

研究高空放射塵及大氣污染長期變化 對氣象因素之關係

戴 運 軌 · 呂 世 宗 · 陳 福 來 · 謝 霖

A Study on the Relationship Between Meteorological Factors and Long Term Changes of Air Pollution and Radioactivity Contained in Upper Air

Yuin-kwei Tai, Shih-chong Lu., Fu-lai Chen, Lin Shieh

Abstract

In the view of large scale contamination, the radioactive fallout in upper air is transported by middle latitude westerlies and north-east monsoon. The half residence times of radioactive fall-out in stratosphere and tropopause are different, the former has approximately 4-8 months, the later has 20 days. This fact is proved by the experiment of carbon-14 concentration.

By the analysis of air pollution concentration and meteorological factors, it could be discovered that the atmospheric temperature is effected by air pollution, the higher concentration of air pollution, the higher raising the atmospheric temperature.

一、前 言

近年來為推展原子科學之研究，各國不斷的進行核子試爆，在初期未瞭解放射性微塵之危害，各項實驗多在地上舉行，後來測得環境污染之嚴重，實驗工作即移到高空地區，此種措施其目的在於將放射性微塵排放於高空，但此種想法亦受到甚為嚴重之考證，並且顯示出過去氣象學的理論非常薄弱，許多理論應加以修正，尤其是大氣環流與高空氣象上之各項假設。

原子科學學者為保持人類環境的清潔，不斷的研究放射性廢棄物之處理，亦即廢棄物之適當儲存處，他們認為大海與高空為良好之儲存場所，但此兩預定儲存處，似不太可靠與安全，因人類之食物要逐漸依賴於海洋，因此大海之污染即可縮短人類的壽命，所以環境之清潔與否，與人類生活息息相關。

於初期之原子科學學者認為高空的微塵，可長期

的飄游於高空中，尤其是在平流層以上高空者，更可保持其滯留時間，此種構想均依據過去之氣象理論，因當時對平流層以上的垂直移流並無充分的瞭解。幾年來的實驗研究，已證實高空氣層的對流現象，比過去所瞭解之速度為快，就是說在高空飄游的微塵，可甚快的（比原來計算為快）降落於地面，以致污染人類的生活環境。

