

# 中華民國第四十九屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科 別：地球科學

組 別：高中組

作品名稱：地磁場崩壞？！

關 鍵 詞：地球磁場、地表熱流量、視磁極

編 號：

## 作品名稱：地磁場崩壞？！

摘要（300 字以內）

我們根據地球磁場過去一百年來變化的紀錄，觀察地球磁場：強度、磁通量及視磁極變化的特性。配合地表熱流量的觀測分析，我們發現地球內部熱對流主要改變區域性非偶極磁場的特徵，外地核物質的運動可能才是影響全球地磁場變化的主因。

目前地磁場的南北極性質不同，北極分裂成兩個中心但南極只有一個中心。地球磁場強度變化有相當明顯的週期性，變化週期大約為 60~70 年，但目前仍不知造成此一週期性變化的背後機制。

根據磁通量的觀測顯示北半球磁場正在由中美洲附近「侵入」南半球，伴隨地磁場強度減弱的趨勢，二千年後地磁場可能會消失，並伴隨未來磁極反轉的可能性。

但受限於現有觀測資料的時間尺度太短，此一推論仍有相當程度的不確定性。

## 壹、研究動機

對一般人而言，地球磁場的用途不過就是讓磁針指出南北方位，然而磁針並非直指真正的北（南）方，而是指著地球的磁極。除此之外，地球磁場若遇到太陽風撞上地球，會因為粒子運動方向垂直地球磁場方向而發生偏折，使得外來的帶電粒子幾乎無法到達地表，進而保護地球表面的生物。

不過，地磁場並非不會改變，科學家發現，位於中洋脊兩側的岩層，因為由熔融態冷卻凝固時，其中的磁性物質會受地球磁場的感應，而順著當時磁場方向排列，記錄下當時的磁極方向，也因此紀錄到地磁南北極互換，地磁反轉的證據，並發現地磁反轉過成中磁場強度減弱，甚至不存在於地表的現象。

而最近一次反轉成我們現今所見的磁極方向，則是約在 78 萬年前。磁極反轉過程所帶來的危機目前無法清楚得知，但可以預期的是，諸如高能帶電粒子的入侵摧毀大部分的臭氧層，生命體直接受到輻射，以及各種憑藉地磁導向的生物必受波及，因此，瞭解地球磁場未來的變化有其必要性。

## 貳、研究目的

- 一、了解地球磁場產生的可能原因。
- 二、了解地球磁場的現況。
- 三、了解過去地球磁場隨時間的變化。
- 四、了解地磁場的變化是否與地表熱流量(地球內部熱對流)有關。
- 五、分析未來的地磁場可能的變化。

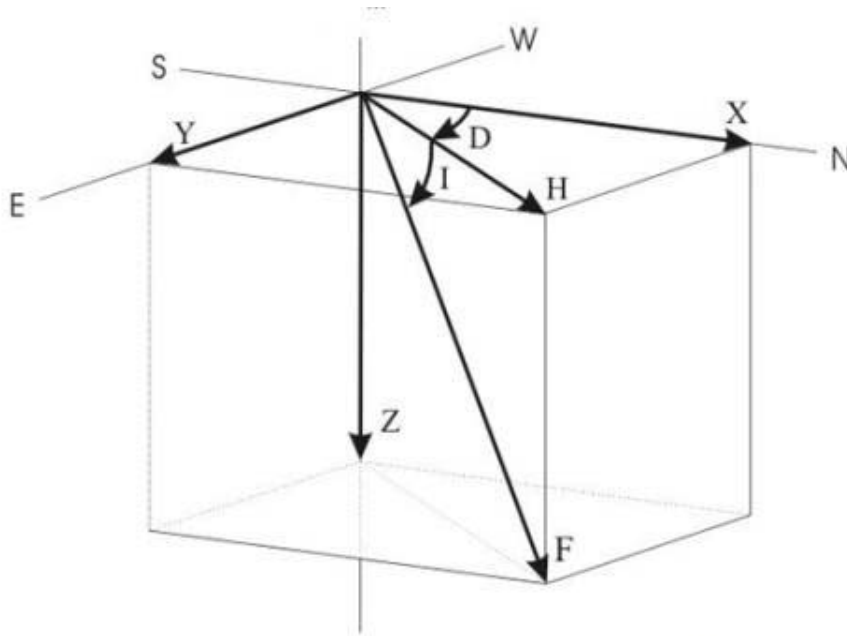
## 參、研究設備及器材

- 一、繪圖軟體 GMT(General Mapping Tool)
- 二、Excel

## 肆、研究過程或方法

### 一、取得地磁資料

NOAA's National Geophysical Data Center(NGDC) 利用全球地磁觀測站得到各地實際的磁傾角度、磁偏角度及磁場強度資料，經由內插及外推的計算方式，利用球階函數展開，可以得到地表磁場強度、磁傾角及磁偏角隨時間及空間的變化。



圖一：地磁場的觀測，D 為磁偏角，I 為磁傾角。



圖二：地磁測站分布。

二、利用磁傾角、磁偏角計算視磁極的位置。

$$p = \cot^{-1}\left(\frac{\tan I_m}{2}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{2}{\tan I_m}\right)$$

$$\lambda_p = \sin^{-1}(\sin \lambda_s \cos p + \cos \lambda_s \sin p \cos D_m)$$

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{\sin p \sin D_m}{\cos \lambda_p}\right)$$

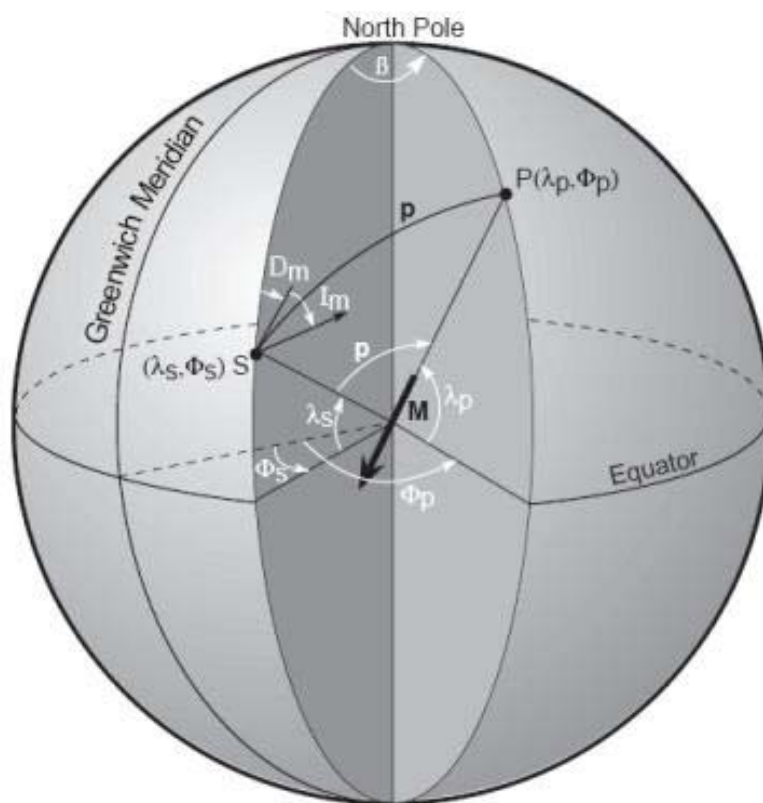
$$\cos p \geq \sin \lambda_s \sin \lambda_p$$

$$\phi_p = \phi_s + 180^\circ - \beta$$

$$\cos p < \sin \lambda_s \sin \lambda_p$$

$$\phi_p = \phi_s + \beta$$

公式： $I_m$  為磁傾角， $D_m$  為磁偏角， $\lambda_p$  為是磁極緯度， $\phi_p$  為視磁極經度



圖三：利用公式算出視磁極後，所得到的磁極位置如圖中的P點。

## 伍、研究結果

一、磁場的產生：因外地核內有許多的游離電子(即電漿)，在這些電子產生相對運動時，即產生了磁場。

### (一)、地磁產生的三大要素

#### 1. 地球外核覆有液態鐵質即導電流體

追溯星體產生的原因而瞭解行星是由聚合星體爆炸遺骸而成，且知鐵元素是核位能最低的元素，所以判斷地球內部有相當龐大的鐵物質，更推測聚合的過程中因為重力位能轉換使溫度升高，達到鐵的熔融態，由觀測地震波可以得知橫波曾經於外地核中斷，是外地核為液態的證據。

