



認定NPO法人

富士山測候所を活用する会

Estimation of NO_x content of lightning discharge origin using Mt. Fuji 観測プラットフォームとしての富士山を用いた雷由来 NO_xの推定

第14回気象文化大賞アジア・太平洋助成 報告書

NPO法人富士山測候所を活用する会

藤原博伸(富士山環境研究センター研究員), 大河内博(副理事長, 早稲田大学), 和田龍一(理事, 帝京科学大学)

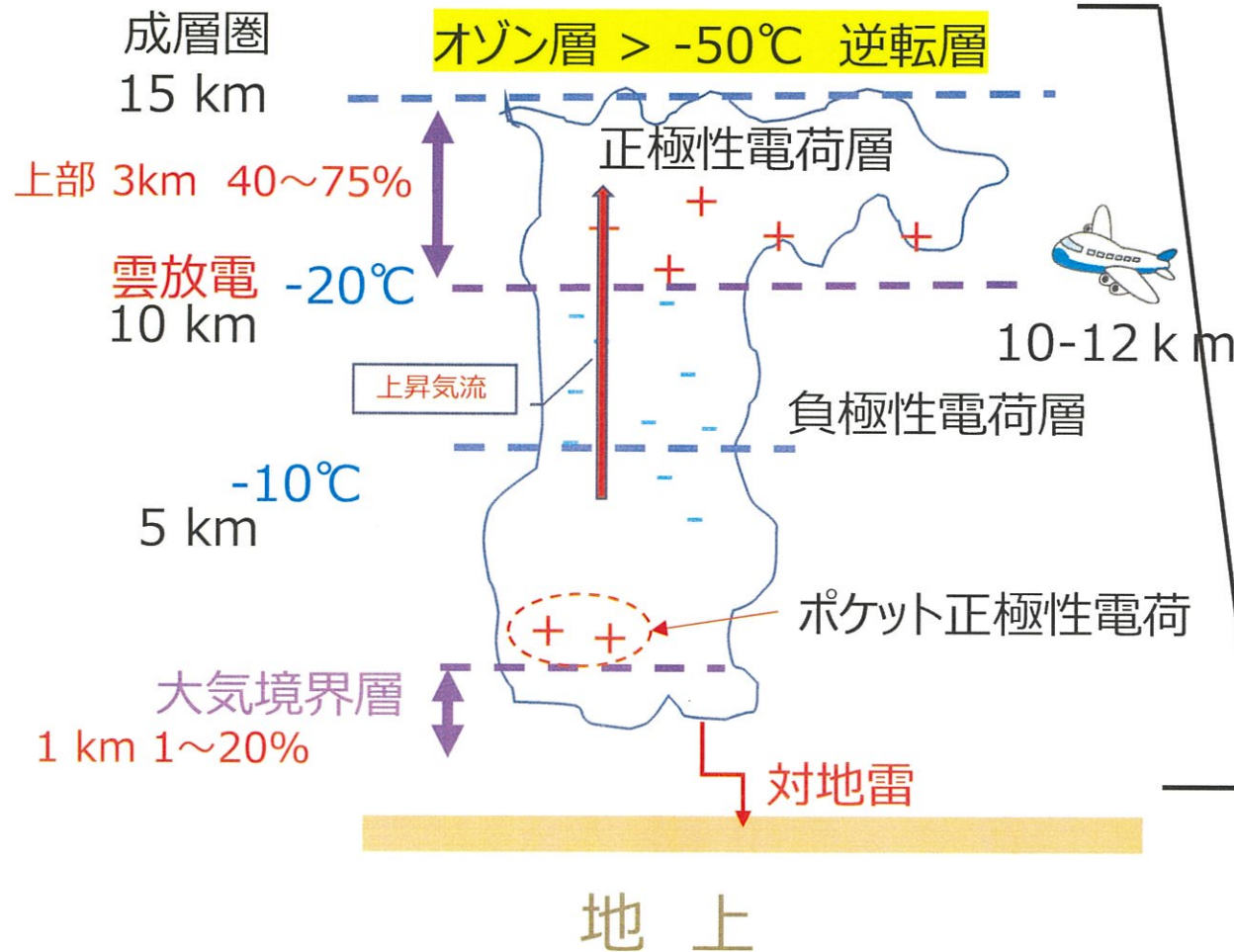


LNOx のC型プロファイル

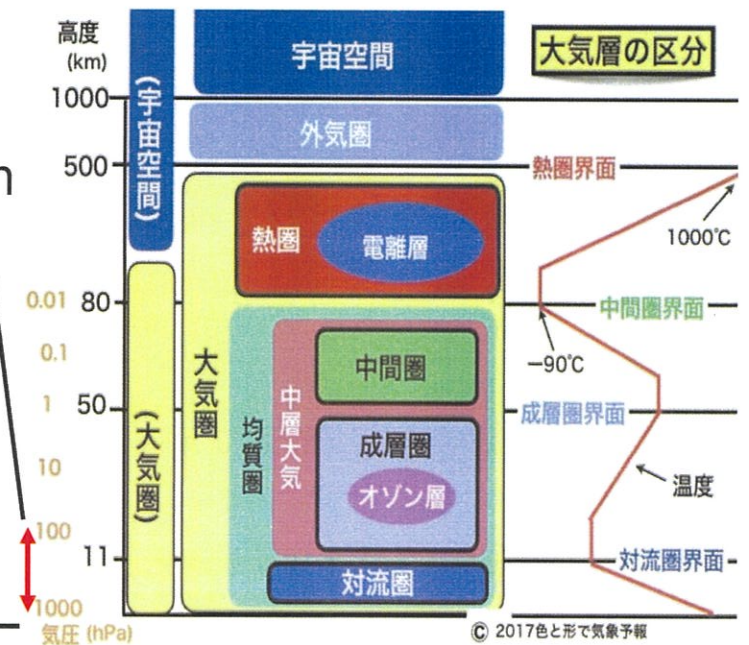
中間で生成したNO_xは上昇気流により上層へと運搬されるため、上部に滞留する割合が高くなる。

全球での平均雷撃比IC/CGを7.7として、
全球のIC/CGのNO_xの生成量の比

3.3倍



地球大気鉛直構造



なぜ雷放電起源のNO_xを測定したいのか？

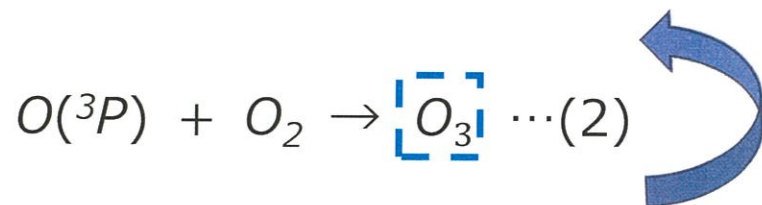
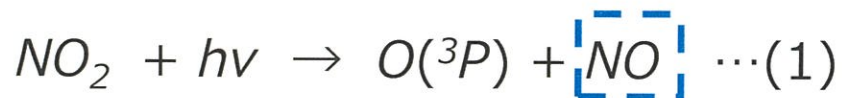
- 1) 酸性雨の原因となるため、人為起源NO_xとの識別が求められる
- 2) 温暖化を減らすセンスがある（オゾン生成の促進）

1雷放電（flash）により生成されるNO_xの量。（Wada et al. (2019)を改変。）

論文	mol/flash	観測方法
DeCaria et al. (2005)	460	飛行機による観測とモデル
Ott et al. (2007)	360	飛行機による観測とモデル
Ott et al. (2010)	590–700	飛行機による観測とモデル
	500	モデル（平均中緯度）
Nault et al. (2017)	665	モデル（平均中緯度）
Cummings et al. (2013)	500–600	飛行機による観測とモデル
Ridley et al. (2004)	55–383	飛行機による観測
Koike et al. (2007)	33–817	飛行機による観測
Huntrieser et al. (2008)	70–210	飛行機による観測
Huntrieser et al. (2009)	121–385	飛行機による観測
Huntrieser et al. (2011)	70–179	飛行機による観測
Beirle et al. (2006)	32–240	衛星による観測
Bucsela et al. (2010)	100–250	衛星による観測
Pickering et al. (2016)	80±45	衛星による観測
Wada et al. (2019)	660±270	富士山（標高3776m）での観測 とモデル

