎縮作用而發生的。

（5）由於第五條之原則，可知在反氣旋中常有下沈運動，而在氣旋內則爲上升運動。僅在氣旋後面之高空常有下沈運動，且此處與在氣旋前面一樣，常有溫度逆增發現。

（6）在很近鋒的地方，其界面上之垂直上升運動是很強大的，故溫度逆增亦不發現。

上述種種，皆爲天氣中熟知之事實，故作者更進一步得一結論如下：

由上所說，可知鋒與界面發生之情形根本相反。鋒發生於有垂直上升運動的地方，而顯明的界面則發生於有垂直下降運動的地方。若不將此觀念分清，就容易混淆是非。

（四）鋒之發生及其保存之因果律

由經驗已知的自然定律，可以研究其因果關係。很明顯的，在鋒裏邊其上升垂直運動與順轉氣流的變化有天然的關係的。什麼是什么原因，什麼是結果？地面上之氣流變化是無可疑義的由磨擦及混合而成功，且繼續不斷演成不可逆的能力消耗。在每種情形之下，此不可逆的能力消耗，比自由對流層大氣中垂直氣流的能力不知大好幾千萬倍。

所以地面上在鋒的兩側的氣流突變只可認爲果，而上升氣流則爲其因。鋒之消散是由於下降運動，故空氣之下沈作用爲其因，而氣流突變（在鋒的兩側）之消滅則爲其果。

然則鋒的溫度變化如何解釋？是原因，抑爲結果？我們在此不可囿於以往的先見，以溫度的差異爲各種現象之原因。吾人可先發問：

垂直運動沒有溫度的差異可以發生嗎？反之亦可先發問：如無向上垂直運動，在鋒的附近溫度的差異能否發生或保持嗎？

由空氣力學及熱力學方面講，垂直向上運動可以發生於連續的溫度場中，但是上升垂直運動必須在地面上為輻合氣流場。這個輻合氣流場可以將溫度不同的氣團集合在鋒的兩側（第一圖 a）。在這種狀況之下，地面上的輻合氣流場早已先溫度的不連續而存在。溫度的不連續僅僅在輻合氣流場已成立之後的短時間內始行成立，因此不同的氣團能在鋒的附近集合，而此種氣團在先前本相隔甚遠的。此種情形之下，鋒的氣流系統實為其因，而溫度的不連續則為結果。此處我們須知溫度之不連續含有一種熱能，此種熱能因熱的傳導而成一種繼續不斷而不可逆的損失。溫度的差別，如無向上垂直運動，則因熱之傳導，不能繼續維持。這個原則對於移動的鋒尤為適合。地面溫度之不連續絕不能視為原因。祇有一種例外，即地面上的溫度不連續成功一個不動的鋒，例如許多北美天氣圖上，在北美東岸常有此種鋒出現，有時且有誤認其為向上垂直運動的表示，因有時亦有些微的雨量也。

我們於此，必須注意者，就是垂直運動只發生於沒有強烈的流體靜力的地方。這是怎麼說呢？就是向上運動的空氣質點，在上升中，比四周的空氣質點較重時，則此垂直運動即不能發生。因此種垂直向上的運動祇可在潮濕不穩定性（Feuchtlabilität）或中性穩定時發現。但一種傾斜的上升運動，也可以在穩定的空氣層中發生，當此斜升的空氣在任何高度其密度與四周之密度相等時。

在鋒帶（Frontalzone）內，有斜升運動發生。此斜升運動產生鋒與氣旋。故鋒並不為產生氣旋之原因，更不為產生界面之原因；不過鋒帶實為斜升運動之前驅；而此運動實為鋒與氣旋共同產生之原因。

由第二節無可爭論之事實，又可得一結論如下：向上垂直或滑上運動並不是發生於已經存在之顯明界面上，而是發生在連續溫度場中，且由此垂直運動而產生鋒，及在地面上成不連續綫，不過垂直運動及不連續綫之產生，經先前已經存在之溫度梯度（鋒帶）而益為順利，但若無此溫度梯度，垂直運動及鋒亦能發生，只要有垂直不穩定性（潮濕不穩定的）存在即可，在空中很顯明的界面只可由萎縮作用發生