#### 2. 熱能、化學能，即流體運動的能量

除了重力位能轉換所產生的熱能外，地球內部猜測可能也存有核衰變反應，產生額外的熱能，所以液態外地核底部溫度較頂部高，使得底部鐵質密度小於頂部，以致於液態導電流體產生上升及下沉。此種由液態物質流動傳導熱的方式稱為熱對流。也因此地球能具備發電生磁的條件。

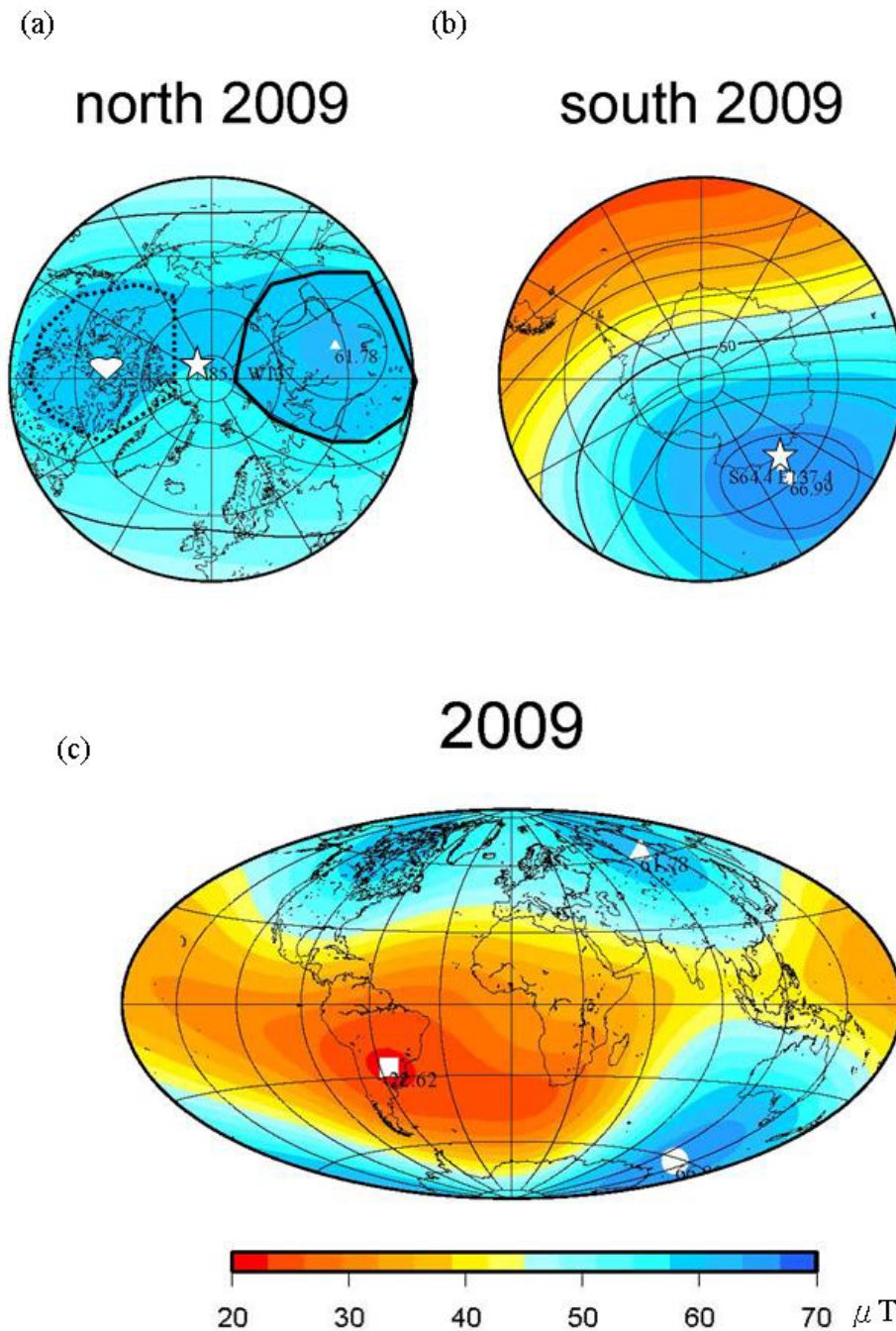
#### 3. 地球自轉偏向力（科氏力）對地球磁場的影響

在地球表面觀察上空的氣體運動，會發現在北半球的運動方向偏右方，而南半球則偏向左方，這是因為在轉動作標中觀察物體運動；同理，地球內部的導電流體物質除了受熱對流的影響外，也會受自轉偏向力影響。若地球液態外核只發生單純的熱對流效應，此時導體感應產生的磁場將非常不穩定，未能長時間維持，但如果在導體對流的過程中受地球自轉偏向力影響，則會使散亂的磁力線獲得一定的導向，進而形成我們所熟知的磁偶極，所謂的南北極。簡言之，地球自轉正是使地球磁場自我長期維持的主因。

(二)、所以我們在討論地磁場變化的可能原因時，就要以上述三大要素為探討的方向

## 二、磁場現況(2009 年)

(一)、 視磁極位置：磁北極位在北緯 85.1 度、西經 137 度(圖四-a 中星



號)；磁南極位在南緯 64.4 度、東經 137.4 度(圖四-b 中星號)。

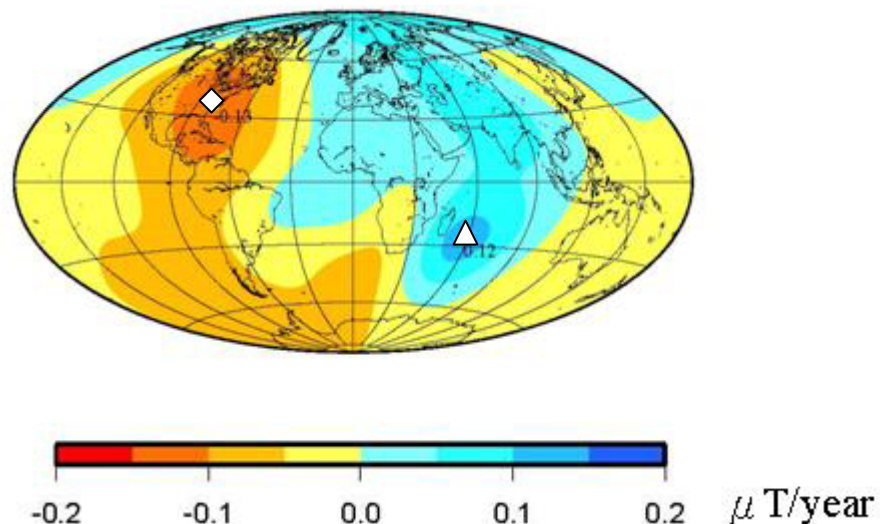
圖四：地球磁場強度分布圖。(a)以北極為中心的北半球磁場強度，(b)以南極為中心的南半球磁場強度，(c)以赤道為中心的全球磁場強度。

## (二)、 磁場強度

1. 北半球分別有兩處磁場強度特別高的地區，其一位於加拿大(圖四-a 以虛線框起的範圍)，強度中心約為西經 96.0 度北緯 67.2 度(圖四-a，白色心形所標示位置)，強度約為 61.20mT，另一位於俄羅斯(圖四-a 以實線框起的範圍)，強度中心約為東經 105.0 度北緯 62.1 度，但其中以俄羅斯強度較為高，約為 61.78mT(圖四-a 中白色三角形)。
2. 南半球只有一磁場較強的位置，位於澳洲及南極洲之間，其最強中心位於東經 138.0 度、南緯 61.0 度，強度約為 66.99mT(圖四-b 中白色星形所標示位置)。
3. 赤道，為磁場較弱的區域，最弱的點位於南北美洲東南部地區，中心點在西經 56 度南緯 26 度，強度為 22.62mT(圖四-c，白色方形所標示位置)，磁場強度由此點往四周漸增。