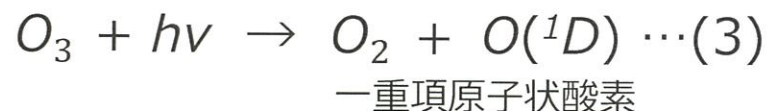
- 多くの測定は、飛行機か人工衛星。観測に多大な費用がかかる。
- 精度も明確になっていない。
- 1 flash (1 雷放電) 当たりの平均値 270～590 mol/flashとばらつきが多い。

対流圏でのNO_x発生に伴うオゾン発生サイクル

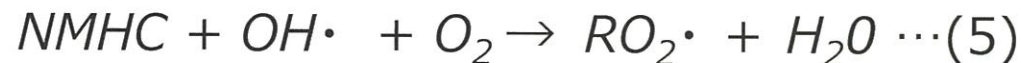
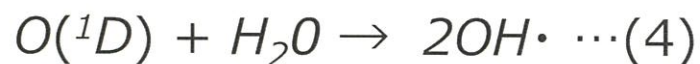


$\text{O}(^3\text{P})$: 安定しており H_2O と反応しない
三重項原子状酸素 (基底状態酸素)

$\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$ NO_x は変化なし



酸化力が非常に強い活性酸素の一種



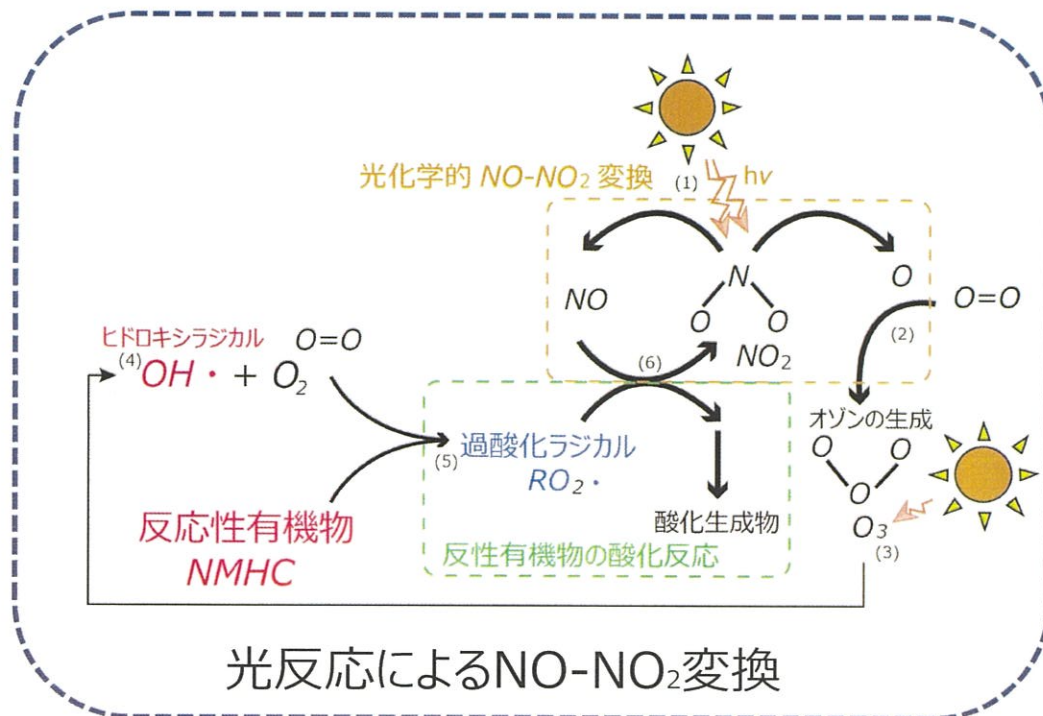
