

# 分光分析を用いた大電流・雷パラメータセンシング 手法の確立への基礎研究

## The basic research for establishment of lightning parameter sensing method with spectroscopic analysis

山下浩司<sup>†</sup>, 依田正之<sup>‡</sup>, 水谷吉隆<sup>††</sup>, 宮地 巖<sup>†‡</sup>

Koji Yamashita, Masayuki Yoda, Yoshitaka Mizutani, Iwao Miyachi

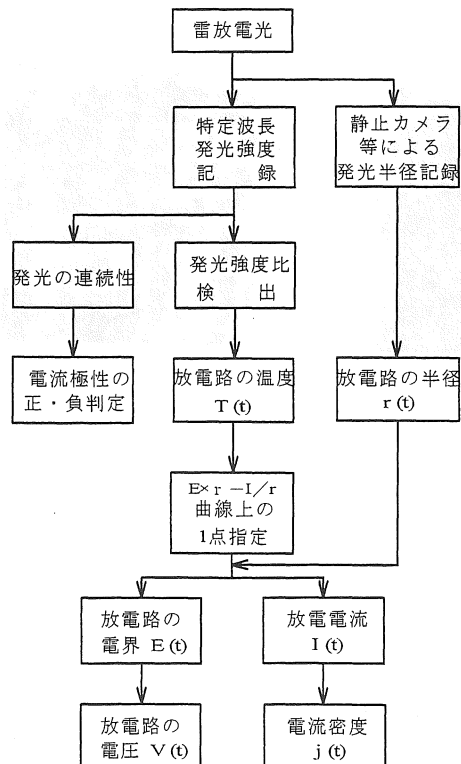
The authors could measure many data at the indoor discharge experiment and rocket-triggered lightning experiment for establishment of lightning parameter sensing method. As for the indoor experiment, the result could get the spectrum distribution photography. Also, the authors have been taking part in the triggered lightning experiments in winter, at the site Okushishiku, Ishikawa, for the purpose of observing the entire lightning current waveforms and spectroscopic photographs since 1986. As that result, the current waveforms were similarly to the typical winter positive current waveforms. The wavelength of strong radiance was selected by spectroscopic photography.

### 1. はじめに

近年の高度情報化社会の発達に伴い、我々の生活における電力、情報等の依存度はますます高まりをみせてきている。このような社会情勢を考慮した場合、電力・電子機器設備を雷の被害から防止することは重要課題であり、そのため雷の性状解明が急がれている。

本研究は図 1 に示す大電流・雷パラメータ光センシング手法<sup>(1)</sup>の確立に向けた基礎的解明を目的としている。本手法は雷放電の発光強度を遠方より観測することでその強度比から放電路温度を導出し、その温度と実測された放電路の発光半径とから雷パラメータ値を求めるものである。

本報告書では、大電流・雷パラメータ光リモートセンシング手法の確立に対して、波長選定を検討する目的で行った室内放電実験と実雷の観測を行ったロケット誘雷実験で得られた測定データを示す。



† 愛知工業大学 電気工学科 (豊田市)

‡ 同上

†† 同上

## 2. 室内放電実験

室内放電実験では、分光フィルム・レンズを取り付けたカメラによる放電路の発光スペクトル分布撮影と、分光器を用いた分光記録システムによる波長別発光強度時間特性測定を行った。これらの分光分析を行うことで、大電流・雷パラメータ光リモートセンシング手法の確立に対する選定波長を検討することが可能となる。