## (三)、 磁場強度變化

1. 全球磁場強度呈東半球磁場增強，西半球減弱的趨勢(圖五)。
2. 磁場強度增加幅度最大的中心位置在東經 60 度南緯 30 度(圖五中三角形)，減弱幅度最大點位在西經 90 度北緯 30 度(圖五中菱形)。

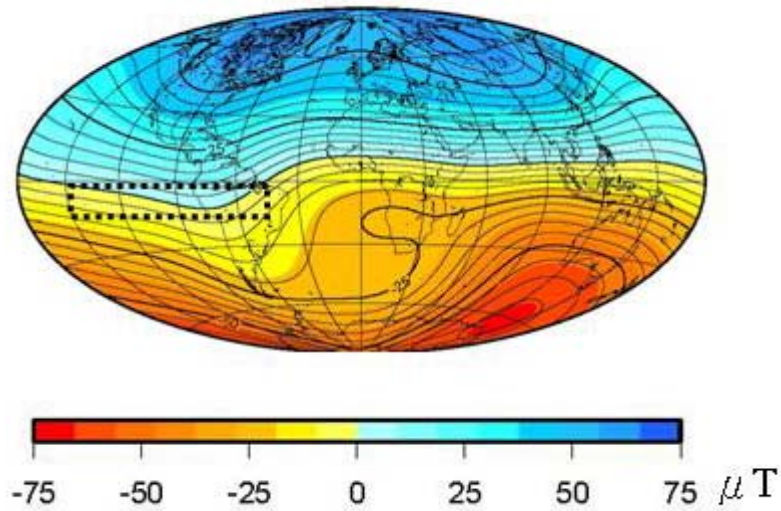


圖五：2008 到 2009 年磁場強度變化圖。



(四)、 全球平均磁通量

1. 磁力線從南極附近離開地球，回到北極附近重新進入地球(圖六)
2. 北半球磁通量的變化大致與緯度平行。
3. 南半球的變化則是以南磁極為圓心向外擴減。
4. 在西經 45 到 120 度之間，原本屬於磁通量向外的南半球地區，變成磁通量反向向內(圖六，虛線所框)。區域範圍從赤道向南延伸到南緯 6 度附近。

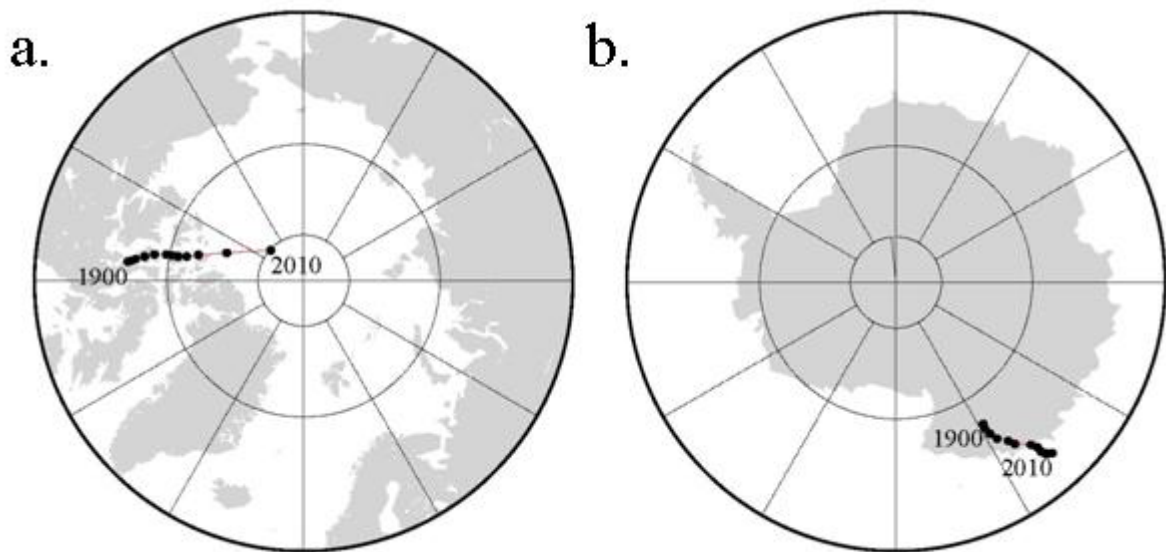


圖六：磁通量分布圖。

### 三、磁場隨時間變化

#### (一)、 磁極移動

1. 磁北極由經度 263.8 度北緯 70.5 度移置經度 227.0 度北緯 85.1 度。每年向西北移動約 3.6 度 (圖七 a)。且磁北在 1980~2010 之間有較大的變化，移動的距離增加為 4 倍到 7 倍。
2. 磁南極由經度 148.3 度南緯 71.7 度移至經度 137.4 度南緯 64.4 度，磁南極約每年向西北移動 1.2 度。(圖七 b)

