

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

台灣東部海岸山脈南段沉積盆地中的凝灰岩研究 Tuff study in the sedimentary basin of the southern Coastal Range, eastern Taiwan

計畫編號：NSC 88-2116-M-002-027

執行期限：87 年 8 月 1 日至 88 年 7 月 31 日

主持人：宋聖榮 國立臺灣大學地質學系

一、中文摘要

臺灣東部海岸山脈南段，泰源、成功和東河沉積盆地內，最少有 15 層、厚度從數公分至一公尺半的灰白色凝灰岩層出露。其年代約從 2.3 百萬年到 1.3 百萬年。從野外的產狀、分佈、岩象學的特徵和形成的年代，凝灰岩層可分為上下兩群。下群的特徵為：包含約 7 層的灰白色凝灰岩，厚度從數公分到約一公尺左右，具有粒級層和流槽鑄型的沉積構造，以及崩移構造，且以含有普通輝石和角閃石的安山岩岩屑為主，形成的年代約為 2.3~1.88 百萬年。上群的特徵為：包含最少有 8 層以上灰白色的凝灰岩，厚度從數公分到超過 150 公分以上，具有粒級層和流槽鑄型的沉積構造，且以含有黑雲母的安山岩岩屑為主，形成的年代約為 1.5~1.3 百萬年。從其產狀特徵：與沉積岩的接觸面相當明顯、成分均一和具有粒級層和流槽鑄型的沉積構造，顯示其可能是火山噴發的直接產物，且可能是由火山碎屑流流入海中所堆積的。另從凝灰岩層的厚度在空間上的分佈、岩性和噴發年代等特徵，顯示下部的凝灰岩層可能是來自成廣澳火山，而上部的凝灰岩層組可能是綠島火山噴發的產物。

關鍵詞：海岸山脈南段、凝灰岩層、火山碎屑流、沉積盆地、安山岩

Abstract

There are at least 15 tuff beds occurred in the Taiyun, Chengkuan and Tungho sedimentary basins of the southern Coastal Range, eastern Taiwan. Their thicknesses vary from few to over 150 centimeters. Formation ages of these tuff beds were from 2.3 to 1.3 Ma. They can be divided into two groups, namely lower and upper, according to the field occurrences, distributions, petrography

and ages. The lower group consists of 7 tuff beds, whose thicknesses vary from few to 100 centimeters. It is characterized by normal graded bedding, flute casting and slumping structures, rich in augite and hornblende andesitic rock fragments, and probably occurred in 2.3~1.88 Ma. The upper group consists of over 8 tuff beds, whose thicknesses vary from few to 150 centimeters. It is also characterized by normal graded bedding and flute casting structures, but no slumping structures, rich in biotite andesitic rock fragments, and probably occurred in 1.5~1.3 Ma. These tuff beds may be the products of pyroclastic flow flowing into the marine environment in terms of their sharp contact with sedimentary rocks in top and bottom, nearly pure volcanic glassy and mineral fragments, and flute casting structures. Several lines of evidence, such as their spatial distributions, petrography and eruptive ages suggest that the lower and upper groups may be from the Chengkuanou and Lutao volcanoes, respectively.

Keywords: Southern Coastal Range, Tuff beds, pyroclastic flow deposits, Sedimentary basin, Andesite

二、緣由與目的

海岸山脈為北呂宋火山島弧的一部分，也是現今地球上弧陸碰撞仍在繼續進行的例子之一，因此一直吸引著地質學者的目光。其中，面積分布超過三分之一的火山岩，是南海海板塊隱沒入菲律賓海板塊所引發的島弧岩漿噴發的產物。

過去幾年以來，火山岩的火山學 (Chen, C-H., 1988; Lo, 1989; Song, 1989; Chen et al., 1990; Juang and Chen, 1990) 和年代學 (Juang and Bellon, 1984; Richard et

al., 1986; Juang and Chen, 1990; Lo et al., 1994) 一直有學者對其進行研究，但大多集中於海岸山脈與歐亞大陸碰撞前，島弧成長階段的火山活動，對於碰撞後的火山噴發產物，堆積於沉積盆地的凝灰岩，只做了簡單的定年研究 (Chen et al., 1992; Horng and Shea, 1997)。但是對於這些凝灰岩的野外分布、噴發、堆積和岩石學特徵等，以及其所隱含的地質意義，並未深入的探討。

