

平成22年5月10日現在

研究種目：基盤研究（A）海外

研究期間：2006～2009

課題番号：18253004

研究課題名（和文） 巨大積乱雲ヘクター理解のためのダーウィン総合観測網の構築

研究課題名（英文） Development of the observation network for comprehensive study on giant thunderstorm, Hector

研究代表者

河崎 善一郎（KAWASAKI ZEN-ICHIRO）

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：60126852

研究成果の概要（和文）：

本研究では、オーストラリア・ダーウィン地域において、雷嵐観測網を構築し観測を実施した。稠密と広域観測装置を併用した観測網を展開し、豪気象局とも連携して、雷放電開始位置とその領域に存在する降水粒子の分布が時々刻々得られ、正負両極性の電荷が蓄積される領域の境界付近に放電開始点が多く分布し、更に稠密観測からその放電路が境界を沿うように進展し、やがて落雷に至る様子が再現された。中和電荷量推定も行い、積乱雲が世界で他に例を見ないほど高くまで成長する巨大積乱雲ヘクターにおいて、ヘクターの成長と共に中和される電荷の位置も上昇する現象が確認された。

研究成果の概要（英文）：

We have conducted field campaign in Darwin, Australia to study on giant thunderstorm, Hector by means of our original combined lightning observation network with meteorological equipments operated by Bureau of Meteorology Australia. Lightning leader channels with long horizontal developments are successfully visualized. It is concluded that the horizontal long negative leaders in cloud-to-ground flashes progress along the boundary of positive charge region. When the leaders reach the end of the positive charge regions, they change their direction to downward. An innovative estimation for charge distributions neutralized by lightning flashes is tried out. Ascent of positive charge with Hector developments is noticed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	15,700,000	4,710,000	20,410,000
2007年度	8,500,000	2,550,000	11,050,000
2008年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2009年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
年度			
総計	32,800,000	2,580,000	42,640,000

研究分野：大気電気学、電波理工学

科研費の分科・細目：気象・海洋物理・陸水学

キーワード：自然現象観測、気象学、大気電気学、観測ネットワーク、モデリング

科学研究費補助金研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

オーストラリア北端のダーウィン地域は、世界三大雷活動地帯のひとつで「ヘクター」と呼称され下部成層圏に達する雷雲が頻繁に発生することから、世界中の大気電気、気象・気候、大気化学等の関連研究者が注目し、1980年代後半から、多くの国際共同観測の対象地域となっている。研究代表者らのグループが同地における雷放電の観測を開始した1995年以降に限っても、MCTEC (Maritime Continent Thunderstorm Experiment)、BIBLE (Bio-mass Burning and Lightning Experiment)、TROCCINOX (Tropical Convection Cirrus and Nitrogen Oxides Experiment)と相次いで、国際的なキャンペーンが実施されている。これらいずれのキャンペーンにおいても、研究代表者らのグループは、雷放電様相の観測という点で貢献しており、これは雷嵐活動が単に雷雲内の電氣的活動として興味の対象になっているのみではなく、

- (1) 大気大循環のモーティブフォースたる熱源と雷嵐活動(対流活動)
- (2) 対流圏と成層圏の直接的な結合と雷嵐活動(大気重力波)
- (3) 地球温暖化の一指標としての雷嵐活動(全球大気電場分布)
- (4) NO_x自然起源としての雷嵐活動

等々、大気科学の枠組みの中に重要な意味を持ち、必要不可欠な研究対象と考えられているからである。

加えて、研究開始当初までに研究代表者らが開発を進めてきた、雷放電路を可視化する装置である、VHF帯広帯域干渉計が、実運用可能な程度まで仕上がってきており、現地のオーストラリア気象局やチャールズ・ダーウィン大学との協力関係も築きつつあり、先述のような多様な主題において、研究活動が相互補完的なものとなることから、関連研究者からの当グループによる雷放電現象を中心としたヘクターの観測的理解に対する要求が高まっていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、オーストラリア・ダーウィン近郊に連続的に稼動可能な観測網を構築し、