### 2.1 スペクトル分布撮影

図2は空中放電実験における発光スペクトル写真であり、図3にスペクトル部の拡大を示す。

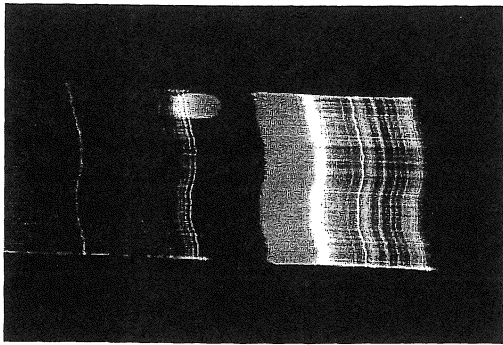


図2 空中放電発光スペクトル

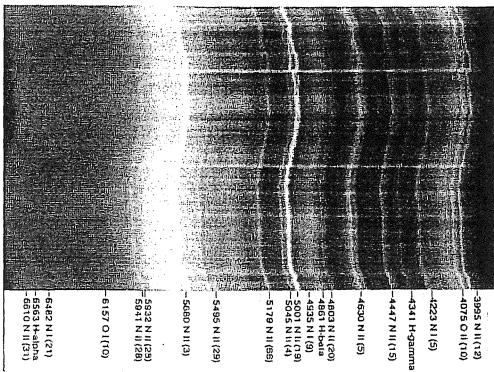


図3 スペクトル部分拡大

写真中の波長λの単位はÅ (オングストローム 10<sup>-8</sup>cm)であり、原子記号の後ろのローマ数字は電離状態を表している。Iは中性、IIは一価電離を表している。Salanave が観測した雷発光スペクトル結果<sup>(2)</sup>と良く一致しており、強発光を示している波長は407.5nm (O II), 463.0nm (N II), 480.3 (N II), 500.1nm (N II), 568.0nm (N II)などである。これらは、大気中の組成成分である窒素や酸素の波長である。その

中でも窒素の一価電離 (N II)の波長が多く存在している。

### 2.2 波長別発光強度時間特性

図4に波長別発光強度時間特性を示す。これより強発光を示す波長は395nm, 400nm, 405nm, 445nm,

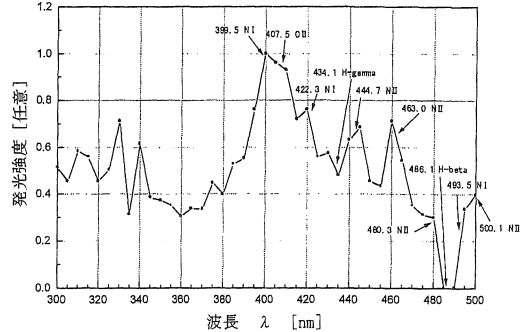


図4 波長別発光強度時間特性

460nm である<sup>(3)</sup>。それぞれの波長は、399.5nm (N I), 407.5nm (O II), 444.7nm (N II), 463.0nm (N II)に近似しており、スペクトル分布撮影で得られた波長と同様な波長で強発光を示している。

## 3. ロケット誘雷実験<sup>(4)(5)</sup>

自然雷を測定、観測しようとする場合、通常の落雷は時間的・空間的に限定できないので多大な労力と時間を費やす。この点、ロケット誘雷法を用いれば予期した時間と地点に落雷でき、雷観測を進める上で有効な手段である。

昭和52年(1977年)から昭和60年まで石川県河北潟において冬季ロケット誘雷実験が実施されてきた。著者らは昭和61年(1986年)から、図4に示す石川県奥獅子吼山に実験場を移して行われている。

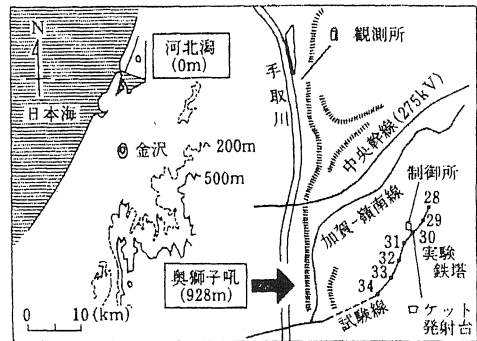


図5 ロケット誘雷実験場

冬季ロケット誘雷実験に参加し、シャント抵抗を用いた雷電流デジタル計測システムによる雷電流測定を行っている。また、分光フィルム・レンズを取り付けたカメラによる放電路の発光スペクトル分布撮影を行っている。