海岸山脈沉積盆地的凝灰岩，主要分布於南段泰源盆地及東河口的八里灣層內，至於其整個分布的範圍，以及時空的變化，則還未有詳細的資料。依筆者初步的觀察，夾於頁岩內的白色凝灰岩，最少有十五層，每一層的厚度從數公分到一公尺以上不等，與頁岩的接觸層面相當鮮明，且頁岩內幾乎未含有火山碎屑顆粒，顯示這些凝灰岩層是直接由火山噴發而堆積，並不是經由風化侵蝕而來，提供了研究火山灰定年學 (tephrachronology) 的最佳材料，以作為海岸山脈南段沉積盆地中地層絕對年代對比的依據。在凝灰岩層中，有些岩層的沉積構造具有平行層理 (planar bedding) 和粒級層 (graded bedding) 構造，層面底部有流紋構造 (flute castings)，顯現出典型的濁流層堆積。而有些岩層則只是薄層塊狀或具有粒級層構造，故這些凝灰岩的噴發、如何搬運與堆積方式為何，則值得進一步的研究。

凝灰岩的岩性為安山岩，鐵鎂斑晶組成從普通輝石、角閃石至黑雲母都有。其中，最大特色為含有黑雲母的斑晶。海岸山脈的安山岩中，以往並未有含黑雲母斑晶的安山岩被發現或報導過，只有外海的兩個小島，綠島和小蘭嶼有發現，故這些凝灰岩是由何座火山噴發堆積，則需要進一步的研究。

泰源盆地為一向斜的構造，若從軸部劃分為東西兩翼，其沉積岩中的凝灰岩分布極為不對稱。例如，在向斜的東翼，緊接都巒山層之上，凝灰岩約有八層左右，但在向斜西翼，緊接都巒山層之上，則未有凝灰岩層的發現。而在軸部附近，則東西兩翼皆有凝灰岩層的出露。另在東河的八里灣層裡，緊接都巒山層和石灰岩層之

上，甚少有凝灰岩層的出露。故凝灰岩在噴發、堆積時，鄰近地區沉積盆地的古地理及發育過程，可藉由凝灰岩的研究，獲得解答。然後與現今台灣東南海域的綠島和蘭嶼鄰近的沉積盆地相對比，並和前人研究 (Huang et al., 1995) 所建立的模式相比較，以期真正了解海岸山脈沉積盆地的成因與演化。

從海岸山脈的火山岩層層序得知，海岸山脈北段火山停止的時間約為 6.2 百萬年，中段約為 0.5 百萬年，南段約為 3.0 百萬年，綠島約為 0.54 百萬年，小蘭嶼約為 0.02 百萬年 (宋, 1990; 楊, 1992)，而更南邊的巴丹島則是仍在活動的活火山，顯示海岸山脈火山島弧與歐亞大陸邊緣的弧陸碰撞，是從北到南以斜碰撞的方式逐漸展開。海岸山脈的沉積盆地為弧陸碰撞後所形成的弧間盆地 (intra-basin) (Huang et al., 1995)，所堆積的沉積物厚度超過四千公尺，主要是侵蝕自古台灣未變質至中度變質的岩層，而凝灰岩則是存在於這些沉積岩中，其噴發的年代可能在 2.0~1.2 百萬年之間 (Horng and Shea, 1997)，所代表的地質意義為何，至今並未有學者深入的探討過。

本計劃的主要目的是：(1) 野外研究凝灰岩的分布、層序及其沉積特徵，以探討凝灰岩的搬運及堆積方式；(2) 室內研究凝灰岩顆粒的型態學及岩石學，以探討凝灰岩的噴發機制及方式；(3) 室內研究凝灰岩的礦物學和岩石學，以探討凝灰岩的演化；(4) 綜合野外及室內工作的結果，以探討凝灰岩的來源、沉積盆地的古地理及其所隱含的地體構造演變。

