

# 太陽活動과 宇宙線

서울대학교 물리과대학 교수 권 영 대

<目

1. 序 論
2. 宇宙線 研究의 現狀
3. 太陽 活動과의 關係
- 1) 太陽面 爆發

次>

- 2) 惑星間 空間
- 3) 宇宙線 強友의 變化
- 4) 宇宙線 強友의 異常變化
4. 結 語

## 1. 序 論

無限히 먼 宇宙의 저쪽에서 이 地球로 쏟아져 들어오는 쉐 放射線, 이것이 宇宙線이다. 대체 이 宇宙線은 어디서 發生하였을까? 그리고 어떤 경로를 밟아 이 작은 땅 덩이 위에 쏟아지고 있을까? 이것을 아는 길은 바로 저 蒼空에 무수히 널려있는 별들을 包含한 宇宙의 神秘를 푸는 길로 통하고 있다.

宇宙線의 研究는 두 가지 面을 가지고 있다. 하나는 高 에너지 粒子의 物理學이다. 1912年에서 1919年 사이에 獨逸사람 헤스(Hess)와 콜히르스터(Kolhörster)에 의해서 空氣의 電離度의 問題로 부터 始作된 宇宙線의 研究는 항상 그 時代에 있어서 最高의 에너지를 가진 素粒子들을 提供하였고, 現在 알려지고 있는 大部分의 素粒子가 이 宇宙線 속에서 發見되었던 것이다. 實際로 素粒子論의 發展의 歷史는 宇宙線과 分離해서 생각 할 수 없다. 또 하나의 面은 宇宙線 自體의 問題다. 宇宙線은 宇宙 自體內에서 만들어졌고 그리고 거의 想像을 할 수 없을 정도의 높은 에너지를 宇宙 自體內의 어떤 機構로부터 附與 받았기 때문에 이것의 研究는 바로 宇宙의 構造와 깊은 관련을 맺고 있는 것이다. 太陽을 例로 들면, 이것 自體가 하나의 宇宙線 源이며 太陽으로부터의 微粒子流와 磁場은 惑星間 空間內

에서의 宇宙線의 傳播를 크게 좌우한다. 이렇게 宇宙線은 太陽 活動의 機構를 알아내는 가장 有力한 方法中의 하나다.

本 小稿는 太陽 活動과 宇宙線의 關係에 대해서 지난 1957年~1958年 사이의 I.G.Y. 國際 共同 觀測과 1964年~1965年 사이의 IQSY 國際 共同 觀測 結果를 토대로 說明하려한다.

## 2. 宇宙線 研究의 現狀

宇宙線은 보통 크게 나누어 1次 宇宙線과 2次 宇宙線으로 나눈다. 嚴密하게 따진다면 2次 宇宙線은 1次 宇宙線이 地球의 大氣圈에 入射하여 空氣中의 酸素, 窒素等 元素의 原子核과의 相互作用으로 만들어진 것이기 때문에 순수한 宇宙線은 아니다. 그러나 一般的으로는 이들 1, 2次 宇宙線을 합쳐서 宇宙線(Cosmic Ray)라고 通稱한다. 1次 宇宙線은 大氣圈에 들어와서 空氣의 原子核과 衝突하여 核子(陽子, 中性子の 總稱)와 中性 또는 荷電 파이( $\pi$ ) 中性子を 만들어 낸다. 荷電 파이 中間子는 一定한 壽命( $2.6 \times 10^{-8}$ 秒)이 지나면 뮤우( $\mu$ ) 中間子와 中性 微子로 崩壞한다. 뮤우 中間子는 空氣 核과 弱한 相互作用을 하므로 核 崩壞를 하는 일은 매우 드물고 비교적 오래 살아 남아서 地上에서 觀測되는 宇宙線의 大部分을 形成한다. 그러나 이것도 역시 一定한 壽命( $2.2 \times 10^{-6}$ 稱)이 지나면 電子와 中性 微子로

崩壞해 버린다. 中性 파이 中間者는 壽命이 아주 짧아서 ( $10^{-16} \sim 10^{-15}$  秒) 即時 두 개의 光子로 崩壞해 버린다. 그리고 이 光子가 큰 에너지를 가지고 있으면 電子雙 創生에 의해서 각각 陽電荷와 陰電荷를 가지는 電子 두개로 變한다. 또 이 電子는 制動 輻射에 의해서 光子를 낳고 이들 電子와 光子는 空氣 샤워를 이룬다.

