

東海氣團變性實驗 (AMTEX) 之科學成就

陳泰然

Everything You want to know about AMTEX,
but were Afraid to Ask

George Tai-Jen Chen

一、簡介

氣團變性實驗 (Air Mass Transformation Experiment; AMTEX) 乃為全球大氣研究計劃 (Global Atmospheric Research Program; GARP) 之下的一個有關海洋與大氣交互作用之觀測實驗。該實驗計劃於一九七〇年四月於比利時布魯塞爾之聯合組織委員會 (Joint Organizing Committee; JOC) 會議提出, 並由一九七一年十月在加拿大多倫多舉行之 JOC 會議所接受。該實驗主要由日本之 GARP 全國委員會 (Japanese National Committee for GARP) 負責策劃、推動與執行。並成立一個指導委員會及一個執行委員會, 兩者均由本州仙台北大學之 Yamamoto 教授擔任主席, 而由東京大學之 Gambo 教授擔任執行委員會之總幹事。參與該實驗研究之國家除日本外, 另有美國、加拿大及澳大利亞等。據聞該計劃原亦擬邀請我國參與, 後因我退出聯合國氣象組織乃作罷, 實屬遺憾。

該計劃預定完成之科學目標可分四大項目 (Lenschow and Agee, 1974), 將透過觀測實驗以決定冬季寒潮爆發由中國大陸經東海及黑潮之

- (1) 動量、熱能與水汽之海平面通量分佈以及它們在地面層內向上傳送之機制。
- (2) 行星邊界層內三度空間之動力與熱力結構特性。
- (3) 積雲對流之向上傳送過程, 以重新分佈行星邊界層與自由大氣內之熱能與動量。
- (4) 中幅度和綜觀幅度擾動之發展與氣團變性時由海面上传給大氣之總能量間之關係。

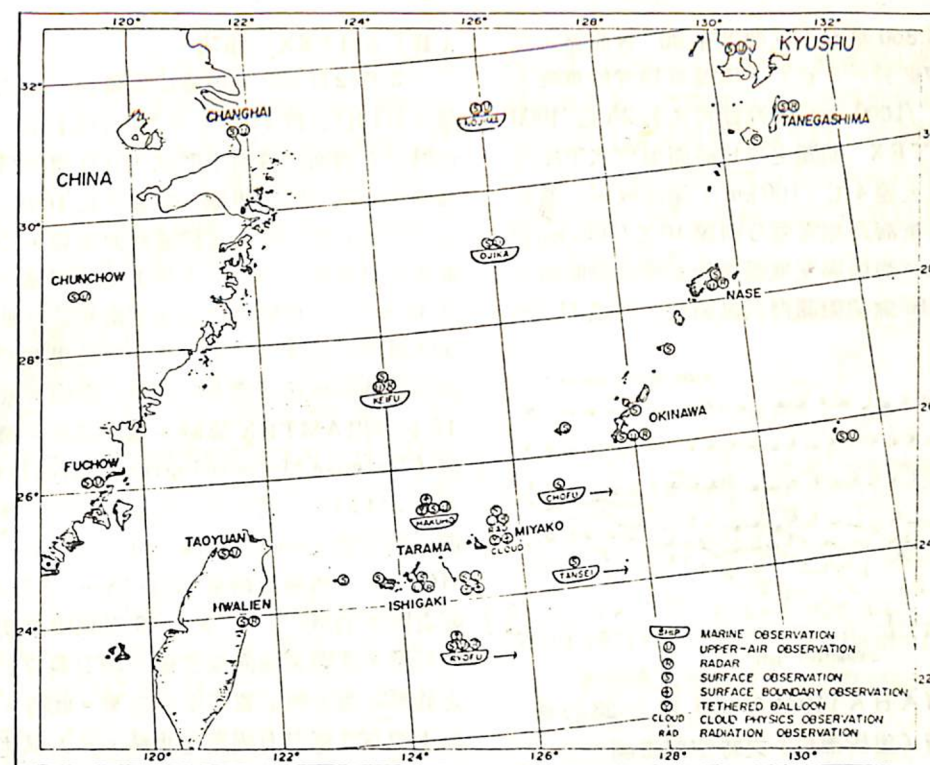
由此可見該計劃不僅有助於了解由大陸出海之氣團變性之基本過程, 亦有利於改進東海氣旋急速

發展之預報準確率, 實乃兼具基礎與實用之研究計劃。

為達成上述目標, AMTEX 曾於一九七四年二月十四日~二十八日與一九七五年二月十四日~二十八日間於東海及黑潮上之島嶼及氣象船 (圖一; Lenschow, 1972) 進行密集觀測, 茲按不同幅度現象之觀測分為五大類別如下:

- (1) 地面層: 於 Miyako 與 Tarama 島及 Hakuhō 氣象船上進行由地面至 20~30 公尺高之風、溫度、溼度及海平面通量觀測。
- (2) 行星邊界層: 於上述三測站分別以人為操縱氣球探測由地面至 500 公尺高度間每 50~100 公尺之風、溫度與溼度, 每天四至八次。並由飛機測量風及亂流通量。
- (3) 積雲: 八具雷達分別置於六個小島及二條氣象船上進行觀測, 輔以飛機及人造衛星所攝之照片以研究積雲之發展。並以飛機測量雲內風、溫度、溼度、亂流通量、含水量以及水滴分佈。
- (4) 中幅度、氣旋幅度及大幅度之擾動: 包括地面、高空及雷達觀測。每天四次, 由地面至 200 毫巴之雷文觀測於六個島及三條氣象船上執行。
- (5) 輔助觀測: 於 Miyako 及 Tarama 島上, 每天三次以氣球觀測太陽輻射、淨輻射、大氣微粒及雲內含水量, 並在 Miyako 島進行為估計熱能收支所需之輻射測量。

上述觀測及分析所得之資料報告, 已由東京大學出版社製成顯微膠片, 並由美國全國大氣研究中心 (National Center for the Atmospheric Research; NCAR) 錄入磁帶保存, 以提供研究所需 (詳見 Lenschow and Agee, 1976) 現僅將