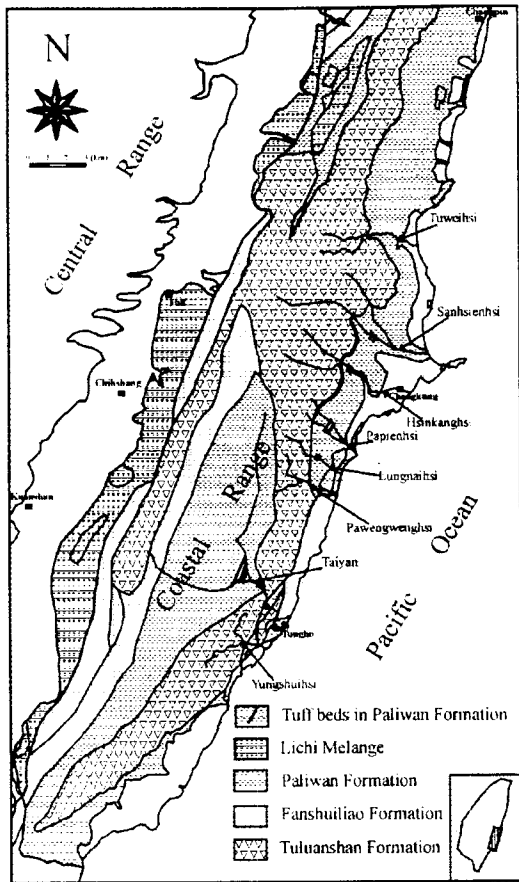
三、結果

A、凝灰岩層分布

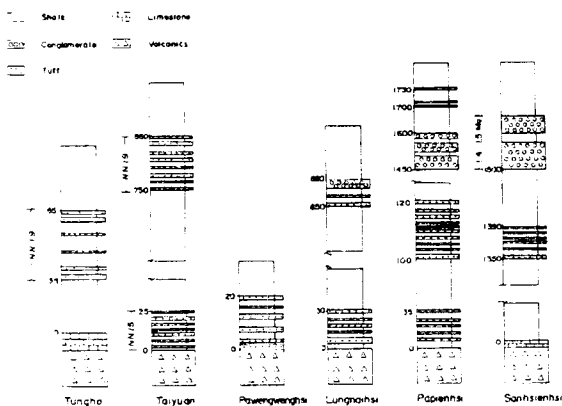
凝灰岩層主要分布在海岸山脈南段，包括泰源盆地、東河至三仙溪等地的河谷，都有厚度不等的白色凝灰岩層出露 (圖一)。其中，最南分布至東河口，最北至三仙溪河谷。

凝灰岩在各個河谷的分布，主要可分為兩群，一是緊鄰都巒山層之上的八里灣層出露，另一是在八里灣層的中、上部出露，明顯的可區分出兩大群。各個河谷剖

面的凝灰岩層出露如圖二。



圖一：海岸山脈南段凝灰岩層的分布。



圖二：海岸山脈南段凝灰岩層各個河谷剖面的出露情形。

B、野外產狀

凝灰岩層的厚度從數公分至超過 150 公分都有，而厚度有從南往北遞減的趨勢。例如，在泰源盆地八里灣層內同一層凝灰岩層，在盆地南邊的最大厚度超過 150 公分，但追蹤至北邊以後，厚度減薄至 20 ~ 30 公分。同樣地在都巒山層東邊的成功盆地八里灣層內，在東河口的厚度約為 150 公分，然後漸漸往北減薄，在八邊溪約為 50 公分厚，新港溪約為 40 公分厚，至三仙溪變為 20 公分厚。同樣地，凝灰岩層的顆粒大小，也有從南往北漸漸減小的情形發生。

厚層的凝灰岩層具有粒級層和流槽鑄型等水搬運的沉積構造，以及沉積同時的崩移構造。粒級層顯示出雙級層的沉積構造特徵，也就是整層有粒級層的構造，而每一內部單獨的層理也顯示出粒級層的構造，此是水中濁流層搬運的最大特徵。薄層的凝灰岩層則是顯示出塊狀的沉積構造。

C、火山活動年代

海岸山脈南段的凝灰岩層的年代，因是夾於八里灣層的頁岩中，故早期是用化石的資料來界定其年代。超微化石的年代，下段是介於 NN15 之間，上段則是落於 NN19(Chi et al., 1981; Horng and Shea, 1997)。後來洪和謝(1997)利用化石和古地磁的資料，界定出下段的凝灰岩形成的時間約為 2.3~1.88 百萬年之間，而上段形成的時間約為 1.5~1.3 百萬年之間。