### 3.1 ロケット誘雷のメカニズム

ロケット誘雷法の基本的な構造は、図5に示すように上空に雷雲が接近したらスチールワイヤを取り付けた小型ロケット打ち上げ、ワイヤに沿って雷を誘発させるものである。誘雷方式には、ロケットがボビンを引き上げて、地上に結んだ100mほどのナイロン糸に続きその先にワイヤが張られ、送電線や鉄塔に雷を誘発させる鉄塔誘雷方式と、ワイヤボビンを地上に置いて、ボビンの真上の集電リングを通してワイヤを引き上げ直接大地に誘雷させる地上誘雷方式がある。

各年度により実験配置図は若干異なるが、平成10年度は図6に示す地上誘雷実験配置図に従って主放電電流が計測された。

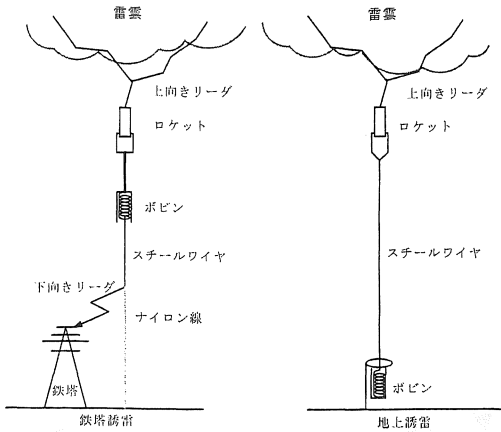


図5 ロケット誘雷方式

### 3.2 雷電流デジタル計測システムによる主放電電流測定

雷電流デジタル計測システムによって、平成3年(1991年),平成4年(1992年),平成8年(1996年),平成10年(1998年)において記録された雷電流波形を示す。なお、平成7年にシステムの改良がなされ、その改良点を測定された波形と共に述べる。

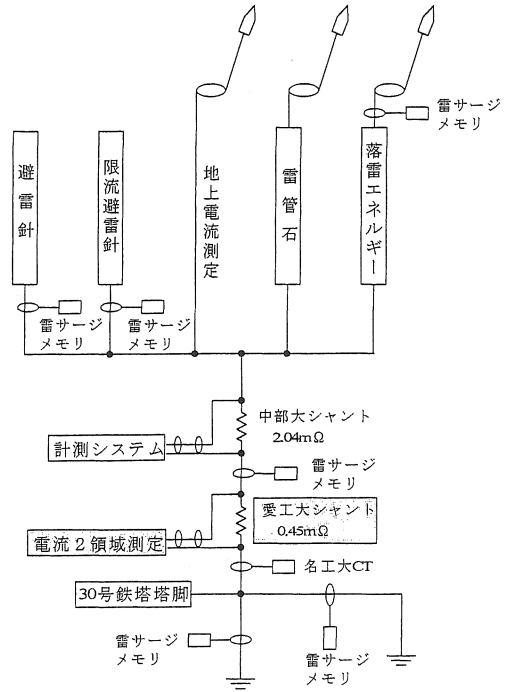


図6 平成10年度地上誘雷実験配置図

#### 3.2.1 プロトタイプによる実測記録

プロトタイプはサンプリング100ns,メモリ容量64kByte,記録時間6.5msである<sup>(6)</sup>。

図7に平成3年度に記録された#9105の雷電流波形を、図8に平成4年度に記録された#9209の雷電流波形を示す。これらの波形は共に正極性の雷放電で、初期に急峻な電流峻度の振動性電流を有している。この振動波形は放電初期の電荷群放出現象によるものと考えられる。中期には振動部分のない定電流部分が継続している。冬季正極性雷の特徴がよく現れた波形<sup>(7)</sup>となっている。

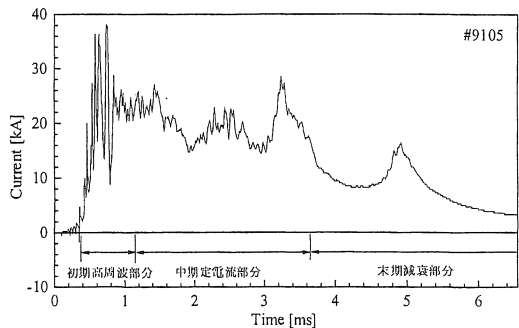


図7 正極性雷電流波形(#9105)