圖一、東海氣團變性實驗 (AMTEX) 之觀測設施與測站分佈。

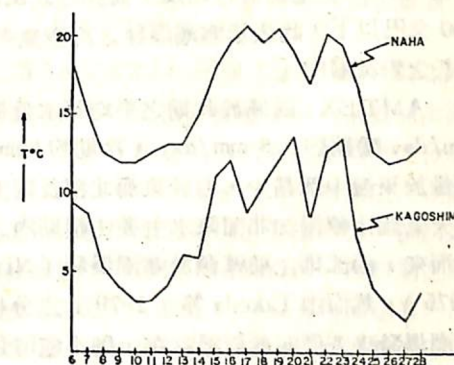
AMTEX 研究成果簡介於後。

二、天氣形勢

(A) AMTEX 1974

2月5日台灣低壓向東北移動與上海低壓在琉球羣島會合, 然後於9日在日本東方海面發展成956毫巴之強烈低壓, 導致旺盛之寒潮爆發*, 致使 AMTEX 地區於2月6-13日間經歷一次主要之寒潮。但此時 AMTEX 觀測並未開始, 失去一次研究氣團變性之良機, 且 AMTEX 亦未對台灣低壓進行觀測, 亦喪失研究中幅度與綜觀幅度系統發展與海面能量上傳關係之機會, 誠屬可惜。2月14日實驗開始, 但却盛行由東、東南或南來之迴流並伴隨暖平流, 致使14-23日間氣溫偏高, 可謂“暖期”。此期間高壓經常出現於東海, 雖於 AMTEX 地區以北之東海及黃海有週期約2~3日之中大幅度氣旋通過 (Ninomiya, 1974), 但皆未能導致 AMTEX 區之寒潮爆發, 故不利於氣團變性。23日氣旋於西北太平洋發展, 強烈冷鋒於該日通過 AMTEX 地區, 導致該區之強烈寒潮, 氣溫急速下降, 持續至28日, 可謂“冷期”。

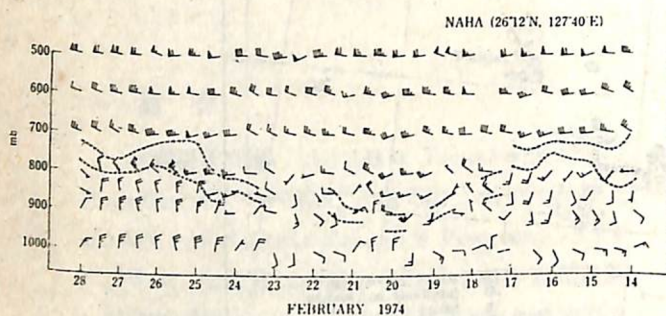
圖二為那霸 (Naha) 及鹿兒島 (Kagoshima) 2月6-28日間之地面日平均氣溫分佈 (Lenschow



圖二、那霸 (NAHA) 與鹿兒島 (KAGOSHIMA) 1974年2月6-28日之日平均氣溫逐日變化。

and Agee, 1974), 顯示寒潮爆發之影響及冷暖期之溫度變化。AMTEX 區域於暖期被變性迴流之副熱帶氣團所佔據, 鋒面區北移至黃海及朝鮮半

島，致使此區 850 毫巴上之溫度在 30°N 亦達 9°C 以上（冷期可低於 -9°C ），而溫度梯度於東海上空亦僅有 $5^{\circ}\text{C}/1000\text{ km}$ （冷期可大於 $25^{\circ}\text{C}/1000\text{ km}$ ）。AMTEX 期間之平均海面溫度水平梯度於黑潮北部最大達 $4^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$ ，南部較弱。溫度與溼度梯度於東海亦相當強分別達 $10^{\circ}\text{C}/1000\text{ km}$ 與 $5\text{ g/kg}/1000\text{ km}$ 。海面與空氣溫差於寒潮爆發時增大，例如在 Keifu 氣象船測得其差值最大可達 11°C 。



圖三、那霸 (NAHA) 1974 年 2 月 14—28 日風與逆溫層（黑影部份）之時空剖面圖。

圖三為那霸 2 月 14—28 日風與逆溫層之時空剖面圖 (Nitta, 1976)，14—16 日逆溫層出現於 800 毫巴附近，其下為南風，其上盛行西風。17—22 日間 AMTEX 區域陸續受到其北部氣旋通過之影響，800 毫巴以下之風向變化較大，逆溫層間或消失。23 日以後寒潮爆發，逆溫層再出現於 800 毫巴左右，其上仍盛行西風，而強烈北風出現於 800 毫巴以下，此表示寒潮爆發之冷空氣僅存在於很低之對流層內。

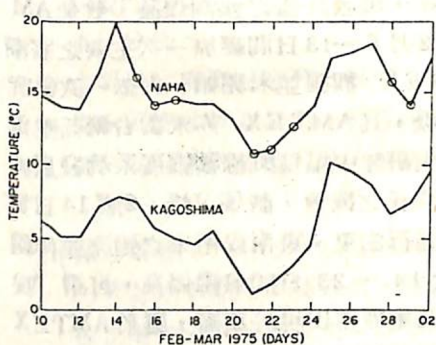
AMTEX 區域於此期之平均降水量僅約 1.8 mm/day 暖期約 0.5 mm/day ，冷期約 5 mm/day ，雨量於東海中部甚少，而於東海北部及南部較大。由天氣圖比較得知北部降水主要由暖期內之氣旋擾動而來，南部則主要導源於寒潮爆發 (Ninomiya, 1975)，然而由 Takeda 等 (1979) 之分析得知，寒潮爆發時若僅有低積雲存在，則不能導致降水，除非東海有氣旋或鋒面相伴。他們並以雷達及高空資料推得在琉球羣島南部若要超過 $0.5\text{ mm}/6\text{ hr}$ 之降水則需有低積雲及中雲並存，而形成中雲所需之水汽及冰晶核主要乃源於華南地區，並透過西風帶傳送而來。

*寒潮爆發係指在 AMTEX 區之極地氣團能產生對流性近地層並能導致中幅度胞狀對流積雲 (mesoscale cellular convection; MCC)。