空氣污染之原因，以發生源可分為二大類，即人工與天然，由位置上可分為普遍性與局部性，普遍性污染與大氣環流有關，而局部性污染則與擴散現象有密切的關係。

本文為本研究計劃之一部分，於文中報告污染微塵侵臺之路徑，並預測可能被污染之地區，同時檢討高空放射性微塵含量之蛻變情形，最後討論臺北市污染特性與各氣象因素之關係。

* 本著作之完成得行政院國家科學委員會之補助。

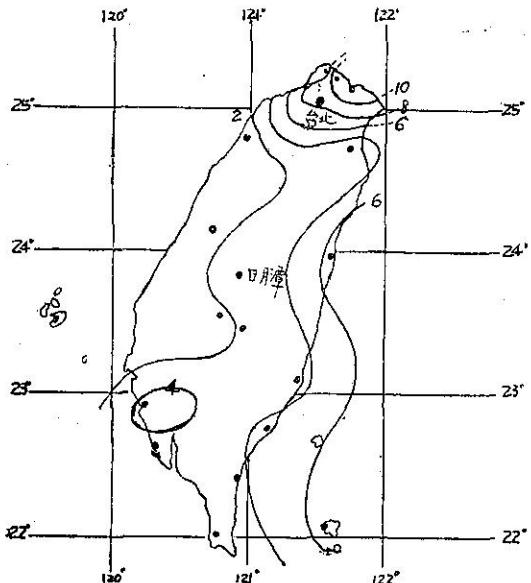
二、季風對臺灣地區大規模污染之影響

冬季東北季風易帶來寒冷多雨之天氣，因受地形影響，臺灣北部天氣之變化最甚。

夏季東南季風因南方氣流旺盛而增強，對臺灣地區易帶來高溫多濕的天氣，而對臺灣南部之影響為最。

此兩季風各適逢臺灣南北地區之收穫時期，不僅因對本島之經濟發展影響甚大，而且對本省大規模空氣污染亦有不可忽視的影響。

筆者將十幾年來之放射性降落物資料加以分析時，發現這些落塵積量在臺灣地區，顯出一種典型的分布（圖 1a-1f），即於冬季臺灣北部污染較高，夏



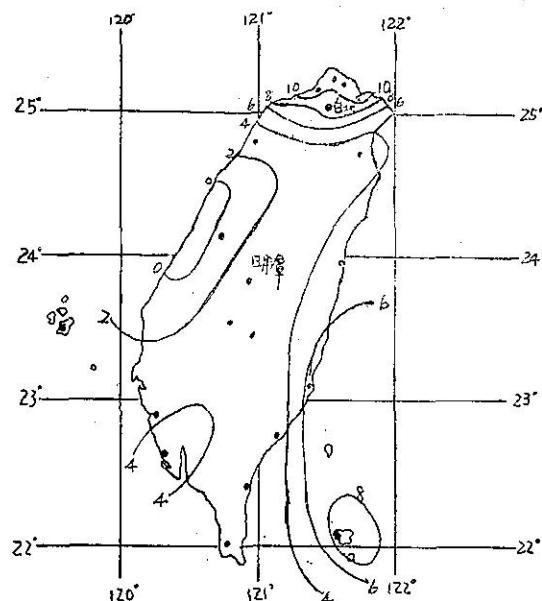
放射性月變化 (二月)
Monthly variation of radioactivity in
Taiwan. (Feb.)

Fig. 1 a

季南方氣流旺盛，臺灣東南部之污染較為增加，此種大規模的，即以各國所舉行的核子試爆所產生之微塵為追蹤劑的實驗，其放射性微塵隨大氣環流而飄游至世界各地，其累積量均受大氣環流與地形之影響。

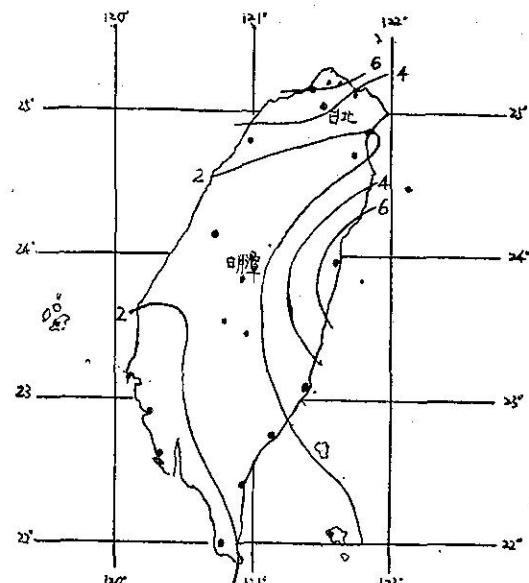
冬季臺灣上空均為偏西風，隨風飄游之放射性微塵約以 1-2 週的時間，環遊地球一週，而且另一方面，受重力影響，逐漸落於世界各地，依據筆者對各國核子試爆之放射性降落物測驗結果，證實經過臺灣上空的第一週微塵之染污量最多，而且受地面風與天氣之影響甚大。

此種降落機構，依筆者推測，在上空飄測的放射塵逐漸擴散，同時受地球引力影響而下降，至成雨層則可被雨滴沖洗，或受風吹下。



放射性月變化 (四月)
Monthly variation of radioactivity in
Taiwan. (Apr.)