그리고 核子와 中性 혹은 荷電 파이 中間子 (N-粒子라 總稱한다)는 또 空氣 核과 衝突하여 다시 N-粒子들을 혹은 新粒子들을 만든다. 新粒子는 質量에 따라 分類되며 각각 하이페론 (Hyperon)과 케이 (K) 中間子라고 불리워 진다. 하이페론들의 質量은 核子の 質量 보다 크며 케이 中間子는 核子과 파이 中間子의 中間의 量質을 가지고 있다. 케이 粒子는 여러가지의 崩壞 方式을 가지고 있지만 어느 것이나 電子의 質量의 966倍 가량의 同一한 質量을 가지고 있다. 이 케이 中間子 崩壞 方式의 問題는 中國人 物理學者 李政道와 楊正寧에 의해서 그것이 弱한 相互作用을 할때와 崩한 相互作用을 할 때의 差異라는 結論이 내려졌다. 宇宙線 속에는 이들 100餘種의 素粒子들이 全部 들어 있다.

2次大戰後 人工 加速器의 급속한 發達로 파이 中間子나 케이 中間子 또는 하이페론들이 實驗室에서 얼마든지 만들어지게 되므로써 그 性質이 많이 알려 졌으며 오늘날 新粒子의 研究는 宇宙線을 떠나서 人工 加速器에 依支하게 되었다. 그러나 現在 加速器로 낼 수 있는 最大의 에너지는 330億 電子 볼트 이므로 이 이상의 超高 에너지 粒子의 研究는 아직도 宇宙線의 獨舖台다. 페르미 (Fermi)에 의하면 在來 方式의 加速器로  $10^{16}$  電子 볼트를 낼려면 地球의 크기만한 加速器가 必要하게 되리라는 것이다.

한편 宇宙線의 起源과 關係가 있는 1次 宇宙線 自體의 研究는 어떤가? 이 問題는 먼저 1次 宇宙線이 어떤 粒子로 構成되어 있는나의 問題로부터 始作하여 그 에너지 범위가 얼마며 어떤 길을 밟아 地球에 入射하며 惑星間 空間 및 地球 磁氣에 의해서 어떻게 變調되는가의 問題가 된다. 그리고 그 起源이 어디냐는 問題도 매우 중요하다.

地上에서 宇宙線 強度(單位 面積當, 單位 時間當 入射하는 粒子數로 正義)를 測定해 보면 地磁紗度에 따라 變化한다. 이 地磁氣 效果로 보아 1次 宇宙線은 주로 荷電粒子로 되어 있음을 알 수 있고 東西效果(東쪽에서 보다 西쪽에서 보다 더 많은 數의 粒子가 들어 오는것)와 地上에서 陽電荷의 中間子가 陰電荷의 中間子보다 더 많은 소위 陽電荷 過剩의 事實로부터 1次 宇宙線은 주로 陽子로 構成되었다는 것이 判明되었다. 現在로는 陽子와 中性子 그리고 헬륨, 리튬, 베리륨, 硼素, 炭素, 酸素, 弗素와 原子番號 10 以上の 여러가지 元素의 原子核으로 構成되어 있음을 알고 있다. 그리고 그 에너지 範圍는  $10^9$  電子 볼트에서  $10^{19}$  電子 볼트정도에까지 벌어져 있다. 이 에너지의 上限에 대해서는 아직 直接 測定은 하지 못했지만 다음과 같은 사실로 미루어 추진될 것이다. 페르미가 생각한대로 宇宙線이 銀河系中の 여기 저기를 彷徨하다가 磁場을 가지고 있는 이온 雲과 몇번이고 衝突하여 加速된다면 어느 限界值까지는 加速될 것이지만 그 이상이 되면 銀河系 속에 그 이상 幽閉되어 있지 못하여 銀河系 밖으로 뛰어나와 버릴 것이다. 이것은 銀河系의 두께가 約 1000光年, 銀河系中の 磁場 強度가  $5 \times 10^{-6}$  가우스 정도이니까  $10^{18}$  電子 볼트의 陽子의 曲率 半徑이 바로 銀河系의 두께 程度가 된다는 事實로부터 알수가 있다. 그러면 이와 같은 1次 宇宙線은 어디에서 發生하였을까? 宇宙線이 發見되던 初期에는 잘 몰랐으므로 거의 제멋대로의 模型을 생각했었다. 그러나 1次 宇宙線의 性質이 차차 밝혀지고 또 이에 따라 자연히 여러가지 制約이 나타나서 차차 정돈되어 왔다. 現在로는 宇宙線 源의 存在를 太陽 黑點, 또는 太陽 近傍, 銀河系中の 特殊한 별, 銀河系 全體 또는 銀河系外的 어떤 星雲等에서 나오는 것이 아닌가 생각하고 있다. 銀河系中の 加速 機構의 설명은 1949年 페르미에 의해서 提示된 소위 페르미 加速이 오늘날에도 加速된다는 點에서 큰 魅力을 가지고 있다. 즉 銀河系 속의 磁場은 特殊한 곳을 제외하고는 아주 不規則한 모양을 하고 있어서 이 속을 荷電 粒子가 달리면서 무척 磁場과 衝突하면 加速이 된다는 것이다. 이것은 다음과 같이 생