(B) AMTEX 1975

2 月 12 日 500 毫巴槽由西藏高原向東移動並加深，於 13 日位於 110°E 。13 日晨 1016 毫巴低壓在台灣東方海面之鋒面上形成，此低壓於 14 日晨移至那霸北北西 300 公里處，並加深為 1004 毫巴，強烈冷鋒於該日經那霸，並伴隨鋒面飆線，Kadena 空軍基地與那霸氣象台於下午 1 時分別測得陣風 25 ms^{-1} 及 30 ms^{-1} 。低壓繼續加深並向東北移動，於 15 日 982 毫巴中心位於日本以東 900 公里海面，冷鋒向西南延伸經琉球東南 800 公里之海面。當此低壓於 15 日移出 AMTEX 區時，寒潮爆發。國防氣象衛星 (Defense Meteorological Satellite Program; DMSP) 照片顯示東海有組織完整的中幅度胞狀對流雲 (mesoscale cellular convection; MCC)，寒潮持續至 17 日，15—17 日 AMTEX 區有顯著的 MCC。18—19 日為過渡期，19 日微弱低壓，通過黃海向東移動。20 日晨位於日本東方之低壓區漸有組成氣旋中心之勢。此時，黃海及東海上空 500 毫巴有強烈之北風，最大風速達 50 m/s ，而黃海上空之正渦旋度平流使得此氣旋於 24 小時後急速發展，導致再度寒潮爆發，持續至 23 日，21—23 日 AMTEX 區有顯著的 MCC。此次寒潮並給東京帶來 20 公分降雪新紀錄。24 日晨當高壓移至日本東南時，AMTEX 區及華東一帶南風盛行，致使 25—27 日間溫度升高，是為暖期。27 日晨低壓於華東沿海 29°N 附近向東移動，於 28 日移經 AMTEX 區，導致另一寒潮。

圖四為那霸與鹿兒島 2 月 10 日—3 月 2 日之地

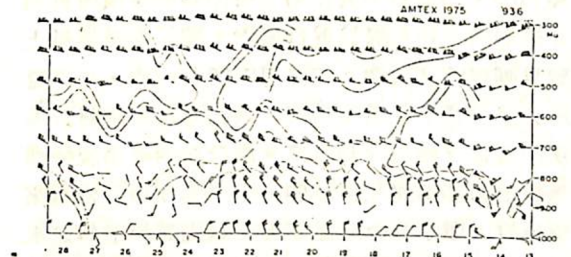


圖四、那霸 (NAHA) 與鹿兒島 (KAGOSHIMA) 1975 年 2 月 10 日—3 月 2 日之平均氣溫逐日變化。

面日平均氣溫分佈 (Lenschow and Agee, 1976)。顯示上述天氣形勢變化與氣團在 AMTEX 區之變性，以及寒潮爆發與冷暖期之溫度變化。由上述可見 AMTEX 75 與 AMTEX 74 之天氣形勢顯然不同。AMTEX 74 在一次主要寒潮接近尾聲時開始觀測，隨即進入暖期並持續 10 日左右，致使所剩觀

測時間太短僅夠一次寒潮爆發所需。然而，AMTEX 75 開始觀測時即有一寒潮爆發，因而有足夠的時間觀測繼續發生之寒潮，實為有利於冷氣團變性研究。同時，AMTEX 75 之台灣低壓於 AMTEX 區內發展為成熟之中緯度氣旋，亦提供了研究海洋與大氣交互作用與氣旋發展間關係之良好機會，AMTEX 74 則無。

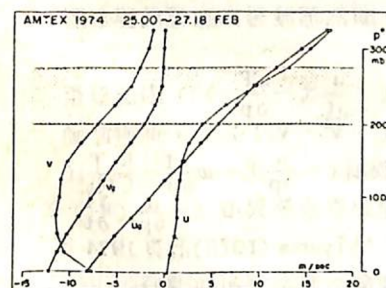
圖五為那霸 2 月 13—28 日風與逆溫層（或穩定層）之時空分佈圖 (Ninomiya, 1976 b)。15 日寒潮爆發至 23 日之冷期，逆溫層約在 800 毫巴，其下有強盛之北風，冷空氣僅限於低對流層，逆溫層亦出現於中高對流層。24—25 日逆溫層下盛行南風。25 日後之暖期，逆溫層升高至 600 毫巴左右，其上仍盛行西風，其下風向較多變化。AMTEX 區內冷期降水微弱，僅約 0.5 mm/day ，而 AMTEX 74 則有 5 mm/day 。低雲量約 6/8，雲底高在 700—800 公尺，約與 AMTEX 74 相近。



圖五、那霸 (NAHA) 1975 年 2 月 13—28 日風與逆溫層（黑影部份）（或穩定層）之時空剖面圖。

三、行星邊界層（對流混合層）之運動、熱力與動力結構

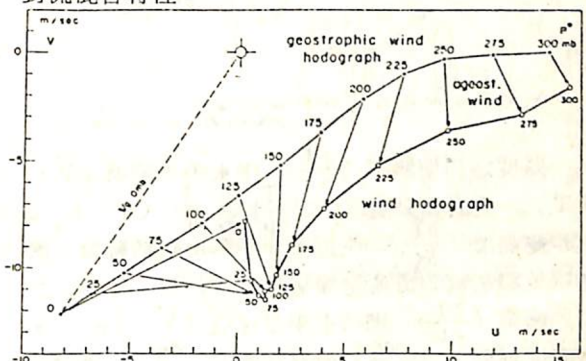
1974 年 2 月 25—27 日 AMTEX 區平均觀測風與地轉風分量垂直分佈與風變圖如圖六所示 (Ninomiya, 1976 C)。此時適值強烈寒潮爆發，故可以此代表冷期特性。地轉風之垂直變化幾成線性



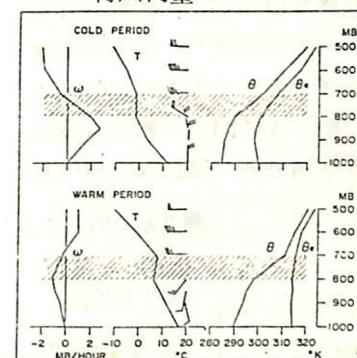
圖六a、1974 年 2 月 25—27 日 AMTEX 區平均觀測風與地轉風分量之垂直分佈。 p^* 為地面與該層之氣壓差。黑影區為逆溫層。

