

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23654166

研究課題名(和文)宇宙線による雲核生成と気候への影響に関する検証実験

研究課題名(英文)Laboratory experiment for verification of cosmic-ray influence on cloud formation and global climate

研究代表者

増田 公明(Masuda, Kimiaki)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・准教授

研究者番号：40173744

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙線の電離作用によって生成された大気イオンがエアロゾルの形成と成長を促進し低層雲量及び地球気候を制御するという仮説を検証するための室内実験の準備研究を行った。微量成分を含む模擬大気を反応容器に導入し、紫外線と放射線を照射して反応生成物を測定するシステムを構築した。ベータ線および重イオンビームを照射し、イオン密度とエアロゾル粒子密度、及び粒径分布を測定した。その結果、イオン密度とエアロゾル粒子密度の比例関係、高イオン密度における飽和の可能性、粒径分布の時間変化などのデータを得た。これにより、さらに詳細な実験を行う準備が整った。

研究成果の概要(英文)：In order to verify a hypothesis that atmospheric ions produced by ionization of cosmic-rays promote formation and growth of aerosol particles and control the earth's climate, we conducted a preliminary study on laboratory experiments. A system has been constructed for introduction of synthesis air with minor constituents to a reaction chamber and measurement of reaction products after irradiation of UV lights and ionizing radiation. We irradiated beta-rays or heavy ion beam and measured ion density, aerosol particle density and particle size distribution. As a result, we obtained data showing a linear relation between ion density and aerosol particle density, saturation tendency at high ion density, time variation of particle size distribution, etc. With these results, more detailed experiments will be ready.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：宇宙線 太陽活動 大気電離 雲核生成 地球気候 チェンバー実験

### 1. 研究開始当初の背景

地球の気候変動が太陽活動の変動と相関していることは従来から指摘されてきた。両者をつなぐメカニズムとして、太陽全放射(主に可視・赤外光)の直接影響や太陽紫外光による上層大気的光化学反応に加えて、銀河宇宙線による雲核生成の促進説が、最近提案されている。1997年以來、Svensmarkらにより、雲生成、特に高度3.2 km以下の低層雲の量が、太陽活動そのものではなく、銀河宇宙線強度の変動とより強い相関を持っていることが示された[1]。銀河宇宙線も太陽活動に影響されるが、宇宙線粒子は太陽磁場の極性によって受ける力が異なるので、必ずしも完全な同期はしていない。このような太陽活動と宇宙線の非同期の期間(1982-1987年)のデータから、地球の気候変動に対して、太陽活動直接ではなく、宇宙線が関与している可能性が示されたのである。雲やそのもととなるエアロゾル粒子、は太陽光を反射したり地球からの放射を吸収したりして、地球気候を決める大きな要因であるので、宇宙線をつくるイオンが雲生成に関わっているとすれば、気候変動とも相関があることになる。しかし宇宙線が雲の成長を促進する定量的なメカニズムは明らかになっておらず、理論、実験の両面からその検証が必要である。実験的な検証は仮説提唱者であるSvensmark自身によってもなされており[2]、宇宙線による雲生成促進を肯定する結果が得られているが、定量的な検討が不十分である。そこでさらに十分に定量的な評価ができる検証実験を行う。

[1] H. Svensmark et al., Phys. Rev. Lett. 81 (1998) 5027-5030.

[2] H. Svensmark et al., Proc. R. Soc. A 463 (2007) 385-396.

### 2. 研究の目的

これまでに行われてきた実験では解明できなかった課題を追求することを本研究の目的とする。宇宙線といっても地球大気中(特に下層)の二次宇宙線にはさまざまな粒子種が存在し、エネルギーも異なる。これは大気中に生じるイオンの電離度やその分布も違うことを意味している。本研究では、地球上の実際の大気組成と同等の混合ガスに対してその成分比を変えながら、いろいろな種類の放射線粒子を加速器や放射性同位元素を用いて照射し、雲核のもとであるエアロゾルが生成される条件を明らかにする。太陽活動の変動によって二次宇宙線のどの成分が効果的に変化するのかを観測や計算から求めて実験結果と比較することによって、宇宙線と雲の関係を解明する端緒としたい。