각해 보면 곧 이해할 수 있다. 즉 많은 무거운 球가 전혀 不規則하게 운성하고 있는 空間을 생각하고 이 속에 가벼운 球 하나가 뛰어 들었다고 한다. 가벼운 球가 무거운 球와 正面 衝突을 하면 가벼운 球는 무거운 球의 速度의 倍의 速度를 얻고 가벼운 球가 무거운 球를 뒤 쫓아가서 衝突한다면 무거운 球의 速度의 倍의 速度를 잃는다. 이것은 간단한 力學 문제이며 어떤 一定 時間 後에 統計적으로 보면 뒤 쫓아 衝突하는 回數보다 正面 衝突하는 回數가 더 많으므로 가벼운 球는 速度가 점점 커질 것이다. 速度가 커진다는 것은 곧 에너지가 커진다는 것을 意味하므로 무거운 球를 磁場, 가벼운 球를 荷電 粒子라고 한다면 곧 荷電 粒子는 加速이 되는 것이다.

宇宙線 強度를 測定해 보면 時間에 따라서 強度가 變함을 곧 알 수가 있다. 이 變動은 氣象學的 要因 즉 氣壓, 氣溫 等에 의한 것과 太陽의 活動에 의한 것이 있다. 氣壓이 增加하면 空氣層이 두꺼워 짐으로 強度는 줄어 든다. 實際 氣壓 1 mmHg(水銀柱 1mm)의 增加에 대해서 0.3% 정도 減少한다. 溫度가 내려가면 增加한다. 이것은 氣溫이 上昇하면 大氣는 全體로서 膨脹하기 때문이다. 따라서 地上에서 觀測되는 宇宙 中間子의 發生 高度가 올라 가므로 強度는 줄어 든다고 해석되며 이것은 季節 効果와도 관계가 있어서 여름과 겨울은 대략 2% 정도 차이가 난다.

太陽에 의한 變化는 太陽日 變化와 太陽 活動의 變動에 의한 周期 變化로 나눌 수가 있다. 太陽日 變化는 24時間을 周期로 大略 地方에 따라 0.2%~0.5%의 變化를 하며 極大는 地方에 따라 다르지만 대략 12時~2時 사이에 있다. 太陽 活動의 變動에 의한 周期 變化는 다시 太陽의 自轉 周期인 27日 周期와 11年을 주기로 한 太陽 活動의 變動에 의한 變化로 나눌 수 있다.