，強烈風切與強烈溫度梯度 ($\sim 3^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$) 一致。逆溫層以下北風盛行且垂直分佈十分均勻，顯示對流混合之特性，東西風速幾接近於零。非地轉

風向量（箭頭所示）在混合層底層 125 毫巴內由高壓吹向低壓，此跨越等壓線氣流於地面達最大。850 毫巴上氣流與等高線平行，但為超地轉風。850—700 毫巴間氣流由低壓吹向高壓，顯示混合層與逆溫層內能量轉換之垂直差異以及動量之垂直對流混合特性。

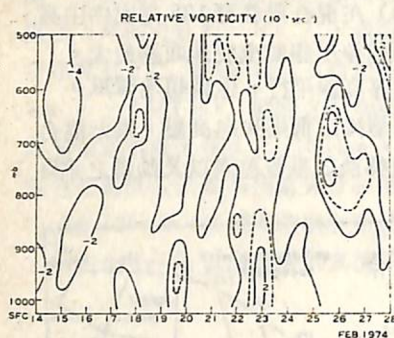


圖六b、1974 年 2 月 25—27 日 AMTEX 區平均觀測風與地轉風之垂直風變圖。箭頭為非地轉風向量。



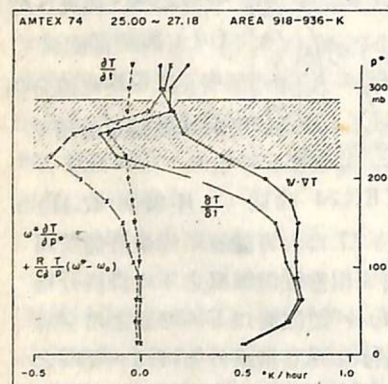
圖七、1974 年 2 月 14—17 日（暖期）與 24—27 日（冷期）AMTEX 區之平均垂直速度與那霸之風、溫度、位溫 (θ) 與相當位溫 (θ_e) 之平均垂直分佈。斜線區為逆溫層。

圖七為 AMTEX 74 冷期 (2 月 24—27 日) 與暖期 (2 月 14—17 日) 實驗區平均垂直速度與那霸之溫度、位溫、相當位溫與風之平均垂直分佈 (Ninomiya, 1974)。逆溫層以下，冷期之冷空氣呈現下沈運動，盛行北風且垂直分佈均勻。暖期之暖空氣呈較弱之上升運動，南風盛行。冷暖期之相當位溫垂直分佈均勻，表示此層具有強烈垂直對流混合，此點與上述風速分佈一致，故逆溫層以下之行星邊界層亦可謂對流混合層。圖八為 1974 年 2 月 14—28 日 AMTEX 區之平均相對渦旋度時空剖面圖 (Nitta, 1976)。混合層內不論冷暖期皆盛行負渦旋度，僅在 17、19 及 22—25 日有鋒面系統通過時轉為正渦旋度。AMTEX 75 所觀測之冷暖期混合層之運動結構特性亦和上述 AMTEX 74 者相近 (例如：Ninomiya, 1976 b; 1977; Sheu and Smith, 1977)。

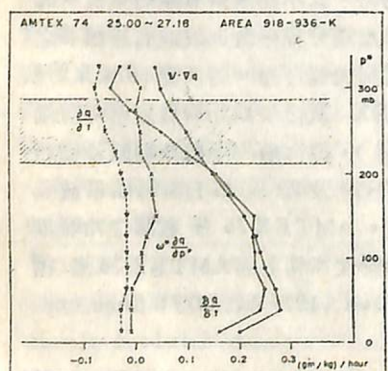


圖八、1974年2月
14—28日AMTEX
區之平均相對渦旋度
(10^{-5} s^{-1}) 時空
剖面圖。

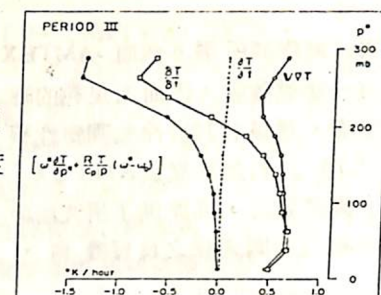
溫度之局地變率 ($\frac{\partial T}{\partial t}$) 由水平平流項 ($\vec{V} \cdot \nabla T$)，垂直運動項 ($-\omega \frac{\partial T}{\partial p} + \frac{R}{C_p} \frac{T}{p} (\omega - \omega_0)$) 與非絕熱項 ($\frac{\partial T}{\partial t}$) 決定。非絕熱項包括輻射，潛熱釋放與積雲對流傳送等過程。水汽量 (比溼) 之局地變率 ($\frac{\partial q}{\partial t}$) 則由水平平流項 ($\vec{V} \cdot \nabla q$)，垂直運動項 ($-\omega \frac{\partial q}{\partial p}$) 與來源項 ($\frac{\partial q}{\partial t}$) 決定。來源項包括積雲對流傳送與凝結蒸發過程。Ninomiya and Akiyama (1976) 與 Ninomiya (1977) 利用探空資料計算上述各項，而以非絕熱項及來源項為剩餘項平衡方程，所採用之二次強烈寒潮爆發個案，結果如圖九與圖十所示。圖九為1974年2月25—27日 (第一期) AMTEX 區溫度與水汽收支方程各項之垂直平均分佈。顯示混合層內有



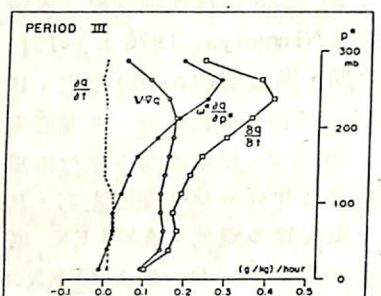
圖九a、1974年2月
25—27日AMTEX區
溫度變化收支
方程式各項之
平均垂直分佈。
 p^* 為地面與
該層氣壓差。斜
線區為逆溫層。