- 巨大積乱雲(ヘクター)の大気電気学および大気力学の両性質を考慮した物理モデルの確立
- 同地域の雷嵐活動の経年変化と地球電気回路への寄与の検討

を行うことである。本研究遂行のため整備する観測網は研究期間終了後も稼動可能で、同地域における恒久的な対流・降水・雷活動の継続した観測および研究体制が整備される。

このため、研究代表者らのグループで独自に開発した雷放電路可視化装置である広帯域デジタル干渉計を複数機用いた観測網を構築し、観測を行うことでヘクターを大気電気学的に理解する。また、オーストラリア気象局が運用しているCバンド二重偏波ドップラーレーダや高層気象観測データにより、ヘクターを大気力学的に理解する。これらの観測データを有機的に統合することで、電気と力学を含んだ自己矛盾のない積乱雲モデルのシミュレーションや、気候変動への寄与を明らかにする。

本研究で構築する観測網の主たる観測機器である、広帯域デジタル干渉計は、「広帯域」電波観測が特徴のひとつとなっている。情報通信分野で「ブロードバンド」と称し実現されている最新のIT技術と基礎を同じくし、それを自然現象の観測に利用可能な形に適用したもので、VHF帯干渉計は雷放電の全体像(Total Lightning Activity)が準実時間で監視できるのが特長である。これを観測網(ネットワーク)として稼動すれば、積乱雲内の雷嵐活動に直接寄与する電荷の分布を画像化できることになる。これらと、オーストラリア気象局のCバンド二重偏波レーダとの観測により、積乱雲のmicro physicsからmacro physicsまでの理解が可能となり、ヘクターの理解を定性的なものから定量的なものへと進展させようとしている。その結果、積乱雲のモデル化に電気力学的要素を取り入れるための基礎固めを、世界有数の巨大積乱雲で、観測機会が多く期待できる同地において実施することも、本研究の目的である。

3. 研究の方法

本研究では、オーストラリア・ダーウィン地域に広帯域デジタル干渉計を主たる装置とする雷嵐観測網を展開し、同地域において乾季から雨季への移行期で対流活動の最活発期間である10月後半から12月にかけて観測を行い、オーストラリア気象局による気象データを初めとする気象観測データと統合を行う。観測期間中は、現地に常時滞在し、観測やデータ統合、解析に対する意見交換を効率的に行う。

研究初段階では、観測網の整備に注力する。ネットワーク化のためのインフラ整備として人工衛星を利用した通信や、太陽電池パネルを使用したシステム運用など、干渉計による観測網を広く確保するための装置の最適配置とパラメータ設定、観測範囲内の遠近両方をカバーし雷放電の全体に渡り放電進展路を可視化するためのアンプやフィルタおよびAD変換器のパルス取得間隔可変制御などを設計、実装など、機能向上を行う。また、比較的近距离を稠密に観測するVHF帯の広帯

域デジタル干渉計に加えて、広域の雷放電活動を積乱雲のライフサイクルを通じて観測することを目的とした VLF/LF 帯広帯域デジタル干渉計を追加開発しネットワーク観測を行う。

並行してオーストラリア気象局のデータ受信の体制を整備し、データ統合スキームを確立する。構築される観測網により蓄積されるデータから、特に雷放電の開始点とその領域に存在する降水粒子を中心にデータ解析を行い、単体の観測装置ではなく、観測網による観測であることからヘクターの成長、盛衰、消滅までを追従できる利点を活かし、大気電気学と大気力学双方の見地から考察する。これらの観測結果とその考察に、雲の微物理モデルを取り入れ応用することで、セフルコンシステントなヘクターモデル作成を目指す。

4. 研究成果

研究期間を通じて、毎年対流活動の最活発期間である 10 月から 12 月にかけて、ダーウィン地域において雷嵐観測を実施した。VHF 帯広帯域デジタル干渉計は、記録用の AD 変換器に、他の観測装置との同期観測を確実にするトリガ出力機能や、トリガ間隔制御機能を負荷し、機能向上を行った。また、当初の 2 地点から最終的には 3 地点でアンテナの設置方法も変更しつつ、稠密観測（雷放電路の高精度三次元可視化）可能な領域を広げた。加えて、LF/VLF 帯広帯域デジタル干渉計による広域観測網を追加し、積乱雲のライフサイクルと雷活動の関係を活動全体で捉えると共に、稠密観測網のエリア内ではより詳細に記録する体制を整えた。これらの観測網を構成するセンサは、全て炎天下や豪雨の環境下でも継続して自動観測可能なシステムとして実現しており、その一部は太陽光発電やバッテリーを用いたものとなっている。