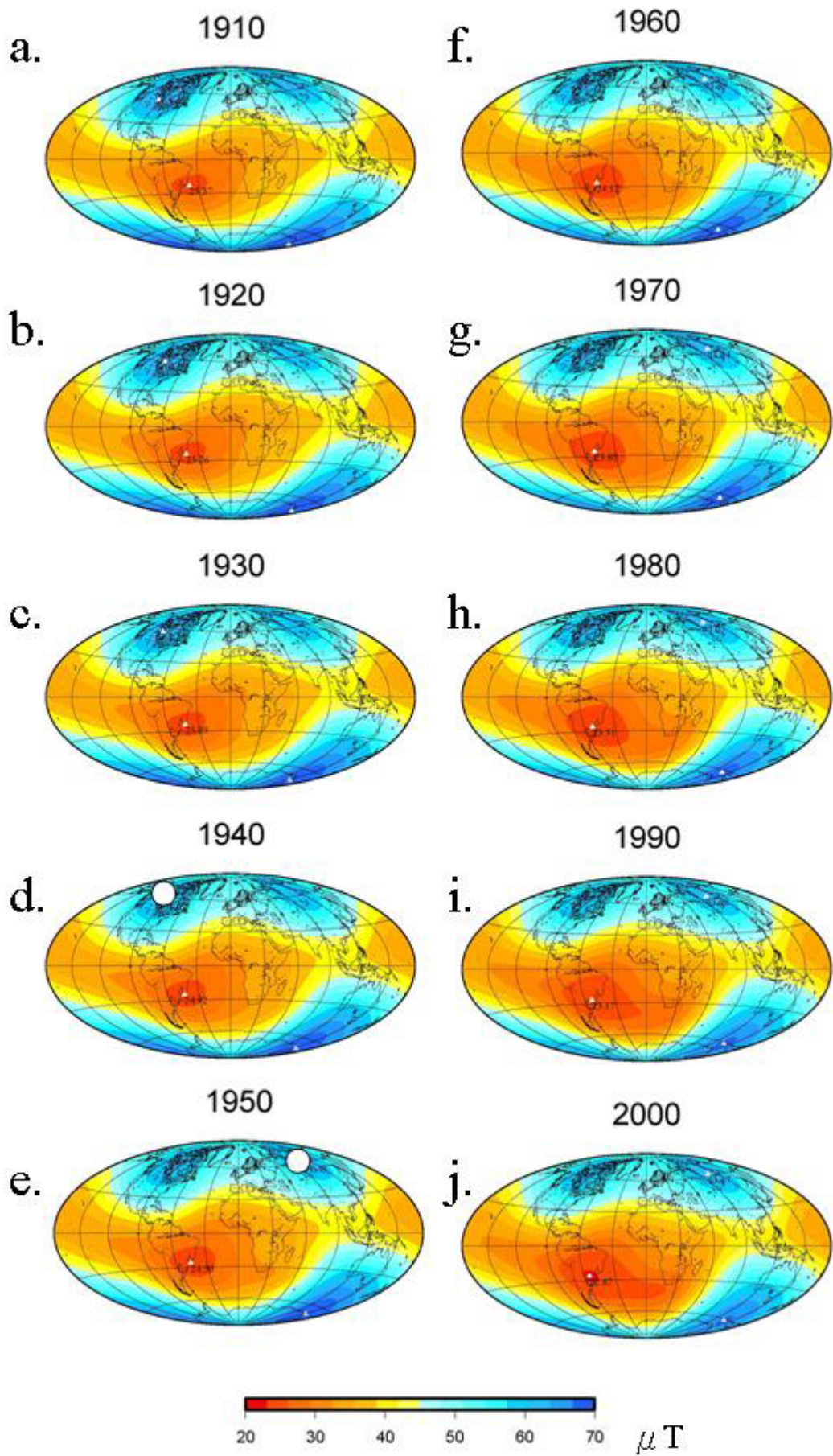


圖七：歷年平均視磁極移動，a 為磁北極，b 為磁南極。

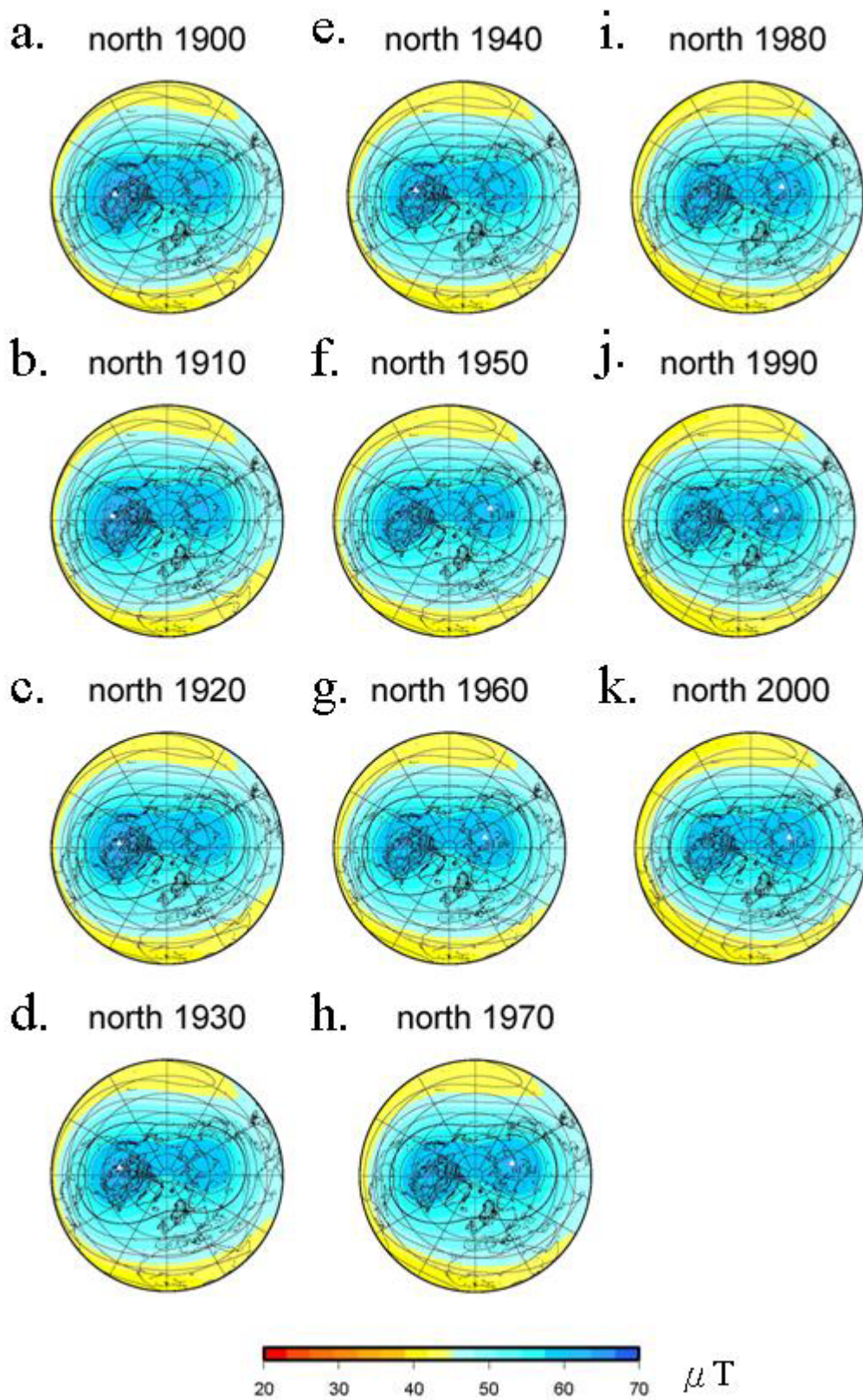
#### (二)、 全球磁場強度分布

南半球地區磁場最強的地點與視磁極地點大致為同地區 (圖八)，而最強的地點亦逐年往東北方漂移且逐年強度減弱。

北半球地區俄羅斯與加拿大兩區磁場強度較高約  $61.62 \mu\text{T}$  (圖九)，而 1950 年以前以加拿大磁場強度較強，但 1950 年以後轉變為俄羅斯磁場強度較強約  $61.48 \mu\text{T}$ 。