圖九b、1974年2月
25—27日AMTEX區
之比溼變化收支
方程式各項之
平均垂直分佈。
 p^* 為地面與該層
氣壓差。斜線區
為逆溫層。



圖十a、同圖九a
，但為1975年2月
20—23日者。

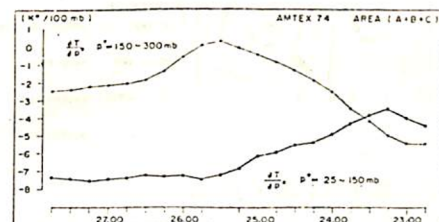


圖十b、同圖九b
，但為1975年2月
20—23日者。

強烈冷平流，但局部溫度變化微弱，垂直運動項之貢獻亦小，因而冷平流作用幾皆由非絕熱項所抵消。非絕熱項主要局限於混合層內，顯示海洋能量上傳對氣團變性之重要。逆溫層內情形迥異，冷平流作用大部分為下沈增溫抵消，其底層之非絕熱降溫顯係由雲頂之輻射冷卻而來。混合層內乾平流強烈，垂直項與局部變化項微弱，乾平流作用幾皆為來源項抵消，顯示混合層之乾冷空氣由海洋上傳之水汽與熱量而變性。逆溫層以上情況截然不同，局部水汽減少主要導源於乾平流。圖十所示1975年2月20—23日 (第二期) 混合層內之結果與上述第一期者相近，唯混合層頂與逆溫層之非絕熱冷卻與水汽來源項甚大，此點與圖九所示者顯然不同，且該處總熱能來源 ($\partial(T + L \cdot C_p q) / \partial t$) 值甚小，顯示該處之冷卻與水汽來源係由蒸發而來。此點與前述該期雨量稀少 (非降水性雲) 及強烈下沈運動一致。第一期降水較多，下沈氣流較弱，故蒸發冷卻現象不顯。如此，逆溫層內空氣下沈，雲頂蒸發冷卻變性成混合層大氣，顯然蒸發層亦應視為混合層。

局部穩定度變率 ($\frac{\partial}{\partial t} (-\frac{\partial T}{\partial p})$) 由溫度平流垂直差異項 ($-\frac{\partial}{\partial p} (-\vec{V} \cdot \nabla T)$)，垂直運動絕熱溫度改變之垂直差異項 ($-\frac{\partial}{\partial p} [-\omega \frac{\partial T}{\partial p} - \frac{R}{C_p} \frac{T}{p} (\omega - \omega_0)]$) 以及非絕熱垂直差異項 ($-\frac{\partial}{\partial p} (\frac{\partial T}{\partial t})$) 決定。Ninomiya and Akiyama (1976) 計算1974年2月23—27日寒潮爆發之混合層與逆溫層內上述各項數值，非絕熱項以剩餘項處理以平衡方程式。23—24日混合層頂逐漸上升，其下具有上升運動，稱為發展期。25—27日混合層頂位於800毫巴

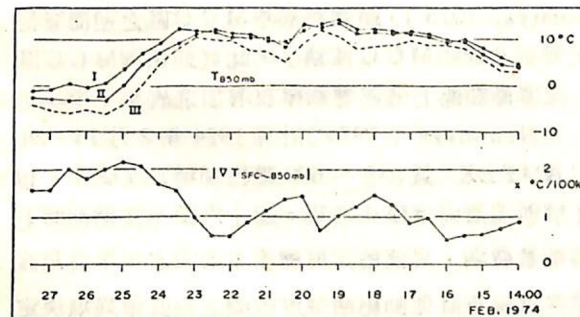
，並呈穩定狀態，其下具下降運動，稱為準平衡期。計算結果顯示，於發展期溫度平流差異項具最大正值 ($4.2^\circ \text{K}/100 \text{ mb}/\text{day}$)，增加穩定度。垂直運動差異項具最大負值 ($-3.7^\circ \text{K}/100 \text{ mb}/\text{day}$)，減少穩定度。兩者幾乎互相抵消。非絕熱差異項 ($-1.7^\circ \text{K}/100 \text{ mb}/\text{day}$) 亦減少穩定度，致使該期混合層內之穩定度迅速減小如圖十一所示。逆溫層內變化迥異，將於下節討論。



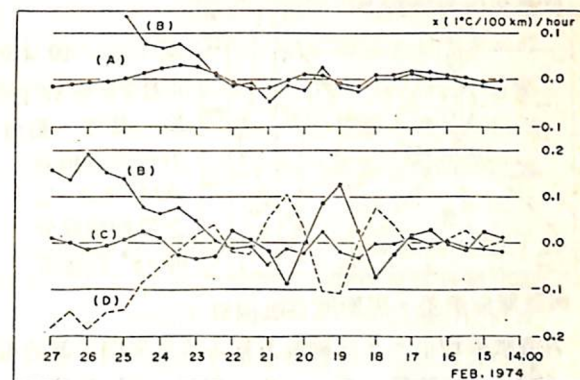
圖十一、1974年
2月23—27日
AMTEX區混合
層下層 ($p^* = 25$
—150 mb)
與其上層和

逆溫層 ($p^* = 150 - 300 \text{ mb}$) 之穩定度變化。
 p^* 為地面與該層氣壓差。

Ninomiya (1976 a) 分析1974年2月14—27日AMTEX區之局部水平溫度梯度變率及導致變率之各項數值，非絕熱項仍以剩餘項處理以平衡方程式。圖十二為地面至850毫巴間各項數值與溫度梯度以及850毫巴之溫度變化。14—23日為暖期，溫度梯度較小，2—3日之梯度變化乃由前節所述AMTEX區以北之大幅度系統通過之影響而來。23—24日寒潮爆發初期，溫度急降，梯度急增，強烈梯度 ($\sim 2^\circ \text{C}/100 \text{ km}$) 維持至寒潮後期 (25—27日)。計算結果顯示，暖期之水平平流差異項為控制局部溫度梯度變率之主要過程，但在寒潮爆發之後情形有些不同。寒潮爆發初期雖然水平平流差異項急速上升，但局部梯度僅增加少許 ($0.024^\circ \text{C}/100 \text{ km}/\text{hr}$)，垂直運動水平差異項之