Fig. 1 b

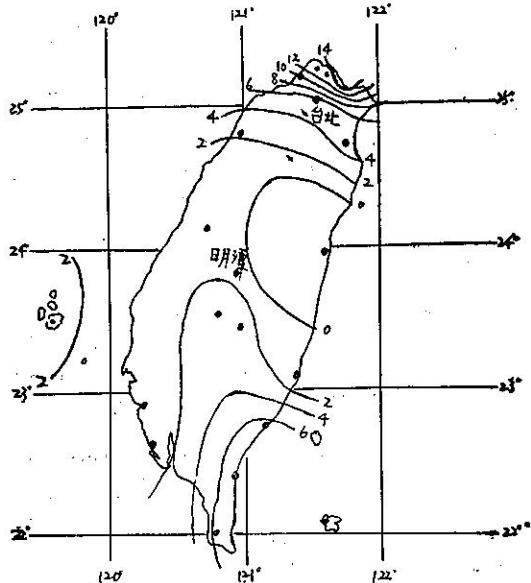


放射性月變化 (六月)
Monthly variation of radioactivity in
Taiwan. (Jun.)

Fig. 1 c

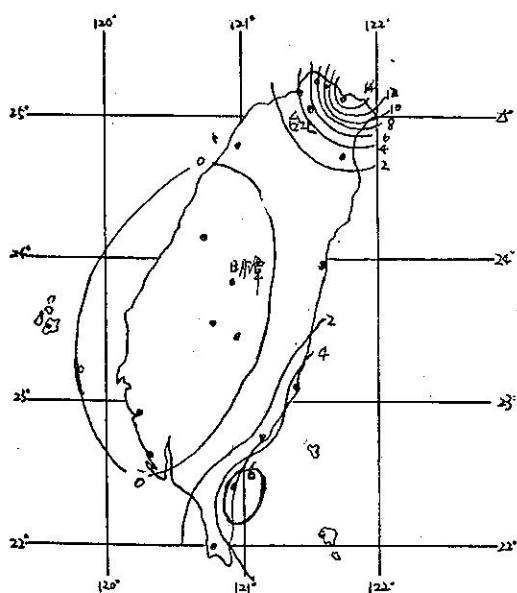
對此種假說，可由中共核子試爆所得的測驗結果加以引證。

中共自1964年10月16日，在新疆塔里木盆地羅布諾爾湖（即北緯40度，東經90度）附近舉行一連串之



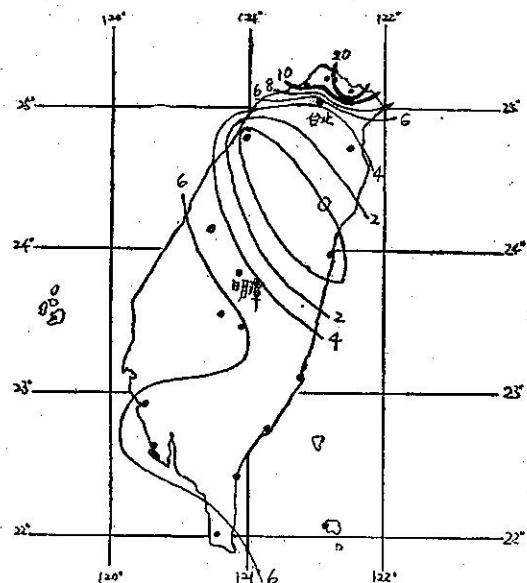
放射性月變化 (八月)
Monthly variation of radioactivity in
Taiwan. (Aug.)

Fig. 1 d



放射性月變化 (十月)
Monthly variation of radioactivity in
Taiwan. (Oct.)

Fig. 1 e

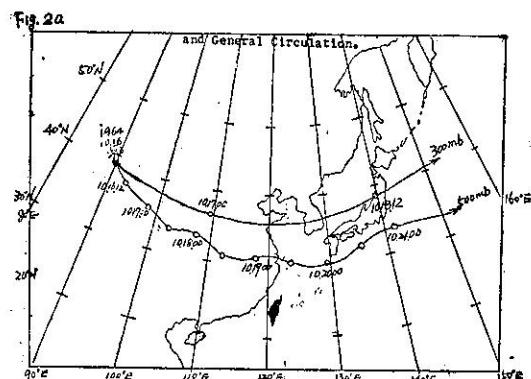


放射性月變化 (十二月)
Monthly variation of radioactivity in
Taiwan. (Dec.)