### 3. 研究の方法

#### (1) 装置

本実験で使用する反応装置は、混合気体を入れる密閉可能な反応容器、人工空気に微量

気体を精度よく混合して疑似大気を生成するガス混合純化装置、反応容器内に生成したイオンの密度を測定するイオン検出器やエアロゾル粒子計数器などの測定器から成る。模擬大気としては、クリーンブース中の自然大気をコンプレッサーにより採取して、乾燥器と精製装置により不純物のない乾燥大気を生成する。大気微量成分としては二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)、水蒸気、オゾンを加える。SO<sub>2</sub>は酸素、水と反応して硫酸エアロゾルを形成する。オゾンは紫外線照射により活性酸素を生成し、硫酸分子の生成に寄与する。水分子はOH基の供給源であると共に、硫酸分子と結合してクラスターを成長させ、エアロゾル粒子や雲核を生成する。反応容器はSUS製で高真空排気とベーキングが可能で、容器壁への付着分子等を効率よく除去できるものである。容器の上部には紫外線照射用の石英窓と、ベータ線照射用の0.1mm厚のSUS窓が取り付けられている。窓と線源の間に適当な厚さのSUS板を挿入することにより、ベータ線のエネルギー分布と強度を変えることができる。また反応容器の正面と後面のフランジには高エネルギー粒子ビーム入射用の0.1mm厚、直径10 cmのSUS窓が取り付けられている。模擬大気を一定の流量でこの反応容器に流し、太陽光の代替である245 nmの紫外線と二次宇宙線粒子の代替としての放射線(ベータ線または高エネルギー粒子)を照射する。反応容器から気体を分流して、微量成分の濃度とイオンやエアロゾル粒子の密度を測定・記録する。システムの概略図を図1に示す。また反応容器の写真を図2に示す。

#### (2) 照射実験

実験は、まず模擬大気を反応容器に流し、紫外線を定常照射する。その後、放射線の照射を行い、容器内のイオン密度とエアロゾル粒子密度を測定した。放射線としては通常実験室ではストロンチウム90からのベータ線を用いた。3年度目には放射線医学総合研究所のHIMAC加速器で高エネルギーの窒素イオン及び酸素イオンを照射した。使用した重イオンビームは直径約1 cmで、強度は200 - 10,000 粒子/3.3秒であった。

### 4. 研究成果

#### (1) 移動可能システムの構築

名古屋大学内の施設や学外の加速器施設などに移動して実験ができるように、装置を改良した。反応装置を移動可能な架台に固定した。ガス混合純化装置は一つのラックに組み込み、流量制御/計測装置を一体にまとめた。また作業用の組み立て式クリーンブースを準備し、正常な環境における実験を可能にした。