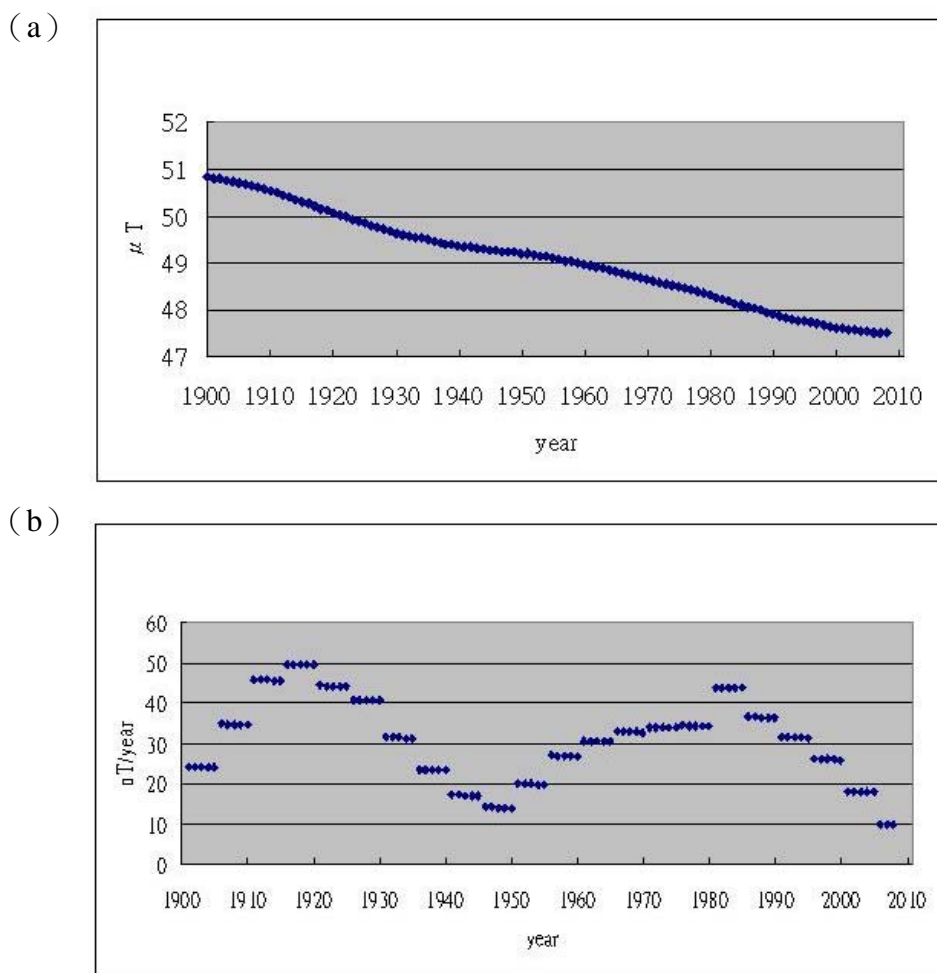
圖八：每十年之全球磁場強度分布。



圖九：每十年之全球磁場強度分布（以北極為中心）。

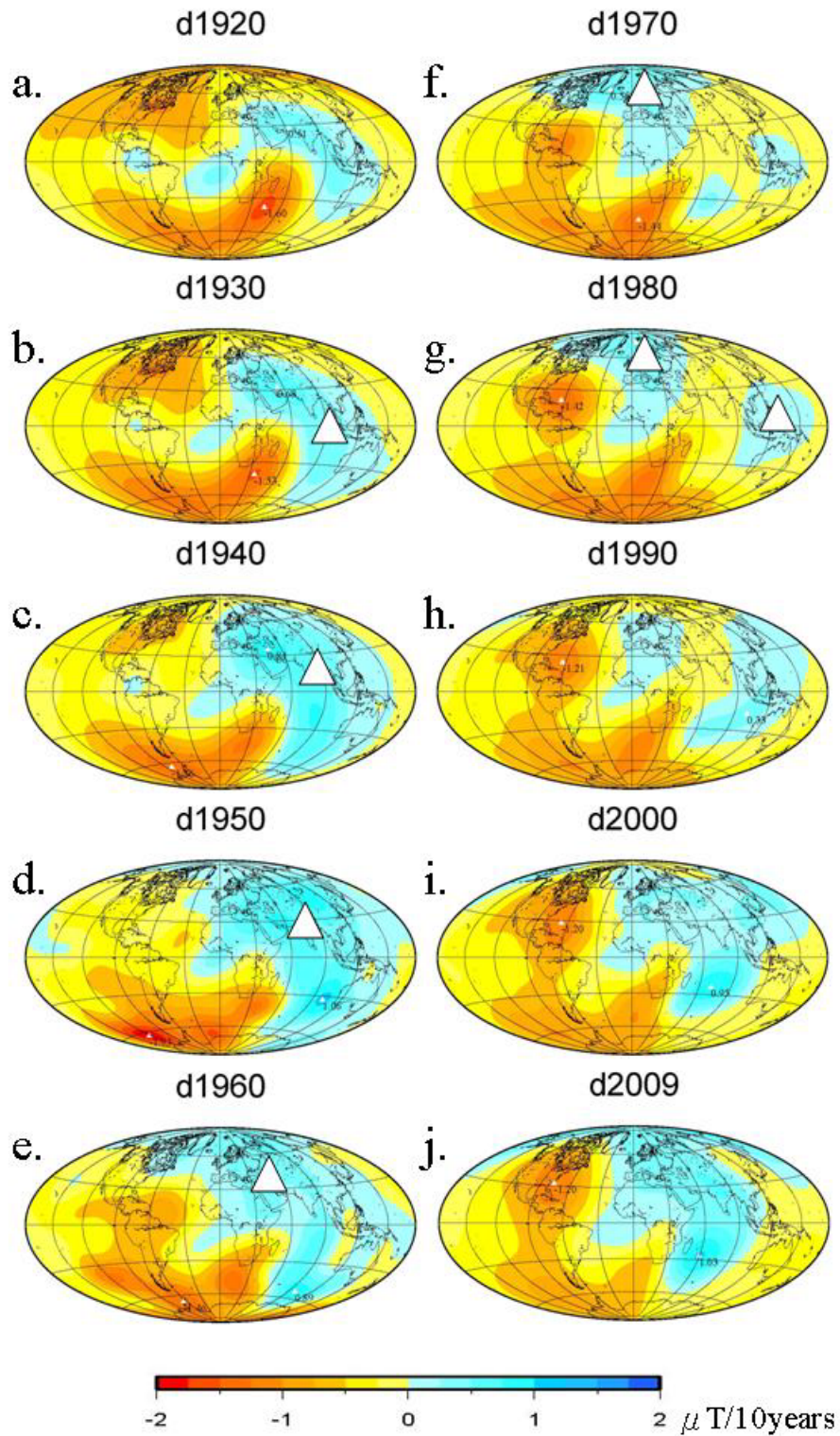
### (三)、 全球磁場強度變化

1. 全球平均磁場強度逐年減弱 (圖十 a)。
2. 全球磁場強度依速度變化趨勢可分為四期(圖十 b)。
  - (1). 1920 以前：磁場強度減弱的趨勢增強，在 1920 年達到頂峰，約 50nT/year。
  - (2). 1920-1950 年代：減弱速度達與頂峰後開始趨緩，1950 年代降至最低約 14nT/year。
  - (3). 1950-1980 年代：減弱速度又再次加快，在 1980 年代再次達到頂峰，約 45nT/year。
  - (4). 1980-2010 年代：減弱速度再次趨緩，2010 年時，減弱速度大約 10nT/year。
  - (5). 磁場強度變化速度有 60~70 年的週期性。



圖十：歷年磁場強度變化 (a) 與磁場變化速度 (b)。

3. 全球磁場強度變化分布，大致分為東半球及西半球，其中東半球增強為主，西半球減弱為主。(圖十一)



圖十一：每十年之全球磁場強度變化分布。

4. 地磁場強度變化的空間分布可分為四期：

(1). 1920 年代以前(圖十一 a)

地球南北半球，中、高緯度其磁場強度減弱幅度明顯。

(2). 1930 到 1950 年(圖十一 b~d)

I. 西半球磁場平均強度減弱速度趨緩。東半球磁場強度增強趨勢上昇。

II. 磁場增強中心位於東南亞(圖十一-b~d 中，三角形所標示)，中心逐年西北移動，且範圍逐年擴張。

III. 磁場增強的範圍逐年擴張，並在 1950 年代達到最大值，面積約為整個地球東半部。

(3). 1960 到 1980 年(圖十一 e-g)

I. 全球磁場平均強度減弱範圍逐年加大。

II. 減弱較明顯的範圍由南半球往西北半球延伸。

III. 到了 1980 年代，幾乎整個南半球及西半球的地球磁場強度都在減弱。

(4). 1990 到 2010 年 (圖十一 h~j)