Fig. 1 f

核子試爆，所產生之放射塵即隨氣流擴散而飄流至各地，臺灣雖然距試爆地有3,500公里之遙，而且緯度亦低，但受偏西風之影響，多次被其放射塵污染，惟由氣流分析，證實均為間接性，並無直接侵襲臺灣，茲將測驗資料加以分析，供為參考。

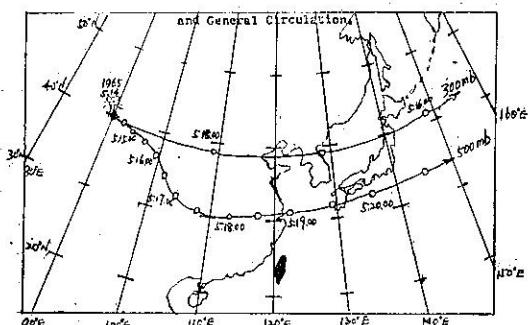
1. 1964年10月16日，標準時間7時，試爆地區正被移動性高氣壓籠罩，因此可推測該氣團受試爆影響必含有大量之原子塵，根據500mb（約5500公尺）及300mb（約10000公尺）之高空圖，可推測原子塵之去向，如圖2 a，據日本氣象廳之測驗紀錄，大氣



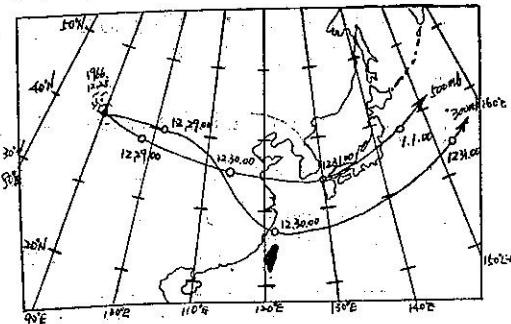
放射性降落物污染與大氣環流之關係
Fig. 2 a The relation between radioactive fall-out contamination and general circulation.

中之放射塵於18日開始增加，並且在19日獲得巨大而高能量之放射性粒子，由於這種事實證明，其試爆之污染已達到300mb高度，日本於22日測得放射塵最高值，但這些放射性微塵似被移動性高氣壓所帶來者，其速度與500mb高度之氣流速度甚吻合，直到23日，在北緯37度，東經152度附近發生低氣壓，冷鋒由該中心向西南延伸，經過本省至海南島，屆時東北季風非常旺盛，因此將侵襲日本上空或由高空槽之擾動而落下之放射塵，藉東北季風帶到本省，使本省受到較高含量之放射性污染，即本省自23日開始，距試爆日約7天開始受污染，24日臺北自然降落物中放射性含量最高，每平方公里測得2.35毫居里(mc/km^2)，雨水中為每公升2,400微微居里($\mu\text{mc}/\ell$)，另據日本東京測得最高值為自然降落物每平方公里156.0毫居里，兩者相較本省所受之污染至微。

2. 試爆時間為1965年5月14日，當時試爆地區之天氣概況與第一次甚為相似，放射塵在5月16日飄到日本，因此在日本新潟地區曾測到大粒子之放射性微塵，500mb高空風速較慢，至5月19日始到(圖2b) 本省於17日在自然降落物中其放射性稍有增加



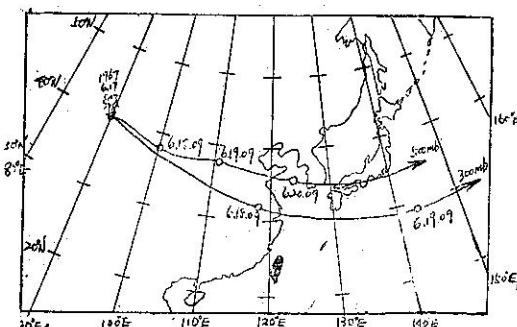
5. 1966年12月28日，中共試爆時，噴射氣流帶更靠近本省上空，高氣壓之伸張更強，東北季風亦甚強，放射性降落物很容易落至臺灣地區，放射塵之先鋒於試爆一天後，即到達日本上空，1967年1月1日即到本省，當時本省適為雨期，因此其降落量較為多。 (圖 2e)



放射性降落物污染與大氣環流之關係

Fig. 2 e The relation between radioactive fall-out contamination and general circulation.