研究開始当初計画していた、高速スキャンレーダである Ku 帯広帯域レーダの同時運用は、現地での電波免許取得と国外持ち出しへの規制等により断念し、オーストラリア気象局の気象レーダを使用せざるを得なくなったが、二重偏波レーダデータとの同時観測を行い、高層気象データも併せて解析を行った。雷放電開始点の雷雲構造に注目した解析で、雷放電は霰と雪が存在する領域の境界付近から開始し、雷雲のライフステージや場所に関わらず、電界が強いと考えられる領域から開始することが多いことが見受けられた。その後、その放電路が正負両極性の電荷が蓄積される領域の境界に沿うように進展し、やがて落雷に至る様子が再現された（図 1、図 2）。これは、落雷位置を事前に推測する大きな指標となり得る。また、雷放電による中和電荷量推定の結果、積乱雲の発達に従って、中和される電荷の高度が上昇すること

が確認された。

人工衛星観測データを用いた統計的な観点からのグローバルなアプローチによる積乱雲と雷放電についてのパラメタリゼーションや、更にこれへの風の影響を考慮したモデリング、雲の微物理過程への電気的効果を導入した雲内電荷分布の数値シミュレーションも行い、学会発表等を行った。以上のような研究成果に加えて、本研究において構築した観測網は、実用雷嵐観測網として十分な機能を備えており、その観測結果は関連分野へ大きな成果をもたらすものであることが実証できたと考えている。

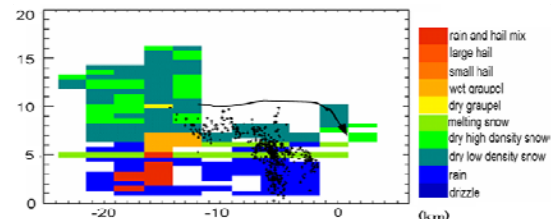


図 1. 雷雲構造と雷放電進展様相

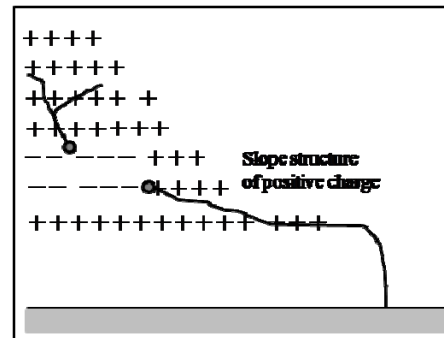


図 2. 図 1 の現象的解釈

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 14 件）

- ① M. Akita, S. Yohida, Y. Nakamura, T. Morimoto, T. Ushio, Z.-I. Kawasaki, and D. Wang, “Lightning channels of cloud-to-ground flashes neutralizing multiple charge regions inside winter thunderclouds”, 査読有, IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, vol. 130-A, no. 5, pp. 467-472 (2010)
- ② M. Akita, Y. Nakamura, S. Yoshida, T. Morimoto, T. Ushio, Z. Kawasaki, and D. Wang, “What occurs in K-process of cloud flashes?”, 査読有, Journal of Geophysical Research, vol. 115, D07106, doi:10.1029/2009JD012016 (2010)
- ③ S. Yoshida, T. Morimoto, T. Ushio, and Z. Kawasaki, “ENSO and convective

activities in Southeast Asia and western Pacific”, 査読有, *Geophysical Research Letters*, vol. 34, L21806, doi:10.1029/2007GL030758 (2007)

- ④ M. Koike, Y. Kondo, K. Kita, N. Takegawa, N. Nishi, T. Kashihara, S. Kawakami, S. Kudoh, D. Blake, T. Shirai, B. Liley, M. Ko, Y. Miyazaki, Z. Kawasaki, T. Ogawa, “Measurements of reactive nitrogen produced by tropical thunderstorms during BIBLE-C”, 査読有, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 112, D18304, doi:10.1029/2006JD008193, (2007)
- ⑤ T. Morimoto, and Z. Kawasaki, “VHF broadband digital interferometer”, 査読有, *Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, vol. 1, Issue 2, pp.140-144 (2006)