I. 全球磁場強度減弱趨緩

II. 減弱中心位置約在北美洲。

III. 增強中心位置約在印度。

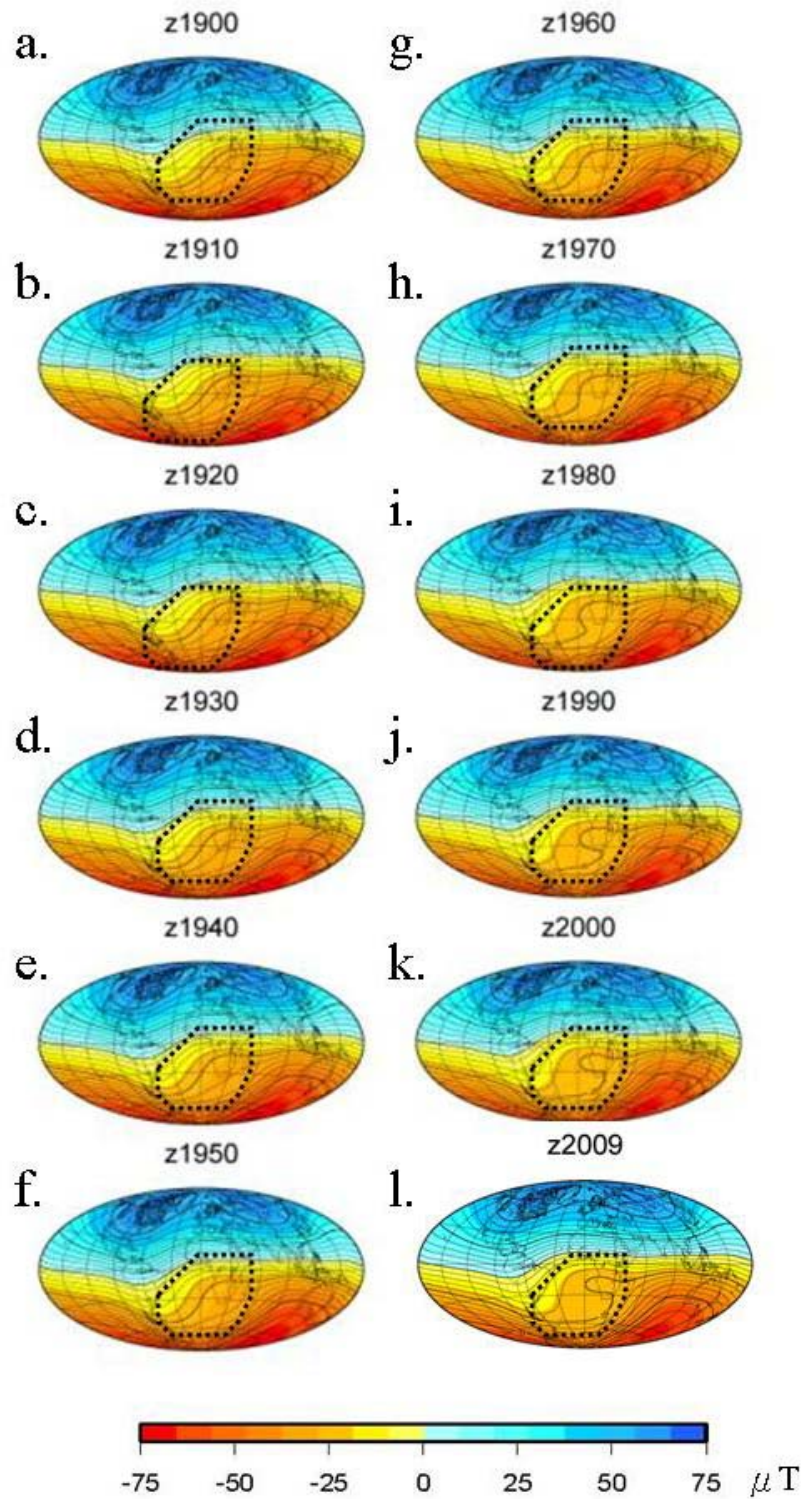
IV. 增強範圍逐年擴張

V. 全球磁場強度變化分布有恢復至第一期的趨勢，1990-2009 年之間的磁場強度變化與分布類似 1920-1940 年。

(5). 磁場強度變化的空間分布亦具有約 60~70 年週期性

(四)、 全球磁通量分布

1. 全球磁通量主要是由南半球向外離開，由北半球進入（圖十二）。
2. 分布於南美洲與非洲之間(圖中虛線所標示區域)，磁通量的變化最為明顯，減弱趨勢逐年向東南擴展。