#### (2) ベータ線照射結果

疑似大気生成装置、イオン検出器等を製作し、既存の装置と合わせて動作試験を行った

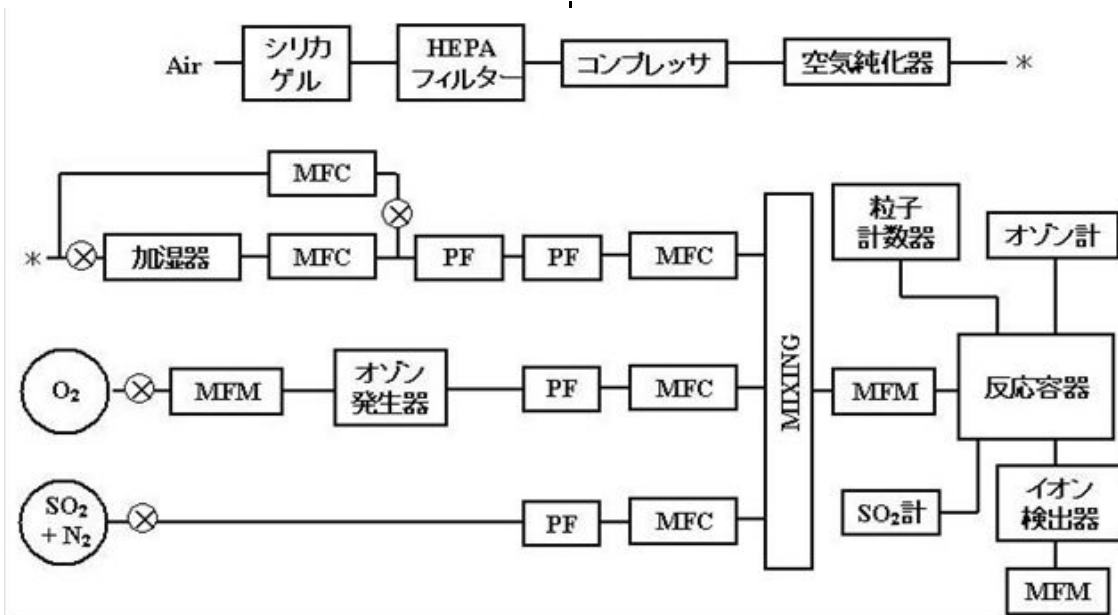


図1 反応装置のガス配管及び測定器の概略図 (MFC:ガス流量コントローラ, MFM:ガス流量計, PF:粒子フィルタ) 測定器には温度計, 湿度計, 圧力計が含まれる。

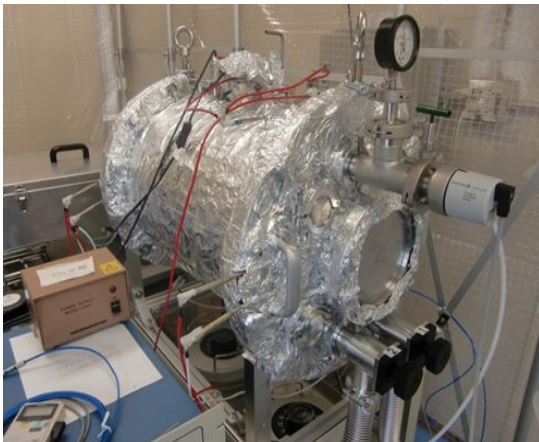


図2 大気反応容器

のち, STE 研の実験室において種々の条件の下でイオンとエアロゾル生成率を測定した。大気成分の条件パラメータは, 水蒸気量 (湿度), 二酸化硫黄 ( $\text{SO}_2$ ) 濃度, オゾン濃度であり, これに紫外線照射と放射線照射の有無による違いを測定した。放射線源は比較的強度の弱いベータ線源を用いた。反応チェンバー上部に取り付けた線源照射窓を通してチェンバー内のイオン密度とエアロゾル粒子密度を測定した。窓と線源の間に異なる厚さの SUS 板を挿入してベータ線強度とエネルギー分布を変えることにより, イオン密度の増加に伴って粒子密度が増加することを確認した。しかし, イオン密度がある程度大きくなると粒子密度の増加が極端に減り, 飽和する傾向があることが分かった。

### (3) 重イオンビーム照射結果

放射線の種類・エネルギーや強度に対するエアロゾル生成率の違いを測定するために, ベータ線に加えて, 放射線医学総合研究所の重イオンを照射し, 電離能力の異なる放射線

に対する応答を測定した。ビーム強度の違いとアルミ板のビームラインへの挿入により反応容器内のエネルギー損失率を変えて測定した結果, ビーム強度の変化に対してイオン密度とエアロゾル粒子密度が増加し, 両者の間の比例関係を確認した。粒子生成効率  $= N/n_e$ , ( $N$ : 粒子密度,  $n_e$ : イオン密度) は先行研究と同じオーダーを示した。粒径分布測定器を用いて放射線照射後に新たな粒子が生成することとその粒径分布が大きい方へ移動していくことが確認された。

### (4) 成果のまとめ

以上の実験結果から, 放射線の種類やエネルギーに対して, イオン密度とエアロゾル粒子の密度の関係を調べ, さらに粒径分布の時間変化を確認した。今後の詳細実験へ指針を与えることができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- 増田 公明, 宇宙線による微粒子形成, J. Plasma Fusion Res., 査読有, Vol.90, pp. 増田 公明, 太陽活動が地球気候に及ぼす影響 - 銀河宇宙線によるエアロゾル形成 - , Earozoru Kenkyu, 査読有, Vol.27, pp.264-268 (2012).

〔学会発表〕(計11件)

- A. Suzuki, K. Masuda, Y. Takeuchi, T. Sako, Y. Itow, Y. Matsumi, T. Nakayama, S. Ueda, K. Miura and K. Kusano, Laboratory experiment with various radiation sources for verification of cloud condensation nucleation by cosmic rays, Jpn Geosci. Union Meeting 2014, May 2014,

Yokohama.