銻石核飛跡定年顯示，上段含黑雲母之凝灰岩層的年代為 1.5 百萬年之間(Chen et al., 1992)。本研究最近的鉀-氬定年結果，上段含黑雲母之凝灰岩層的年代在 1.5~1.4 百萬年之間，顯示相當一致的結果，故上層凝灰岩形成的時間約為 1.5~1.3 百萬年之間。而下段凝灰岩層的形成時間則可能為 2.3~1.88 百萬年之間(Horng and Shea, 1997)。

D、岩象學特徵

海岸山脈南段盆地內凝灰岩層的組成，下段凝灰岩層的下部三層，主要以含

岩屑、玻璃質顆粒和少量的礦物破片為主。其中，不管是玻璃顆粒或是礦物破片的組成是以斜長石和普通輝石為主，含少量的角閃石晶體。下段凝灰岩層的上部，組成成分也是以含岩屑、玻璃質顆粒和少量的礦物破片為主。而玻璃顆粒或是礦物破片的晶體組成，則變成以斜長石和角閃石為主，普通輝石變為少量。

上段的凝灰岩層，以含玻璃質和礦物破片為主，含少量的岩屑。其中斜長石和黑雲母為主要的礦物成分，而普通輝石和角閃石的含量則較少。

在電子顯微鏡下研究凝灰岩層的火山灰顆粒的形態，下段是以多氣孔的玻璃顆粒為主，表面很不平滑，有溶蝕的現象，使得稜角變得不太尖銳。上段的火山灰顆粒，浮石多且氣孔大，稜角還保持得相當尖銳，顯示較少搬運、磨蝕和溶解的作用。

四、討論

一、凝灰岩的成因

沉積盆地中的火山灰層，可能是由火山噴發的灰落堆積物、或是火山碎屑流流進水中所形成、或是侵蝕自鄰近的火山島弧(Cas and Wright, 1987)。海岸山脈南段盆地內凝灰岩層的成因，從野外的產狀，如凝灰岩層的組成相當一致、與沉積岩的接觸相當明顯、且含有豐富輕微蝕變的玻璃顆粒、角礫狀的玻璃顆粒指示其可能未經任何的磨蝕等特徵，顯示其可能是火山噴發的直接產物。又凝灰岩層具有雙粒級層和流槽鑄型等水搬運的沉積構造等，故推測其可能是由火山碎屑流流入深海的沉積盆地所形成的。

二、凝灰岩的來源

海岸山脈南段盆地內的凝灰岩層，依造岩性、分布及噴發年代，可分為上、下兩部。下部主要分布於泰源盆地東邊、緊鄰都巒山層火山岩層之上、八里灣層底部的岩層內，且岩性和礦物組成，明顯地與上部的組成不同。其形成的年代約從 2.3~1.88 百萬年之間，且具有崩移構造，顯是其可能是堆積在盆地的斜坡上，故推測下部的凝灰岩層的火山灰可能是噴發至都巒

山層的火山，而此一地區的可能火山口是位於成廣澳山。所以，海岸山脈南段盆地內下部的凝灰岩層可能是由成廣澳山火山噴發所形成的。

上部的凝灰岩層主要分布於八里灣層的中段，且泰源盆地和成功盆地內都有出露。凝灰岩層的厚度有從南往北逐漸減薄，因為這些凝灰岩層是由火山碎屑流流入海中堆積所形成的，故顯示其來源是位於南邊的火山。另上部凝灰岩層在礦物組成的最大特徵是含有黑雲母的斑晶。海岸山脈南段南方的可能火山包括有都巒山火山、綠島火山、蘭嶼火山和小蘭嶼火山等四個。其中只有綠島和小蘭嶼兩座火山的火山岩中含有黑雲母的斑晶。小蘭嶼的火山活動相當年輕，約 0.02 百萬年，而綠島含黑雲母的火山岩的年代約為 1.5 百萬年(楊, 1992)。所以推測海岸山脈南段沉積盆地內的火山灰可能是由綠島火山噴發而形成的。