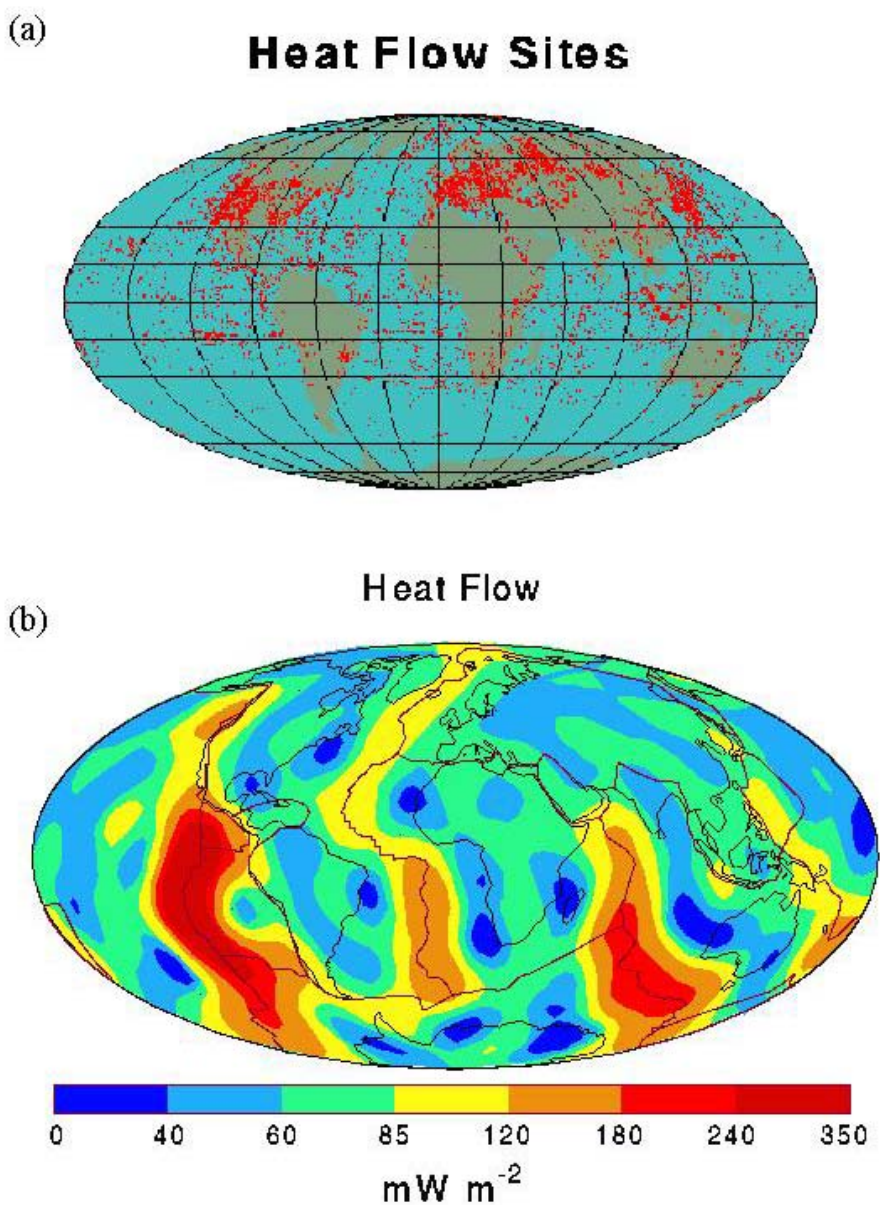


圖十二：磁通量分布圖



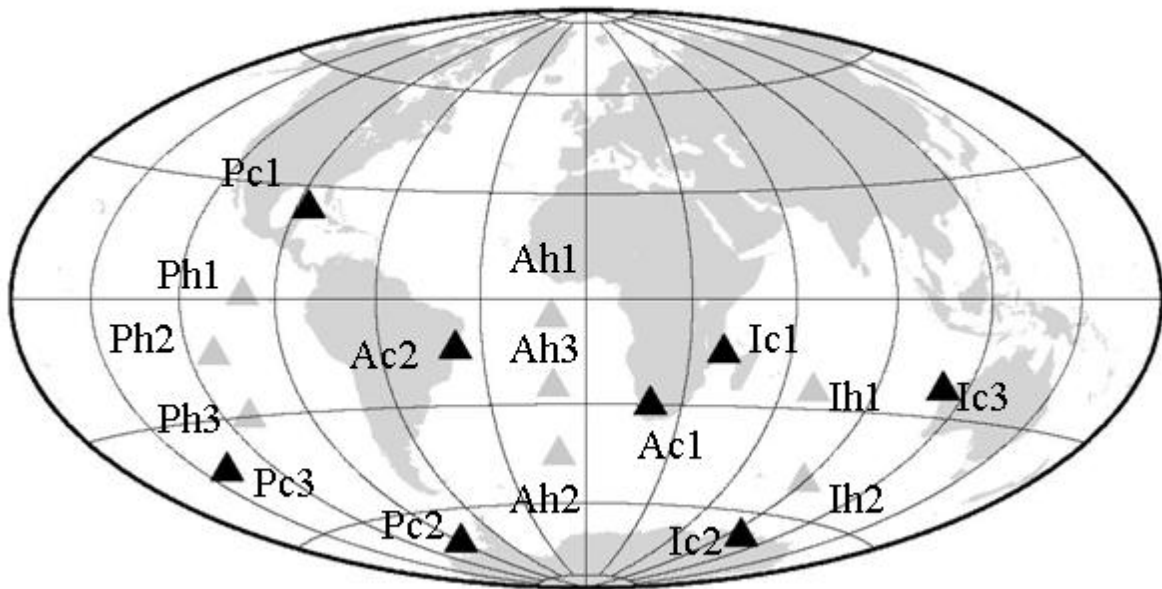
四、地表熱流量分布：我們收集地表熱流量的資料，來比較地球內部熱對流對磁場的影響

- (一)、在地表上有許多的觀測站(如圖十三 - a：紅點)，測得的地表熱流量觀測數值後，利用內插及外推，得到全球地表熱流量分布圖(如圖十一三 - b)
- (二)、熱接近深紅色的地區，為熱量較高的地區，而越接近藍色的地區，為熱流量較低的地區。由此圖觀察可推斷，越紅的地方可視為地球內部越熱，熱對流往上的地方；越藍的地區可視為熱對流下沉的地區。



圖十三：a 為熱含量測站，b 為熱含量分布圖。

- (三)、熱流量與地球磁場：地核的成分可分為內地核的固態鐵，與外地核的液態鐵，因地核是一個高溫高壓的環境，游離化的液態鐵，是放出許多自由電子，當這些自由電子被熱對流牽引而開始運動時，就會產生電流極地磁場，因此地球內部(地核)溫度分布的狀態很可能與地球磁場的變化有相當的的關連性。
- (四)、我們分別在太平洋、大西洋及印度洋地區，選擇熱流量較大與熱流量較小的觀測點(圖十四)，分析這些地點的磁場強度與視磁極位置隨時間的變化。