6. 1967年6月17日，當時300mb及500mb之高空氣流均偏於北緯30度以北，500mb之偏西風三日後抵達日本上空，四天後日本空戶岬測得放射塵開始增加，但當時臺灣北部海面之東北季風不盛，而且西南氣流甚強，大部份之放射性微塵均無法降落於臺灣地區，明顯地此次試驗並未污染本省各地 (圖2f)。



放射性降落物污染與大氣環流之關係

Fig. 2 f The relation between radioactive fall-out contamination and general circulation.

由上述幾點可知，東北季風對臺灣地區大規模污染之重要性。

另一方面，南方氣流對臺灣地區之污染，亦有嚴重的威脅，雖然在南方地區試爆之次數不多，但於1957年至1958年美國一連串之試爆，已證實氣流扭轉

點的臺灣地區，有嚴重地污染，由比基尼島試爆至臺灣約有1至2週之途程，但因氣流正在本省之上空輻合而擾亂，增加其降落量。

三、高空放射塵滯留時間之檢討

係據 Rosinski 與 Stockholm 等在1958年以 Andersen 採取儀，所測之對流層放射性微塵形狀均在 $1\text{--}5.5\mu$ 範圍，Stern 推算滯留在平流層之放射性微塵應在 0.1μ 以下，Stebbins 並證實在低平流層之放射性微塵可在 0.1μ 以下，Junge 在 Sioux 市所測之紀錄亦顯出，空中微塵之大小與高度成反比。

由 Hasp 計劃之研究結果，證實這些微塵之半滯留時間 (Half residence time)，與高空大氣環流有密切之關係，即由高緯度射入者，其滯留時間較短約為4-9個月，由低緯度射入者以及赤道附近射入者，其滯留時間較長，約為9-15個月。對碳十四之滯留時間更長約為3.5年，因碳十四大部份在低緯度地區實施，均由赤道附近射入者。

在對流層，依據 Junge 與 Gustafson 估計，鹽粒之半滯留時間僅為3天，Lettau 推算水汽之半滯留時間約為7天，但 Lockhart 却估計較長10-35為35天，最後 Stewart 等即以20天為這些微塵在對流層之半滯留時間。

因此可知，無論大氣污染物為微塵或氣體，在平流層約有1-3.5年之半滯留時間，而且經過 Storb 所提移流模型 (Brewer and Dobson 模型相似)，由平流層降至對流層，而後約在1個月內可經相碰或沖洗而降落於地面。

對這些半滯留時間，筆者可由碳十四含量與降落物放射塵含量加以對照而引證。

臺北幾年來之測驗結果顯出，中共試爆後3-7天可測得，大氣中浮游微塵放射性之增加，可推測試爆高度可衝到約在對流層頂，由此可推算在對流層之半滯留時間，此數值與 Stewart 所提的甚符合。

關於平流層之半滯留時間，本研究結果亦有良好的引證。

大氣中碳十四含量之測驗結果 (圖3) 顯示，1961年所舉行的試爆，經六個月後，大氣中碳十四含量始增加，1962年底至1963年初之試爆，亦於6-8個月後，使大氣中碳十四含量增加，而後中共每次之試爆，亦有良好的事實，如第一次試爆後6個月大氣中碳十四突增，第二次則4個月後增加，第3, 4, 5, 6次均為四個月左右，雖然其變動率不大。第七次1969年