이 외에도 太陽 黑點 爆發에 의한 異常 增加, 磁氣 暴風에 의한 異常 減少가 있다. 이것들은 太陽이 하나의 宇宙線 源으로서 혹은 太陽으로부터 흘러 나오는 微粒子流에 의한 宇宙線の 地球 進入 妨害 等으로서 설명되고 있다. 다음 項에서는 1963年 9月 日本 京都에서 열렸던 國

際 宇宙線 및 地球 會議에서 發表된 研究 結果를 參考로 太陽 活動과의 關係를 좀더 具體적으로 다뤄 보겠다.

### 3. 太陽 活動과의 관계

#### 1) 太陽面 爆發(Eruption)

太陽面 爆發이 일어나면 可視光을 비롯하여 X線, 電波, 여러가지 에너지를 가진 微粒子(主로 陽子)와 磁場을 內包한 電離된 캐스 雲 等이 나온다. 可視光으로 관측되는 가장 대표적인 것이 “프레아(Flare)”라고 불리우는 것으로 黑點 附近이 갑자기 밝아지는 현상이다. “프레아”의 物理的 狀態는  $10^{13}/\text{cm}^3$ 의 電子 密度와 1~2萬度の 溫度를 가지고 있는 대략 1萬km 정도의 가느다란 실 모양의 것이다. “프레아”에 따른 紫外線이나 X線은 地球 大氣의 吸收로 地上에서는 直接 관측되지 않지만 로켓이나 氣球 등으로 관측할 수 있다. 이것은 爆發時에 나오는 平均 50萬 볼트의 에너지를 가진 電子가 中性 水素와의 衝突로 내는 것이라 생각되고 있다. “프레아”가 일어나면 “코로나(Corona)”의 底部가 一時的으로 溫度가 높아지고 그리고 密度가 커지는 소위 凝集이 일어난다. 여기에서 熱輻射로서 波長이 數 兪그스트롬의 X線이 나오고 이것이 바로 地球의 電離層을 攪亂시킨다. 地球 磁氣의 變化는 微粒子流(主로 低 에너지 陽子)가 地球 磁力線을 관통하여 地球 주위에 環狀 電流를 만들기 때문이라고 생각된다. 그 외에도 極 地方에 攪亂을 일으키는 여러가지 波長의 電波도 나오고 있다.

그러던 이러한 太陽面 爆發은 왜 일어나는가? 아직 확실한 定說은 없지만 美國의 物理學者 토마스·골드(Thomas Gold)에 의하면 복잡한 黑點 磁場이 太陽의 不均一한 自轉에 의해서 서서히 비껴여지고 그 結果로 磁力線을 따라 電流가 흐르게 되며 이 電流에 의한 핀취(Pinch) 效果로 收縮이 일어나서 에너지가 放出된다는 것이다. 따라서 爆發時에 나오는 에너지는 黑點 磁場 에너지의 一部 임에 틀림없다.

#### 2) 惑星間 空間

太陽面에서 일어난 攪亂은 惑星間 空間을 거쳐 地球에 到達한다. 지금까지는 惑星間 空間의

性質은 自然 現象의 觀測으로부터 알려지고 있었으며 一般的으로 眞空이라고 생각되었다. 그러나 I.G.Y. 기간 中의 國際 共同 觀測과 美蘇의 人工衛星 관측에 의해서 많은 事實이 알려졌다.

惑星間 空間은 이온화된 캐스로 꽉 차 있고 그 粒子 密度는 單位 體積當 10개의 粒子 정도이며 自體의 磁場은 가지고 있지 않다. 그러나 太陽의 一般 磁場과 黑點의 強한 磁場이 惑星間 空間에 放射狀으로 퍼지고 있다. 이 磁場은 아마도 太陽系 內에 꽉 차 있는것 같다. 그리고 이 規則的인 磁場 외에도 太陽으로부터 微粒子流에 의해서 찢겨져 나온 磁場 雲도 있다. 美國의 Nasa 그룹은 이 惑星間 磁場을 實測하였다. 파 이오니아 5號, 익스플로러 6號와 10號 등이 惑星間 空間의 프라즈마와 太陽으로부터의 磁場을 실제로 관측 하였던 것이다. 그리고 地球 磁氣의 교란을 일으키는 環狀 電流도 地球 半徑의 7배 정도의 거리에서 發見하여 이것의 存在를 理論的으로 밝힌 사람의 이름을 따서 차프만(Chapman) 帶라고 命名하였다. 이들을 測定하기 위해서 떠있던 人工衛星이 겨우 地球 半徑의 38.4배 정도의 거리였으므로 惑星間 空間의 전모에 대해서는 더욱이 확실한 이야기를 할 수 없다. 이런 意味에서 金星 探索의 觀測 結果가 크게 기다려진다.