[学会発表] (計40件)

- ① 秋田, 村田, 中村, 吉田, 森本, 牛尾, 河崎, 山本, 「広帯域干渉計を用いた雷放電の進展様相および中和電荷量に関する考察」, 日本大気電気学会第82回研究発表会, 東京 (2010年1月)
- ② 中村, 秋田, 森本, 牛尾, 河崎, 「雷放電と降水粒子の微物理過程」, 日本気象学会2009年度秋季大会, 福岡 (2009年11月)
- ③ 村田, 米多, 秋田, 中村, 吉田, 森本, 牛尾, 河崎, 山本, 「2008年ダーウィンにおける三次元雷嵐観測の概要と結果」, 平成21年電気関係学会関西支部連合大会, 大阪 (2009年11月)
- ④ 高柳, 秋田, 中村, 森本, 牛尾, 河崎, 「雷観測用 VLF/LF 帯広帯域デジタル干渉法による雷放電標定システムの開発」, 平成21年度電気学会基礎・材料・共通部門大会, 静岡 (2009年9月)
- ⑤ M. Akita, T. Morimoto, T. Ushio, and Z. Kawasaki, “Charge distributions for cloud-to-ground flashes with horizontally long leaders”, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 千葉 (2009年5月)
- ⑥ 村田, 秋田, 吉田, 中村, 森本, 牛尾, 河崎, 「オーストラリア・ダーウィンの雷雲における放電開始点と放電頻度」, 日本大気電気学会第80回研究発表会, 東京 (2009年1月8日)
- ⑦ Y. Nakamura, K. Murata, T. Morimoto, T. Ushio and Z. Kawasaki, “Spider-like lightning observation using VHF broadband digital interferometer”, AGU 2008 Fall Meeting, California, U. S. A. (December 15, 2008)

- ⑧ T. Morimoto, T. Ushio, and Z. Kawasaki, “Comprehensive thunderstorm observations by the broadband radar network,” The XXIXth URSI General Assembly, Illinois, U. S. A. (August 11, 2008)

- ⑨ 秋田, 佐藤, 森本, 牛尾, 河崎, 「VHF 帯広帯域デジタル干渉計を用いた K 変化を伴う雲放電観測」, 日本地球惑星科学連合2008年大会, 千葉 (2008年5月29日)

- ⑩ M. Akita, K. Hirai, M. Satoh, Y. Nakamura, T. Morimoto, T. Ushio, and Z. Kawasaki, “Three-dimensional VHF observations using advanced VHF broadband digital interferometer,” 13th International Conference on Atmospheric Electricity (ICAE), Beijing, China (August 17, 2007)

[図書] (計1件)

- ① 河崎善一郎、化学同人、「雷に魅せられて ～カミナリ博士、その謎を追う～」 200頁 (2008)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河崎 善一郎 (KAWASAKI ZEN-ICHIRO)
大阪大学・工学研究科・教授
研究者番号：60126852

(2) 研究分担者

牛尾 知雄 (USHIO TOMOO)
大阪大学・工学研究科・准教授
研究者番号：50332961

森本 健志 (MORIMOTO TAKESHI)
大阪大学・工学研究科・講師
研究者番号：60403169

高木 伸之 (TAKAGI NOBUYUKI)
岐阜大学・工学部・教授
研究者番号：80179415
(H20→H21：連携研究者)

王道洪 (WANG DAOHONG)
岐阜大学・工学部・准教授
研究者番号：20273120
(H20→H21：連携研究者)

中島 映至 (NAKAJIMA TERUYUKI)
東京大学・気候システム研究センター・教授

研究者番号：60124608
(H20→H21：連携研究者)

林 修吾 (HAYASHI SYUGO)
気象庁気象研究所・予報研究部・研究官
研究者番号：20354441
(H20→H21：連携研究者)

(3) 研究協力者

Jim Arthur オーストラリア気象局
Peter May "
Hugh Christian アメリカ航空宇宙局
Earle Williams マサチューセッツ工科大
学
Hartmut Hoeller ドイツ航空宇宙センター