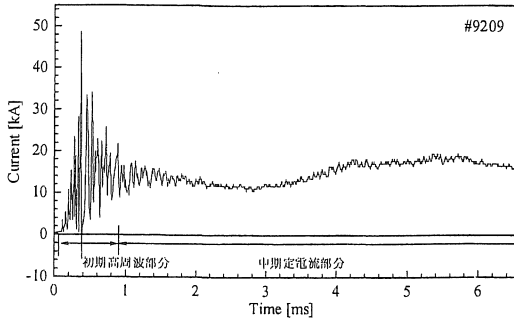


図8 正極性雷電流波形 (#9209)

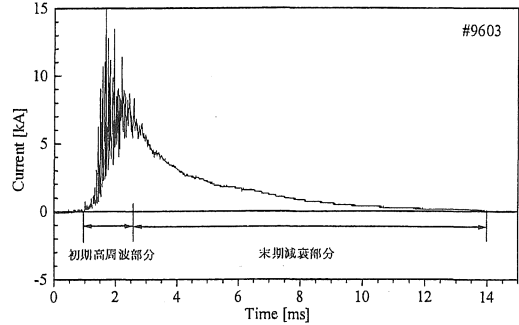


図9 正極性雷電流波形 (#9603)

### 3.2.2 新システムによる実測記録

平成7年(1995年)には、冬季雷の特徴である電流の長時間持続と雷電流波形中の超急峻波成分の計測を可能にするために、以下のように雷電流デジタル計測システムの計測・メモリ部と通信部の仕様を改良した<sup>(8)</sup>。

- |               |                     |
|---------------|---------------------|
| (i) サンプリングレート | 10MS/s→25MS/s       |
| (ii) サンプリング時間 | 100ns→40ns          |
| (iii) メモリ容量   | 64kByte→4MByte      |
| (iv) 記録時間     | 6.5ms→167.7ms       |
| (v) 分解能       | 8bit→8bit           |
| (vi) データ伝送速度  | 19200bps→1.6Mbyte/s |

システムのメモリ容量増加によりデータ記録時間が167.7msと長時間になったため、全波形を記録することが可能となった。

このシステムを用いて、平成8年度に実測した#9603の雷電流波形を図9に、平成10年度に記録された#9814の雷電流波形を図10に示す。波形は共に正極性雷電流波形である。#9603は中期定電流部分が存在していない。これは、定電流過程が形成される要因である電荷の主要部分が集積する雷雲の中心で放電した雷ではなく、雷雲の周辺に散乱する電荷集団が高周波の振動電流として放電し、そのまま終了したことを示している。#9814は明確に初期高周波部分、中期定電流部分、末期減衰部分の3領域に分割することができ、典型的な冬季正極性雷であることが分かる。

### 3.2 雷放電のスペクトル分布撮影

室内実験と同様に、カメラのレンズ前に分光フィルム・レンズを取り付け、放電路の発光スペクトル

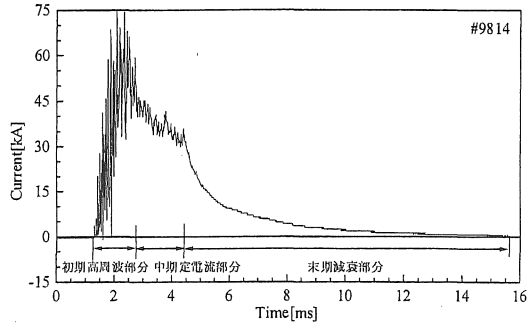


図10 正極性雷電流波形 (#9814)

分布撮影を行った。

図11に平成8年度に記録された#9602の発光スペクトル写真を、図12に平成10年度に記録された#9802の発光スペクトル写真を示す。実験時の撮影条件や誘雷時のスチールワイヤ蒸発等の影響から、室内実験ほどスペクトル分布は鮮明ではないが、480.3nm (N II), 549.5nm (N II), 568.0nm (N II), 615.7nm (O I), 648.2nm (N I)の波長で強発光を示すことが分かった<sup>(9)</sup>。