圖十四：太平洋、大西洋及印度洋地區不同熱流量觀察點分布圖。

(五)、視磁極位置隨時間的變化

1. 太平洋地區

- (1). 磁極分布範圍約東經 90~150 度，北緯 60~80 度。
- (2). 磁極整體向西南方漂移(如圖十五 a 中箭頭方向)。

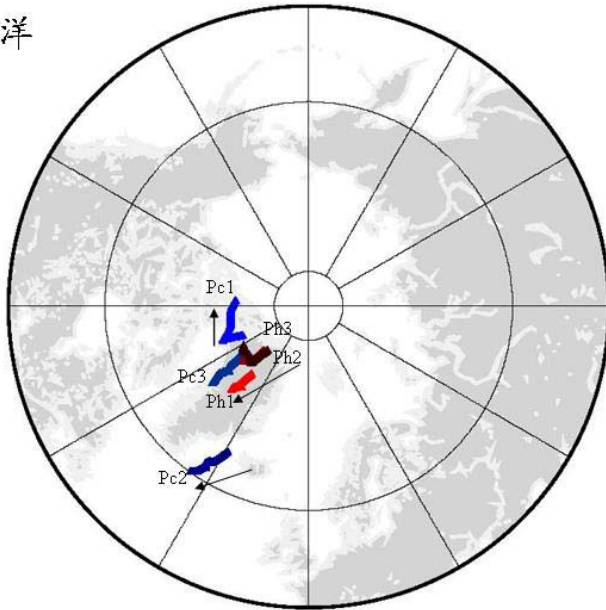
2. 大西洋地區

- (1). 磁極分布範圍約東經 30~120 度，北緯 60~75 度。
- (2). 磁極整體向西南方漂移(如圖十五 b 中箭頭方向)。

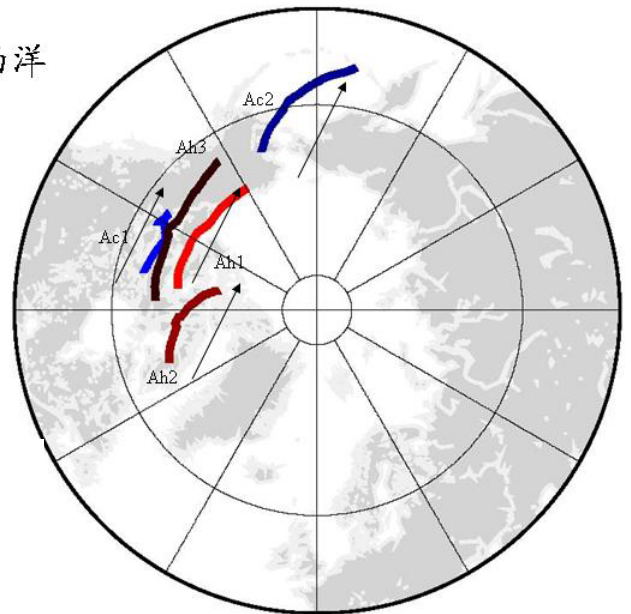
3. 印度洋地區

- (1). 磁及分布範圍約東經 90~150 度，北緯 60~75 度。
- (2). 磁極整體向南方移動(如圖十五 c 箭頭方向)。

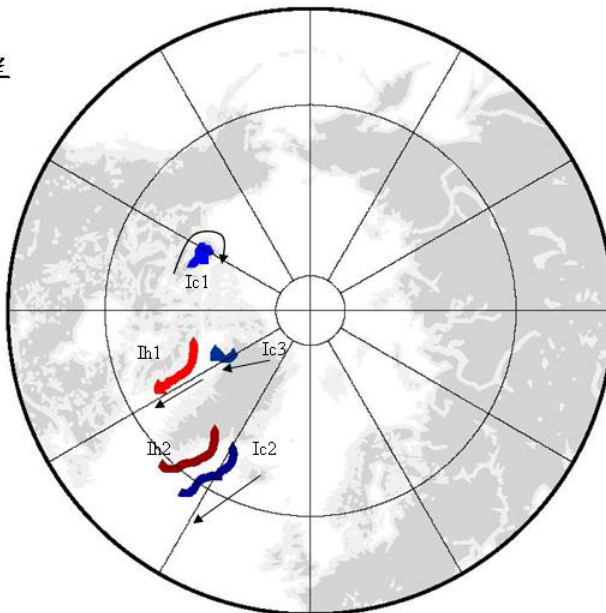
a. 太平洋



b. 大西洋



c. 印度洋

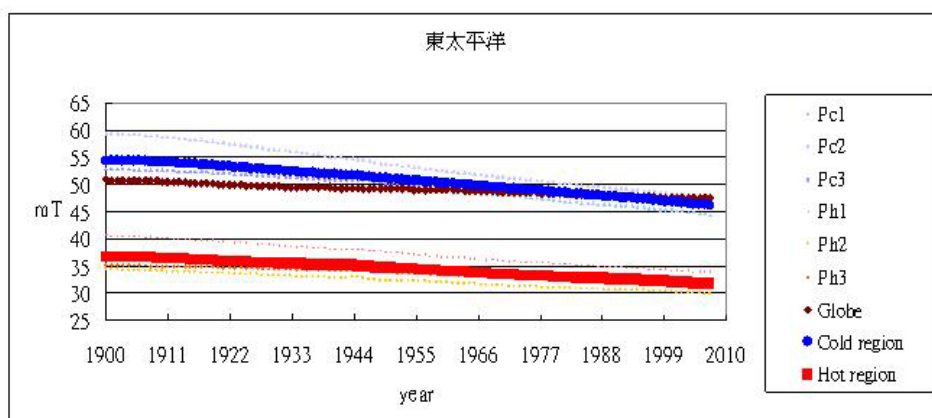


圖十五：不同地區之視磁極移動軌跡

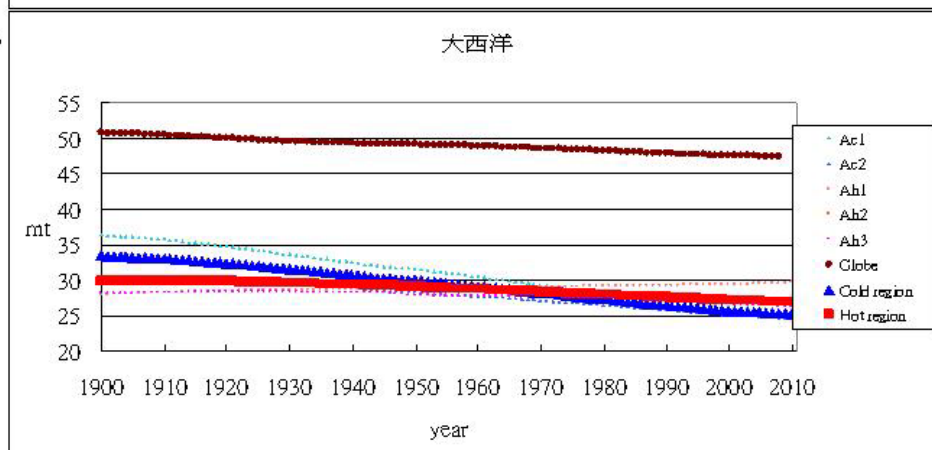
(六)、 強度變化與熱流量的關聯性

1. 大致上，熱流量較強的地區（圖十六中紅色線）都比全球磁場平均強度較弱。
2. 熱流量較強的區域，西起東太平洋洋脊，東至印度洋洋脊之間，地球磁場強度都顯得較弱（比較圖十三與圖八），而印度洋磁場強度較高的地點可視為交界。
3. 熱對流下降的地區並無明顯的共通特徵，因為熱下沉的地區都較為零散，比較無影響性。

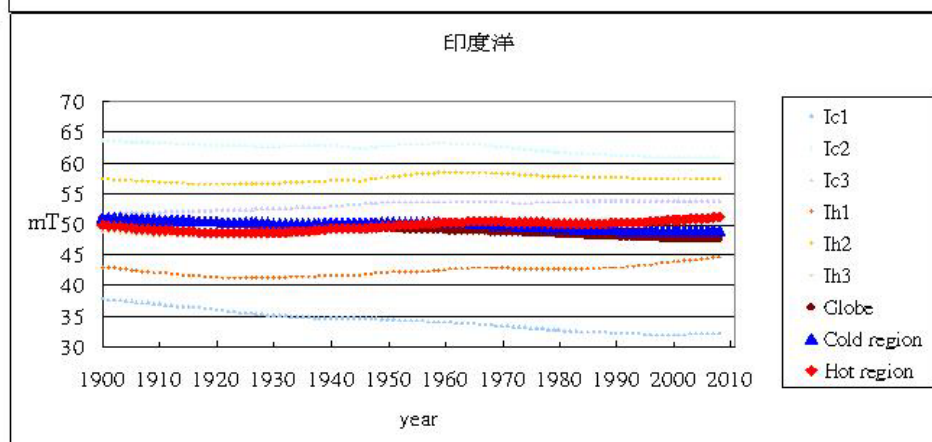
a.



b.



c.



圖十六：不同熱流量地區的地球磁場強度隨時間變化。

(a. 太平洋、b. 大西洋、c. 印度洋\_\_

## 陸、討論

### 一、地磁場強度與視磁極的移動

- (一) 北半球有兩個磁場強度較強的區域，分別位在加拿大地區與俄羅斯地區，磁北極的位置則正好在這兩個區域之間。
- (二) 加拿大地區的磁場強度逐年減弱速度較俄羅斯地區為快。1950 年代以前，以加拿大地區磁場強度較強，而 1950 年代以後，轉變為俄羅斯地區磁場強度較強。
- (三) 磁北極正在由加拿大地區移往俄羅斯地區，與兩地區地磁場強度的相對消長變化相同。起初加拿大地區磁場較俄羅斯強但減弱速度較快，因此磁北極逐年往俄羅斯的方向移動。
- (四) 南半球僅有唯一磁場強度較強之地區，此地區逐年往東北方移動，南磁極亦是往東北移動。
- (五) 顯見視磁極所在位置與地磁場強度分佈一致，但南北磁極的特性卻不一致。

### 二、地磁場強度分佈與外地核物質轉動的特性

- (一) 磁場強度最弱的地區分佈並未完全平行赤道，而是呈現西低東高傾斜約 10 度左右的狀況。
- (二) 由於地球磁場強度受地球自轉偏向力的效應所影響，顯見造成地球磁場的外地核物質轉動方向與地球自轉並不一致，兩者自轉軸之間夾角亦應為 10 度左右。
- (三) 視磁極位置偏離地理南北極的現象亦支持上述推論。

### 三、磁通量的南北半球差異

- (一) 原本南半球向外北半球向內的磁通量分佈大致與磁場強度分佈類似，在赤道附近呈現西低東高的現象。
- (二) 但在美洲赤道以南，磁通量反向的區域卻有逐年向東南擴張的趨勢，顯示外地核物質與地球轉動的特性差異仍在逐年改變。

### 四、磁場強度持續減弱

- (一) 若以目前磁場平均強度約  $47.63 \mu\text{T}$  除以全球平均磁場減弱速度約  $32\text{nT/year}$ ，可以得到大約再經過 1588 年地球平均磁場強度可能會減為零！

- (二) 若分別以磁極磁場強度及磁場減弱速度計算，目前地球磁極大約也會在二千年之內消失。
- (三) 但由於我們僅有地球磁場過去一百年的觀測數據，因此外推到一、二千年後是否依然適用還有疑慮。
- (四) 磁場強度減弱的時空趨勢，均有明顯 60~70 年的週期性。

## 五、熱流量與地球磁場

- (一) 地表熱流量大的地方，與地球磁場較弱的區域相吻合。大致從東太平洋洋脊往東，經大西洋洋脊，到印度洋洋脊之間的地區。
- (二) 地表熱流量大小與視磁極移動相關連性不高，視磁極的移動比較呈現出與地理位置一致的特性。
- (三) 顯見地球內部熱對流的作用會主要影響地球磁場的區域性特徵而非全球特徵。

## 六、分裂的北極和統一的南極

- (一) 可能與磁力線收斂有關：由全球磁場強度細分可知平均最薄弱磁場強度位於南半球，可以假設地球磁場中心，並非位於地球中心，而是位於較偏南半球，因此磁極端與南半球較為貼近，其磁力線收斂程度較密集，形成單磁場強度較強的低區，反之則北半球形成兩個磁場強度較強的地區。
- (二) 可能與非偶極磁場強度有關：依照研究結果，影響全球磁場強度分布的因子可以分為偶磁場強度及非偶磁場強度，因此我們可以假設北半球磁場強度受到非偶極因子影響的程度大於南半球，因此形成北半球有兩個磁場強度較強的區域，而南半球只有一個。

## 柒、結論

- 一、地球磁北極與磁南極的特性相異。
- 二、地磁場的分佈顯示出造成地球磁場的外地核物質轉動方向與地球自轉並不一致，兩者自轉軸之間夾角亦應為 10 度左右。
- 三、地球磁場的強度有可能在兩千年內減弱到零！
- 四、地球磁場的變化有 60~70 年的週期性。
- 五、北半球向內的磁通量方向正在往南半球擴張。
- 六、未來可能會伴隨磁極反轉的現象出現！

## 捌、參考資料及其他

趙丰。科學人雜誌 2005 年 5 月號。台北：遠流出版事業股份有限公司。民 94。頁 32-34。

Gary A. Glatzmaier、Peter Olson。科學人雜誌 2005 年 5 月號。台北：遠流出版事業股份有限公司。民 94。頁 39-40。