### 3) 宇宙線 強度의 變化

宇宙線 強度의 變化는 앞에서 이야기 한것 처럼 太陽日 變化和 太陽의 活動의 變動에 의한 變化가 있다. 日 變化는 大氣層의 物理的 狀態와 地球 磁場의 영향도 받지만은 惑星間 磁場과 微粒子流에 의해서 크게 영향을 받고 있다. 日 變化의 極大 時間의 世界的 分布의 研究에 의해서 地球 磁場이 太陽의 微粒子流에 의해서 壓縮을 당하고 이로 인해서 宇宙線의 進入이 容易하다는 것이 判明되었다. 이 外에도 高緯度에서의 日 變化의 振巾은 低緯度에서 보다 낮은 黃道面 方向에서 오는 粒子의 振巾이 크다는 것도 밝혀졌다.

이제 世界 各國의 連續 觀測도 거의 30年 程度의 歷史를 가지고 있기 때문에 太陽 活動의 11

年 周期의 變化도 대략 확실해 졌다. 特히 지난 I.G.Y. 기간 中이 太陽 活動의 最盛期였으므로 各國의 觀測者들은 여기에 많이 注力하였다. 氣球을 사용하여 連續 觀測을 한 美國의 맥도날드(Mcdonald) 그룹은 太陽 活動이 盛해 지면 一般的으로 宇宙線 強度가 減少될 뿐만 아니라 에너지 分布의 極大도 에너지가 높은 쪽으로 옮겨 간다는 것을 밝혔다. 그 外에도 活動의 最盛期에는 低에너지 粒子는 없다는 것도 實證되었다.

### 4) 宇宙線 強度의 異常 變化

異常 變化는 磁氣 暴風에 의한 減少 혹은 增加와 太陽에 起源을 둔 太陽 宇宙線의 異常 增加로 나누어 진다.

磁氣 暴風이란 太陽面의 黑點 爆發로 부터 數時間을 지나서 地球 磁場의 급격한 요동이 일어나서 地磁氣 強度가 減少되는 現象을 말한다. 磁氣 暴風이 일어 날때 마다 꼭 宇宙線 減少가 일어 나는 것은 아니다. 이것은 太陽 磁場을 內包한 微粒子流가 低 에너지 宇宙線을 反撥시켜 地球 入射를 妨害하기 때문에 일어난다고 해석되고 있다.

지금까지는 太陽 活動때문에 太陽 以外에서 오는 宇宙線의 強度가 變化하는 現象을 취급하였다. 이제부터는 太陽에 起源을 둔 太陽 宇宙線의 增加에대해서 說明하겠다. 이現象은 그리 자주 일어나는 것은 아니지만 強度 測定이 제 軌道 위에 올라선 後로 다음과 같은 10회의 觀測 記錄을 가지고 있다.

- |     |       |     |     |
|-----|-------|-----|-----|
| 1回  | 1942年 | 2月  | 28日 |
| 2回  | 1942年 | 3月  | 7日  |
| 3回  | 1946年 | 7月  | 25日 |
| 4回  | 1949年 | 11月 | 19日 |
| 5回  | 1956年 | 2月  | 23日 |
| 6回  | 1960年 | 11月 | 9日  |
| 7回  | 1960年 | 11月 | 23日 |
| 8回  | 1967年 | 1月  | 28日 |
| 9回  | 1969年 | 2月  | 25日 |
| 10回 | 1969年 | 11月 | 9日  |

이 中에서 5, 6, 7, 8회의 增加는 대규모였을뿐 아니라 그 觀測 結果가 잘 整理되어 있다. 이때의 觀測은 世界 37個所의 觀測 結果가 集計 되