圖十二a、1974年2月14—27日AMTEX區850
毫巴溫度與地面~850毫巴間平均溫度梯
度。I, II, III分別代表AMTEX區之
南、東、北區。



圖十二b、1974年2月14—27日AMTEX區水平
溫度變率方程式各項逐日變化圖。A為局
部梯度變率項，B為水平平流差異項，C
為垂直運動水平差異項，D為非絕熱水平
差異項。

貢獻亦小 ($-0.006^\circ \text{C}/100 \text{ km}/\text{hr}$)，水平平流差異項幾皆為非絕熱水平差異項所抵消，再度顯示寒潮經暖洋面之急遽變性。寒潮爆發初期，海洋與大氣溫差較小，所以水平平流差異項 ($0.066^\circ \text{C}/100 \text{ km}/\text{hr}$) 較非絕熱水平差異項 ($-0.036^\circ \text{C}/100 \text{ km}/\text{hr}$) 為大。後期海洋與大氣溫差加大，情況相反，遂使非絕熱項大於水平項而導致局部溫度梯度之減小。總之，寒潮爆發時垂直運動水平差異項對於局部水平溫度梯度變率貢獻並不重要，而水平平流差異項與非絕熱水平差異項乃為決定局部水平溫度梯度最重要過程。非絕熱項內之水平輻射差異項很小，且由地面降水觀測知AMTEX區於寒潮時之降水南區大於北區，其對非絕熱項之貢獻為正值，因而非絕熱水平差異項乃由海面可感熱供應之水平差異而來。故，非絕熱水平差異項於寒潮後期之大負值 ($-0.166^\circ \text{C}/100 \text{ km}/\text{hr}$) 乃因AMTEX北區海洋與大氣溫差急速增大所致。

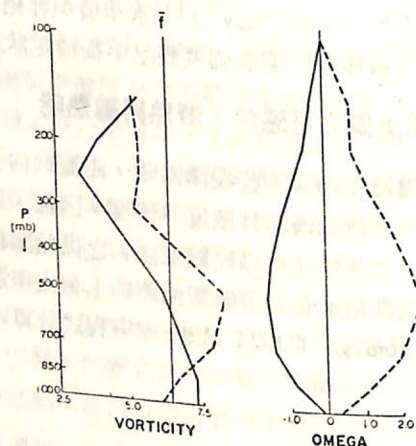
Ninomiya (1976 c) 利用 x —與 y —動量方程計算各項在1974年2月25—27日，1975年2月15—16日與20—23日等三次寒潮爆發之AMTEX區平均值。摩擦項 ($-g \frac{\partial u}{\partial p}$; $-g \frac{\partial v}{\partial p}$) 以剩餘項處理以平衡方程式。圖十三為1974年2月25—27日各項之垂直分佈。混合層內 y 軸幾與盛行風 ($\sim 355^\circ$) 平行， x 軸幾與盛行風垂直。 y —動量方程各項結果顯示，加速度 ($\frac{dv}{dt} > 0$) 很小 ($\sim 0.5 \times 10^{-4} \text{ m s}^{-2}$)，氣壓梯度力大於柯氏力，即 $-f(u - u_g) < 0$ ，同時摩擦力 ($-g \frac{\partial v}{\partial p}$) 為大正值與前項平衡。混合層底摩擦甚大 ($6 \times 10^{-4} \text{ m s}^{-2}$)，表示有強烈次網格運動導致南風動量垂直輻合 (北風動量垂直輻散)，混合層上層

表一, AMTEX 74, 75 各研究者對可感熱、潛熱由海面上傳之估計以及總熱能及伯因比 (Bowen ratio)。單位為 ly/day 。

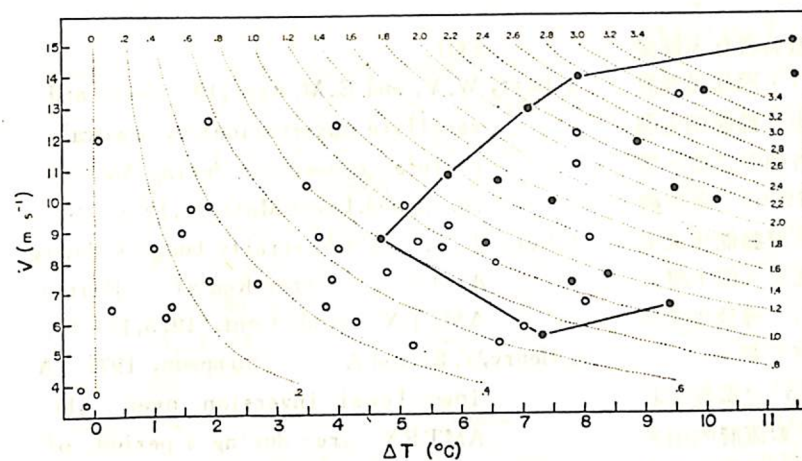
	可感熱	潛熱	總熱能	伯因比
(1) AMTEX 74, 2月14—28日				
Ninomiya (1975)	255	260	515	1
Nitta (1976)	87	522	609	0.17
Agee and Howley (1977)	171	472	643	0.36
Kondo (1976)	154	433	587	0.36
暖期				
Ninomiya (1975), 14—17日	161	30	190	5.4
Nitta (1976), 14—16日	—	—	430	—
Agee and Howley (1977), 14—23日	49	182	231	0.27
Henry and Thompson (1978), 15—17日	70	320	390	0.22
冷期				
Ninomiya (1975), 24—27日	—	—	—	—
AMTEX 北區	611	314	925	1.95
AMTEX 南區	591	575	1166	1.03
Ninomiya (1977), 25—27日	384	864	1248	0.44
Nitta (1976), 24—28日	—	—	1200	—
Agee and Howley (1977), 23—28日	485	1099	1584	0.44
(2) AMTEX 75, 2月14—28日				
Murty (1976)	383	490	873	0.79
Kondo (1976)	217	647	864	0.34
冷期				
Ninomiya (1977)	—	—	—	—
2月15—16日	312	600	912	0.52
2月20—23日	504	1008	1512	0.5