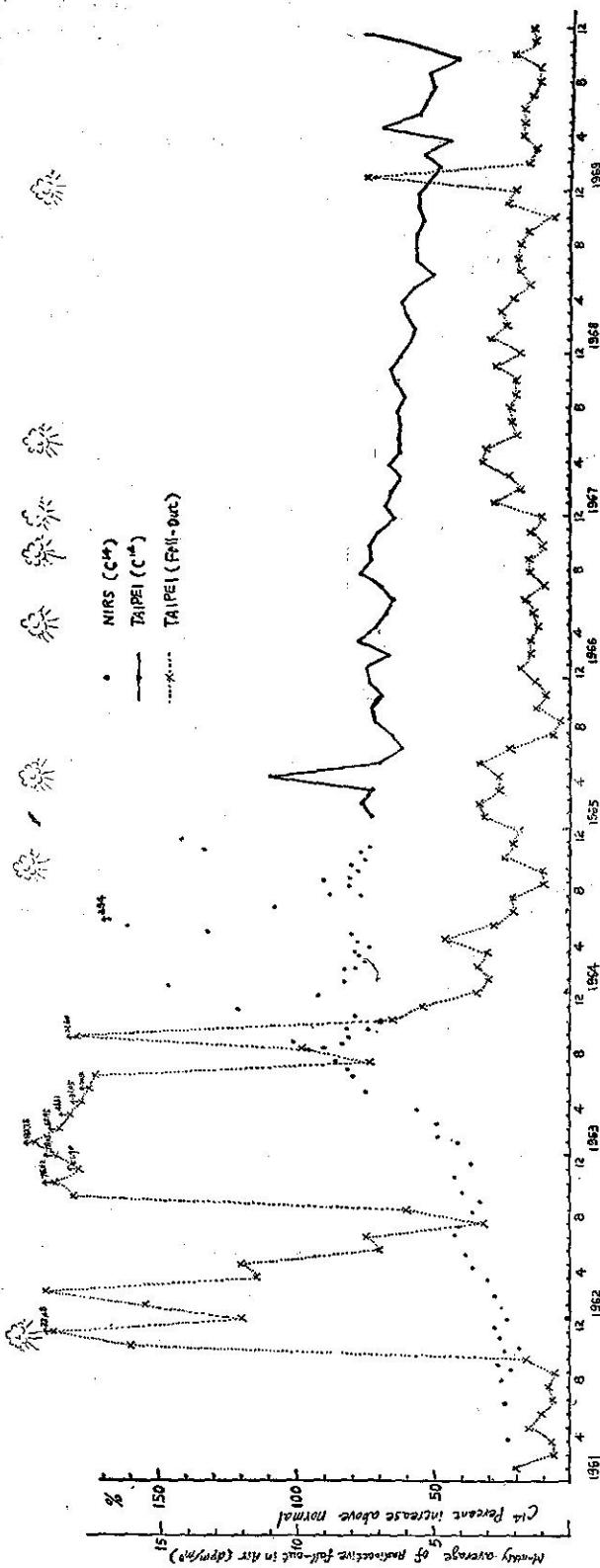


Fig. 3 Long term change of Carbon-14 concentration in atmospheric carbon dioxide and radioactive fall-out in air.

底之試爆亦同樣在 4 個月後，使大氣中碳十四含量增加，這些事實均支持由高緯度射入平流層上空之微塵或氣體在平流層之半滯留時間，均在 4-8 個月，與 Hasp 計劃所得結果，相當一致。

經過這些測驗資料，更顯出臺灣地理位置之特殊，將來由此方面似可獲得大氣環流之部份謎底。

四、臺灣地區局部污染之特性

近年來臺灣之經濟突飛猛進，工廠林立，加上人口劇增，空氣污染日見加重，這些污染源均在地面，而且均為人工造成，其污染範圍並不廣。

如前述對臺灣大規模的污染，其污染源應在近地面空氣層 3,000 公尺之高度，始可影響臺灣全省。但對局部性者，僅在低大氣層，其影響污染範圍亦僅在水平向數公里內，雖然其污染範圍不大，但污染物之增加，亦可形成所謂都市氣象，這些污染物主要為直接的影響太陽輻射，而後間接的影響其他氣象因素。