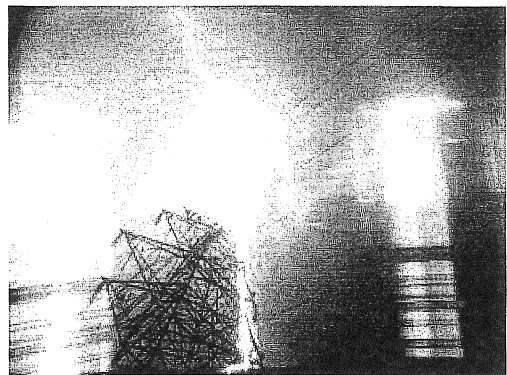


図11 発光スペクトル写真 (#9602)

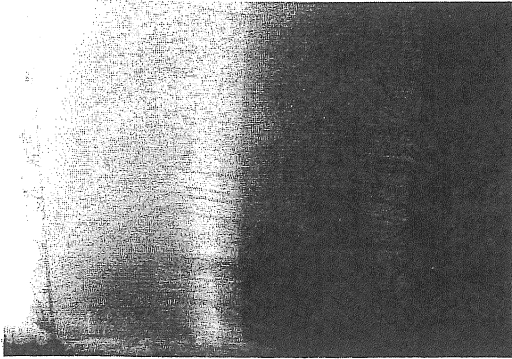


図 12 発光スペクトル写真 (#9802)

#### 4. あとがき

室内放電実験において放電光の発光分析を行い、強発光を示す波長を選定することができた。また、昭和 61 年から参加している石川県奥獅子吼山山頂での冬季ロケット誘雷実験において、数々の成果を得ることができた。雷電流測定では正極性雷電流は初期高周波部分、中期定電流部分、末期減衰部分の 3 領域から構成されることが確認できた。雷放電のスペクトル分布撮影では、室内での気中放電実験で強発光を示した波長を確認することができた。

最後に北陸電力（株）を始め、冬季ロケット誘雷実験に参加された関係各位に深く感謝します。また、大電流・雷パラメータ光リモートセンシング研究会の研究会員である中央大学 稲葉次紀先生、金沢大学 作田忠裕先生、岐阜大学 高木伸之先生、（財）電力中央研究所 合田 豊氏、（中部電力（株））現（財）中部電気保安協会 葛城幸男氏、（株）富士電機総合研究所 森田 公氏、中島昌俊氏に深く感謝します。

本研究の一部は愛知工業大学総合科学研究所プロジェクト共同研究（公募）および文部省科学研究費（一般研究（C））、（基盤研究（A）（1））などの助成を受けていることを付記する。

#### 文献

- (1) 宮地・依田・鈴木・稲葉・作田：窒素放電からみた雷パラメータの光センシング，電気学会放電・高電圧合同研究会，ED-89-145・HV-89-88，1989
- (2) Leon E.Salanave：Lightning and its Spectrum，The University of Arizona Press.，1980
- (3) 宮腰・中島・依田・宮地：雷放電現象解析用簡易分光システムの開発，電気関係学会東海支部連合大会，112，1995
- (4) 堀井・宮地：ロケットによる雷放電トリガ実験，電気学会雑誌，98 巻 12 号，p16-18，S53
- (5) 堀井・角：ロケット誘雷技術と観測データ，電学論 B，117 巻 4 号，H9
- (6) 依田・鈴木・宮地：可搬式雷電流デジタル計測システムとその適応，電学論，Vol.114-B，p.67，H6
- (7) 依田・中村・家田・宮地・葛城・川島：正極性雷放電電流波形の基本的考察，電気関係学会東海支部連合大会，H1
- (8) 中島・宮腰・依田・鈴木・宮地・角：改良型デジタル雷電流計測システムとその適応，電気学会全国大会，1580，H8
- (9) 山下・田中・水谷・依田・宮地：誘雷実験における雷放電路のスペクトル撮影，電気学会全国大会，1577，H10

（受理 平成11年 3 月20日）