六、AMTEX 75 之中幅度胞狀對流雲 (MCC)

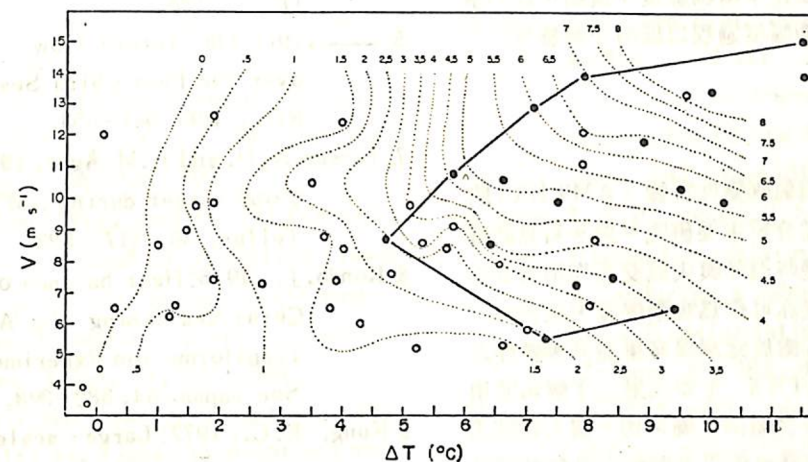
Sheu and Smith (1977a) 分析 2月13—16日 AMTEX 區旋生及隨後寒潮爆發產生 MCC 之運動結構, 發現寒潮爆發後產生 MCC 之大範圍環境具有下沈運動, 且低對流層內之垂直渦旋度梯度由原來之負值轉為正值 (圖十九)。同時, Sheu and Agee (1977) 計算 MCC 期之水平輻散, 渦旋度、垂直速度與海面上傳熱能, 雖未能找出這些參數在開放胞與封閉胞之顯著差異, 但發現產生 MCC 之必要條件 (圖二十), 需海面與空氣溫差超過 5°C , 地面風速大於 5ms^{-1} , 以及海面可感熱與總熱能上傳各為 70Wm^{-2} ; (145ly/day) 及 200Wm^{-2} (410ly/day) 以上。開放胞與封閉胞在寒潮爆發總能量上傳強烈 (1200Wm^{-2} ; 2470ly/day) 或微弱時 (200Wm^{-2} ; 410ly/day) 均可發生。



圖十九、1975年2月13—16日 AMTEX 區 MCC (虛線) 與無 MCC (實線) 之相對渦旋度 (10^{-5}s^{-1}) 與垂直速度 (μbs^{-1}) 平均垂直分佈。



圖二十a、AMTEX 75 海面上傳可感熱 (點線, 100Wm^{-2}) 與海面風速 (V), 海面與大氣溫差 (ΔT) 之關係。黑點表示有 MCC, 小圈表示無 MCC 時之可感熱值。



圖二十b、同圖二十a, 但為上傳總能量。

Agee and Lomax (1978) 觀測 MCC 並計算混合層厚度變化, 發現開放胞發生時之混合層較薄 (1529 公尺), 封閉胞則較厚 (2066 公尺), 此種觀測與計算結果為一致。此乃因逆溫層附近大幅度下沈運動於放開放胞區 ($3.6\mu\text{bs}^{-1}$) 大於封閉胞區 ($2.5\mu\text{bs}^{-1}$) (Sheu and Agee, 1977), 以及逆溫層之空氣與封閉胞雲頂空氣之逸入混合較與開放胞者為大之故。此外, 雲頂潛熱釋放對逸入混合之作用及雲頂輻射冷卻亦均有利於使封閉胞之混合層厚度較開放胞者為大。他們並發現在 MCC 區域之混合層位溫分佈為接近地面超絕熱, 雲下層絕熱及雲內溼絕熱。開放胞之逆溫層底與層頂在雲區 (外圍) 較無雲區 (中心) 為高。Burt and Agee (1977) 利用漂浮測站上觀測之太陽輻射與風速, 分析獲得封閉胞雲下由對流引發之地面水平風速約為 0.6ms^{-1} , 即空氣以 0.6ms^{-1} 速度由周圍向封閉胞中心輻合, 並再度證實產生 MCC 之海面與空氣溫差之臨界值為 5°C 。此外, 並求得封閉胞之直徑約為 28 公里。此和人造衛星雲圖顯示者相近。Sekihara 等 (1978) 由衛星雲圖估計胞雲

直徑由大陸沿海之 10 公里向 AMTEX 區增加至 $20\sim 30$ 公里。有趣的現象之一為寒潮爆發產生 MCC 時, 朝鮮半島南端濟州島之背風面有顯著之渦流雲街 (vortex cloud street)。Jensen and Agee (1978) 利用 DMSP 資料估計渦流雲直徑約 20 公里, 間隔約 90 公里, 每三小時產生一個渦流雲, 這些觀測均與理論推測值一致。

七、動能與渦旋度收支

Kung (1977) 分析 AMTEX 74 與 75 之動能收支, 發現寒潮爆發時中高對流層之動能產生與消散要比陸地上氣旋者大數倍, 同時大量動能由高對流層下傳至中低對流層。因此, 我們可視冬季風為北半球冬季大氣環流系統強烈能量轉換之一部份, 而寒潮爆發之動能來源係在中高對流層。Sheu and Smith (1977b) 計算 1975 年 2 月 13—16 日之動能收支發現在 MCC 時混合層內之動能產生和消散遠比非 MCC 時為強。MCC 時有大量動能下傳至邊界層內。整個大氣 (地面— 100 毫巴) 之動能收支顯示非 MCC 與 MCC 期之動能產生相近,

各為 116.4 Wm^{-2} 與 108.7 Wm^{-2} 。但前者有大量動能由該區往外輻散 (-91.7 Wm^{-2})，因此動能消散較小 (-21.0 Wm^{-2})。後者產生之動能則主要於當地消散 (-116.1 Wm^{-2})，往外輻散之動能微弱 (-3.0 Wm^{-2})。Ninomiya (1976c) 更詳細地分析混合層內之動能收支，發現下層動能生成項與消散項幾呈平衡，以維持穩定之北風。但上層之非地轉風由低壓吹向高壓 (參見圖六) 導致生成項為負值，故動能主要由水平輻合項來平衡。