臺北為臺灣最大都市，也是空氣污染最嚴重的都市之一，筆者以臺北市為例，加以分析，對空氣污染與氣象因素之關係，提出初見，供為參考。

依據過去測驗結果，臺北市每月每平方公里約有 20 餘噸之落塵，其頂峯在 8 月，在日變化中，無論其為微塵或二氧化硫，每天均有二次高峯，一者顯出於日出後 1-2 小時，另者在日沒後 1-2 小時出現高峯，顯然此種污染型式係屬於倫敦型，就是被一次污染物質所污染的。

從氣象立場看，此二次高峯與逆溫層有密切的關係，氣象之理論，可以證實大氣穩定度對污染物諸如煤煙，微塵等擴散稀釋作用影響甚大，形成逆溫層時，氣柱穩定，空氣擾動微弱，因此污染物之擴散稀釋作用即受阻，而滯留於逆溫層內，同時地面附近之煤粒易成凝結核，形成煙霧。

臺北市上空，日沒後因受輻射關係，地面冷卻所形成的逆溫甚少發現，偶然發生者，其高度亦僅200-300 在公尺左右，逆溫層之溫度差亦不大。但在1,000-1,500公尺高度處却時常形成逆溫層，尤其是在移動性高氣壓經過臺北上空而雲稀之晚上，所形成的逆溫層一直可維持至翌日早晨日出時，受太陽照射至9 時左右始消失，因此上述兩次高峯均出現於逆溫層開始形成與消失時，亦即在上升氣流旺盛與沉降氣流甚劇時。

筆者統計六十年來各氣象要素，發現這些污染物顯然的影響臺北市之氣溫，（參考表一），即臺北市平均氣溫自1900年至今，上升 0.6°C ，平均最低與平均最高氣溫亦均有上升之趨勢，另外對空氣混濁度係數，影響亦甚大，自1950年來，已增加1.54，由此可推測臺北市空氣污染已達相當嚴重。

表一、臺北市空氣混濁係數與氣溫之變化

年 度 項 目	平均氣溫	平 均 最 低 氣 溫	平 均 最 高 氣 溫	混濁係數
1900	21.6	18.7	25.5	—
1910	21.6	18.4	25.8	—
1920	21.6	18.3	26.1	—
1930	21.6	18.3	26.1	—
1940	21.9	18.5	26.2	—
1950	22.1	18.8	26.6	4.25
1960	22.2	19.0	26.7	5.46
1970	22.2	19.0	26.8	5.79

五、結論

本研究雖為初步性質，而且因設備之關係，無法測得充分的微氣象因素，尤其是在局部空氣染污上無

法加以詳論，但由本研究結果已顯出：

- 放射性微塵主要隨高空偏西風，東北季風與西南氣流而來，尤其是季風却為臺灣地區大規模污染之決定性因素。
- 放射性微塵由高緯度地區射入者，在平流層之半滯留時間約為4-8個月，在對流層則為20天左右。
- 臺北市空氣污染屬於倫敦型，每天均有二次高峯，其一顯出於日出後，另者在日沒後1-2小時，其濃度與逆溫層之形成與消失有密切之關係。
- 幾年來臺北市空氣混濁係數，不斷的增加，其污染程度顯然的已影響每日氣溫。

謝辭：本研究承蒙國家科學委員會之補助及中央氣象局實驗室同仁協助，始克完成，特此銘謝。

參考資料

- Armour Research Foundation Report A.R. F. -3127-6 and A. R. F. -3127-9 Chicago, Illinois 1959.
- American Meteorological Society in Minneapolis, Minnesota, 9. 1959.
- U. S. Department of Defence Report DASA -529, 1959.
- U. S. Air Force G. R. D. Res. Notes 8. 1958.
- Tellus 9. 1957. pp. 164-173.
- Archiv, Meteor, Geophys, Vol. 7. 1954. pp. 133-157.
- U. S. Naval Res. Lab. Report 5208, 1958.
- Intern, Rapport IR-F-376, Norwegian Defense Research 1959.
- 臺北市環境清潔處，臺北市空氣污染測定結果報告