而此作用常發生於下沈氣團中。

(五) 舉例

(一九三五年，一月，二十五日，在 Uccle 用探空氣球所得冷鋒之高空分析)

圖2. 代表一冷鋒之垂直剖面。所可注意者，就是在天氣圖上有很顯明的冷鋒，而在高中則無氣團界面。近4公里高空的地方，其鋒面即不甚顯明，在4公里以上幾無界面可尋。但在更高處則有氣團界面，此界面並不切於地面之上。在 V, VI, VIII, IX, X 等處之高空記錄上皆有溫度逆增，其濕位置溫度突增 6° — 10° 。在H界面之下由高空記錄知為一種單純氣團，其濕位置溫度約為 26° ，其相對濕度皆甚大(80—100%)，故冷鋒 α 及其鋒面皆位於一種氣團之內。同樣H界面上之也是一種氣團，其濕位置溫度向上增加甚快。

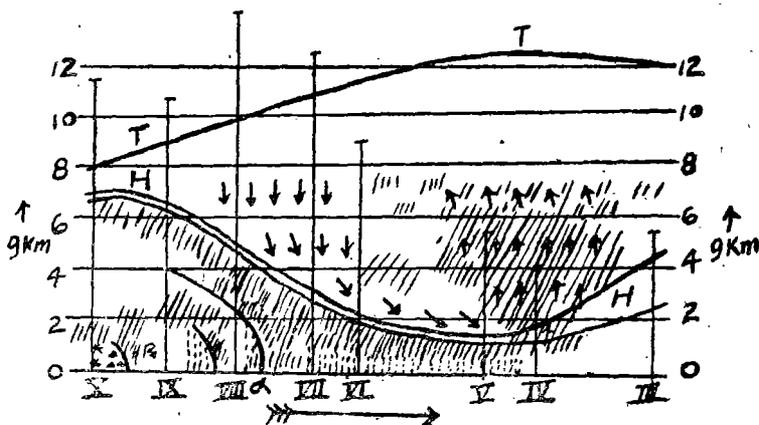


圖2. 垂直剖面：Dux Ford—Uccle—Darmstadt—München

III	München	飛機記錄	25. I. 1935	8 ^{09h}	M.E.Z.
IV	Darmstadt	,, ,, ,, ,,	,, ,, ,, ,,	8 ^{58h}	M.E.Z.
V.	Koln	,, ,, ,, ,,	,, ,, ,, ,,	8 ^{36h}	M.E.Z.
VI	Uccle	探空氣球記錄	,, ,, ,, ,,	11 ^{25h}	M.E.Z.
VII	,, ,, ,, ,, ,, ,,	,, ,, ,, ,,	,, ,, ,, ,,	13 ^{15h}	M.E.Z.
VIII	,, ,, ,, ,, ,, ,,	,, ,, ,, ,,	,, ,, ,, ,,	16 ^{15h}	M.E.Z.
IX	,, ,, ,, ,, ,, ,,	,, ,, ,, ,,	,, ,, ,, ,,	19 ^{00h}	M.E.Z.

X Uccle 探空氣球記錄 25.I 1935 21^{50h}. M.E.Z.

α 天氣圖上之冷鋒。

» 冷鋒之走向。

T 對流層之上限 (Tropopause)

H 主要界面 (濕位置溫度差數為 8° — 10°)，雙線代表逆增層之厚度。

▨ 雲。

⋮ 雨。

↑↓ 暖空氣內之垂直運動。

由VI至VIII之高空記錄，知在H界面之上是乾空氣，故成功如圖示之垂直下降運動。因為左面有下降運動 故有顯明的逆增層，右面因有上升運動故有厚的過渡層。

在α鋒之後尚有二小鋒，三者皆位於冷氣團之內。因為此冷氣團濕度甚大，有濕的不穩定性，故可發生此鋒也。

此文經呂蘊明先生介紹，譯後並承改正，謹此致謝。