鈴木 麻未, 増田 公明, 竹内 雄也, 埜 隆志, 伊藤 好孝, 松見 豊, 中山 智喜, 上田 紗也子, 三浦 和彦, 草野 完也, 宇宙線による雲凝縮核生成についての複数線源での検証実験, 日本物理学会第 69 回年次大会, 2014 年 3 月, 平塚.

A. Suzuki, K. Masuda, Y. Takeuchi, T. Sako, Y. Itow, Y. Matsumi, T. Nakayama, S. Ueda, K. Miura, K. Kusano, Laboratory experiment for verification of cloud condensation nucleation by cosmic rays in Nagoya, International CAWSES Symposium, Nov. 2013, Nagoya.

鈴木 麻未, 増田 公明, 他, 宇宙線による雲凝縮核生成の検証のための加速器実験準備(2), 日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013 年 9 月, 高知.

鈴木 麻未, 増田 公明, 埜 隆志, 伊藤 好孝, 松見 豊, 中山 智喜, 草野 完也, 宇宙線による雲凝結核生成助長についての室内検証実験, 研究会「宇宙線による雲核生成機構の解明 - ラボ実験とフィールド観測からのアプローチ -」(招待講演), 2013 年 7 月 12 日, 名古屋.

鈴木 麻未, 増田 公明, 伊藤 好孝, 埜 隆志, 松見 豊, 中山 智喜, 草野 完也, 宇宙線による雲凝結核生成の室内検証実験の再現性, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013 年 5 月 20 日, 千葉.

鈴木 麻未, 増田 公明, 埜 隆志, 伊藤 好孝, 松見 豊, 中山 智喜, 草野 完也, 宇宙線による雲凝縮核生成における室内検証実験, 第 3 回「太陽活動と気候変動の関係」に関する名古屋ワークショップ, 2013 年 2 月, 名古屋.

増田 公明, 伊澤 雄貴, 埜 隆志, 伊藤 好孝, 松見 豊, 中山 智喜, 草野 完也, 宇宙線による雲凝縮核生成の室内検証実験, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, MIS26-P08(ポスター), 2012 年 5 月 23 日, 千葉.

K. Masuda, Verification of cloud formation by atmospheric cosmic rays, 第 6 回地文台シンポジウム & 東工大流動機構国際ワークショップ, 2011 年 11 月 2 日, 東京.

K. Masuda, Formation of cloud nuclei by atmospheric cosmic rays, Intern. Workshop on High energy Geophysics 2011, Oct. 28, 2011, Tokyo.

増田 公明, 宇宙線による雲凝縮核生成の室内検証実験, 日本地球惑星科学連合大会 2011 年, 2011 年 5 月 25 日, 千葉.

〔その他〕

増田 公明, 地球の気候に及ぼす宇宙線の影響 - 太陽活動はどのような影響を与えるのか -, 中部原子力懇談会 第 48

回 R I ・放射線利用促進セミナー, 2012 年 2 月 15 日, 名古屋.

ホームページ等

<http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/CR/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

増田 公明 (MASUDA, Kimiaki)  
名古屋大学・太陽地球環境研究所・准教授  
研究者番号: 40173744

### (2) 研究協力者

伊澤 雄貴 (IZAWA, Yuki)  
名古屋大学・大学院理工学研究科・院生  
(平成 23 年度まで)

鈴木 麻未 (SUZUKI, Asami)  
名古屋大学・大学院理工学研究科・院生  
(平成 24 年度から)

竹内 雄也 (TAKEUCHI, Yuya)  
名古屋大学・大学院理工学研究科・院生  
(平成 25 年度から)

伊藤 好孝 (ITOW, Yoshitaka)  
名古屋大学・太陽地球環境研究所・教授

埜 隆志 (SAKO, Takashi)  
名古屋大学・太陽地球環境研究所・助教

松見 豊 (MATSUMI, Yutaka)  
名古屋大学・太陽地球環境研究所・教授

中山 智喜 (NAKAYAMA, Tomoki)  
名古屋大学・太陽地球環境研究所・助教

上田 紗也子 (UEDA, Sayako)  
名古屋大学・太陽地球環境研究所・研究員  
(平成 24 年度から)

草野 完也 (KUSANO, Kanya)  
名古屋大学・太陽地球環境研究所・教授

三浦 和彦 (MIURA Kazuhiko)  
東京理科大学・理学部・准教授  
(平成 24 年度から)