Fein (1975) 計算 AMTEX75 之渦旋度收支，每天與全期之平均結果均顯示低對流層內由水平輻合產生之正渦旋度主要由剩餘項來平衡，但此剩餘項在高層則主要在平衡渦旋度平流項，此乃表示高層必須有次綜觀幅度過程以抵消正渦旋度之平流。

八、結語

本文除描述東海氣團變性實驗 (AMTEX) 期間之天氣形勢外，並介紹主要研究成果。可見該實驗研究除對寒潮爆發時海洋與大氣交互作用增加基本了解外，所得結果亦可作為寒潮爆發天氣預報之參考運用。台灣地區處於寒潮爆發東海氣團變性之下風區，因此，AMTEX 主要成果之了解與運用和台灣地區天氣預報之關係實屬密切。個人希望本文之成果簡介，能引發氣象界有興趣之同仁共同針對寒潮爆發，氣團變性與台灣地區之天氣現象進行基本與實用研究。

(作者通訊：台灣大學大氣科學系)

致謝

本文為作者於美國海軍研究院結束一年進修研究工作返國前所作，特別感謝國科會對本人出國進修研究之支助。

參考文獻

1. Agee, E.M. and R.P. Howley, 1977: Latent and sensible heat flux calculations at the air-sea interface during AMTEX 74. *J. Appl. Meteor.*, 16, 443-447.
2. —, and F.E. Lomax, 1978: Structure of the mixed layer and inversion layer associated with patterns of mesoscale cellular convection during AMTEX 75. *J. Atmos. Sci.*, 35, 2281-2301.
3. Burt, W.V. and E.M. Agee, 1977: Buoy and satellite observations of mesoscale cellular convection during AMTEX 75. *Bound. Layer Meteor.*, 12, 3-24.
4. Fein, J.S., 1975: Vorticity budgets during AMTEX. *Science Rep of Fourth AMTEX Study Conf.* 1975, 16-19.
5. Henry, W.K. and A.H. Thompson, 1977: A low-level inversion over the AMTEX area during a period of return flow. *Mon. Wea. Rev.*, 105, 1193-1198.
6. —, 1978: On "return flow" in winter over the East China Sea. *Mon. Wea. Rev.*, 106, 947-953.
7. Jensen, N.O. and E.M. Agee, 1978: Vortex cloud street during AMTEX 75. *Tellus*, 30, 517-523.
8. Kondo, J., 1976: Heat balance of the East China Sea during the Air Mass Transformation Experiment. *J. Meteor. Soc. Japan*, 54, 382-398.
9. Kung, E.C., 1977: Large-scale energy transformations in the intense winter monsoon over the Kuroshio region. *J. Meteor. Soc. Japan*, 55, 498-510.
10. Lenschow, D.H., 1972: The Air Mass Transformation Experiment (AMTEX). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 53, 353-357.
11. —, and E.M. Agee, 1974: The Air Mass Transformation Experiment (AMTEX): Preliminary results from 1974 and plans for 1975. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 55, 1228-1235.
12. —, and E.M. Agee, 1976: Preliminary results from the Air Mass Transformation Experiment (AMTEX). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 57, 1346-1355.
13. Murty, L.K., 1976: Heat and moisture budgets over AMTEX area during AMTEX '75. *J. Meteor. Soc. Japan*, 54, 370-381.

14. Ninomiya, K., 1974: Note on synoptic situation and heat energy budget during the AMTEX '74. *J. Meteor. Soc. Japan*, 52, 452-455.
15. —, 1975: Large-scale aspects of air-mass transformation over the East China Sea during AMTEX '74. *J. Meteor. Soc. Japan*, 53, 285-303.
16. —, 1976a: Variation of horizontal thermal gradient in the lower troposphere over Kuroshio region during AMTEX '74. *J. Meteor. Soc. Japan*, 54, 72-75.
17. —, 1976b: Note on synoptic situation of AMTEX '75. *J. Meteor. Soc. Japan*, 54, 334-337.
18. —, 1976c: Wind profile and kinetic energy budget in the Mixed layer of polar air-mass transformed over Kuroshio region. *J. Meteor. Soc. Japan*, 54, 361-369.
19. —, 1977: Heat energy budget of the polar air-mass transformed over Kuroshio region under the situation of strong subsidence. *J. Meteor. Soc. Japan*, 55, 431-441.
20. —, and T. Akiyama, 1976: Structure and heat energy budget of mixed layer capped by inversion during the period of polar outbreak over Kuroshio region. *J. Meteor. Soc. Japan*, 54, 160-174.
21. Nitta, T., 1976: Large-scale heat and moisture budgets during the Air Mass Transformation Experiment. *J. Meteor. Soc. Japan*, 54, 1-14.
22. Saito, N., 1975: A synoptic study of the inversion during the AMTEX '74. *Papers Meteor. Geophys.*, 26, 121-147.
23. Sekihara, K., Y. Suzuki, and K. Murai, 1978: On the formation of convective cloud cells during cold air outbreaks in AMTEX '75. *Papers Meteor. Geophys.*, 29, 65-73.
24. Sheu, P.J., and E.M. Agee, 1977: Kinematic analysis and air-sea heat flux associated with mesoscale cellular convection during AMTEX 75. *J. Atmos. Sci.*, 34, 793-801.
25. Sheu, Y.T.P., and P.J. Smith, 1977a: Kinematic analyses over eastern Asia during a subperiod of the Air Mass Transformation Experiment 1975. *Tellus*, 29, 393-401.
26. —, 1977b: Kinetic energy budget analyses during subperiod of the Air Mass Transformation Experiment 1975. *Mon. Wea. Rev.*, 105, 1501-1507.
27. Takeda, T., K. Isona, Y. Ishizaka, Y. Iwasaka, M. Wada, and Y. Fujiyoshi, 1979: Observational study of precipitation around the Southwest Islands during AMTEX periods in 1974 and 1975. *J. Meteor. Soc. Japan*, 57, 52-63.