三、海岸山脈南段盆地的形成和演化

從凝灰岩層的分布，可推知海岸山脈南段的沉積盆地可能有四個，分別為泰源盆地、小馬盆地、東河盆地和成功盆地等。由各個盆地內凝灰岩層的分布和形成年代，推測各個盆地的形成年代。泰源盆地和小馬盆地含有下部的凝灰岩層，故其形成較早。成功盆地內的下部未有凝灰岩層的出露，只在中段發現有上部的凝灰岩層，所以其形成的年代次之。而東河盆地內八里灣層的下段即有上部凝灰岩層的出露，顯示其形成的年代較晚。由各個沉積盆地沉積岩中的化石和古地磁資料也顯示同樣的結果。

同樣地，由凝灰岩層的分布也可推測各個沉積盆地結束沉積的時間。小馬盆地內未發現有上部的凝灰岩層，且其被逆衝斷層所截切，故推測其抬升結束沉積的年代較早。泰源盆地的上部凝灰岩層位於向斜的軸部，其上已無或甚少沉積岩出露，故其結束堆積的時間次之。東河盆地和成功盆地上段凝灰岩層之上還有厚層的八里灣層頁岩出露，顯示這兩個盆地結束沉積的年代較晚。

五、研究者自評

本研究結果和原有的計畫大約有 80% 相符，另不相符的 20%，是因樣本本身風化作用的影響，以至於地球化學方面的工作無法有效的應用於凝灰岩層的對比和成因上的解釋。本篇報告再配合一些化石的資料，應可寫成文章發表於國際期刊上。

五：參考文獻

- 宋聖榮(1990) 臺灣東部海岸山脈中段火山岩研究兼論北呂宋火山島弧的演變：國立臺灣大學地質學研究所博士論文，251頁。
- 楊燦堯(1992) 北呂宋島弧岩漿之演化及其地體構造模式：國立臺灣大學地質學研究所博士論文，458頁。
- Cas, R.A.F. and Wright, J.V. (1987) Volcanic successions: modern and ancient: Allen and Unwin, 528p.
- Chen, C-H. (1988) Mineral compositions of primary phases in ultramafic rocks in the Coastal Range, Eastern Taiwan and implication of source region of these rocks: *Acta Geol. Taiwanica* 26, 193-222.
- Chen, C-H., Yang, T.Y., Tien, J.L. and Lee, T. (1992) Eruption ages of north Luzon Arc (Taiwan): based on fission-track dating: *Acta Geol. Taiwanica* 30, 149-156.
- Chi, W.R., Namson, J. and Suppe, J. (1981) Stratigraphic record of plate interactions in the Coastal Range of eastern Taiwan: *Mem. Geol. Soc. China*, 4, 155-194.
- Huang, C. Y., Yuan, P.B., Song, S.R., Lin, C.W., Wang, C., Chen, M.T., Shyu, C.T. and Karp, B. (1995) Tectonics of short-lived intra-arc basins in arc-continent collision terrane of the Coastal Range, eastern Taiwan: *Tectonics*, 14, 19-38.
- Hornig, C.S. and Shea, K.S. (1997) Magnetobiostratigraphy of the Mawu-Chi section, southern Coastal Range, eastern Taiwan. *J. Geol. Soc. China*, 40, 339-362.
- Juang, W.S. and Bellon, H. (1984) The potassium-argon dating of andesites from Taiwan: *Proc. Geol. Soc. China* 27, 86-100.
- Juang, W.S. and Chen, J.C. (1990) Geochronology and chemical variations of volcanic rocks along the arc-continent collision in eastern Taiwan: *Bull. Natl. Museum Natural Sci.* 2, 89-118.
- Lo, C.H., Onstott, T.C., Chen, C.H. and Lee, T. (1994) An assessment of $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ dating for the whole-rock volcanic samples from the Luzon arc near Taiwan: *Chem. Geology (Isot. Geosci. Sect.)* 114, 157-178.
- Lo, H.J. (1989) Evolution of the volcanic arcs of the Coastal Range, eastern Taiwan: *Acta Geol. Taiwanica* 27, 1-18.
- Song, S.R. (1989) Petrochemistry and petrogenesis of volcanic rocks in Loho area, Coastal Range of eastern Taiwan: *Tichih*, 9, no.2. 221-248. (in Chinese)