非メタン系炭化水素

過酸化ラジカル



アルコキシルラジカル

太陽光とNMHCの存在が O_3 の増減に影響を与える。



使用データ

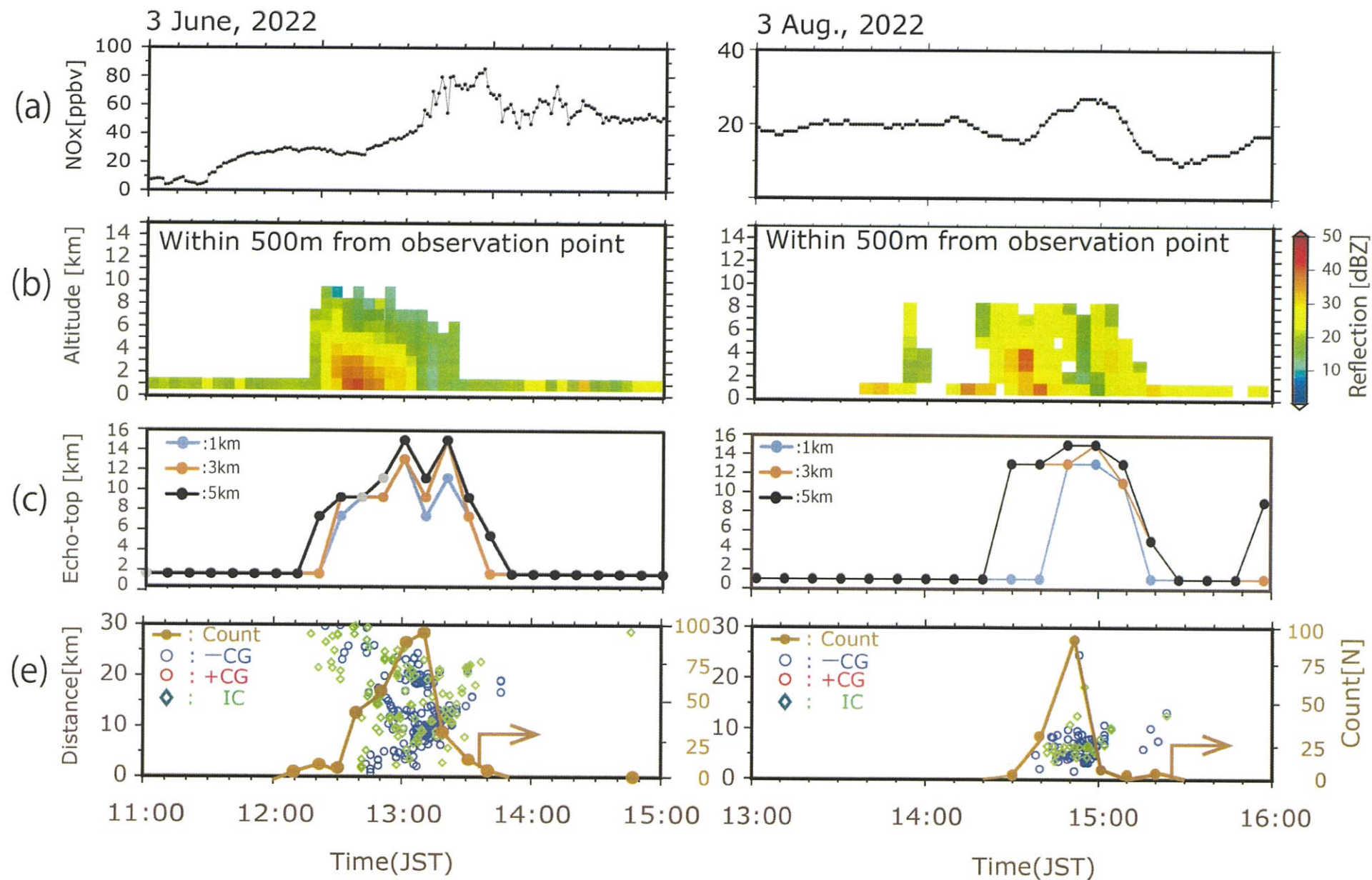
1. グリーンブルー社（GBiot）の大気分析装置。
 2. 雷カタログはJLDNと Blitzortung.orgによる。
 3. X帯レーダーデータは※DIASによる。
 4. 風向・風速は青山シビルエンジニアリング（株）により提供
 5. 雨量は東京都 水防災総合情報システムによる。
 6. 参考として、環境省大気汚染物質広域監視システム（国設東京新宿）
- ※DIAS（国土交通省 XRAINデータ）を使用させていただきました。

NOx 観測地点



西早稲田キャンパス51号館屋上

首都圏で観測されたLNOx



先行研究例) 富士山頂での雷起源NO_x (LNO_x) の地上観測とその定量的推定

目的：雷によって生成されるNO_x (LNO_x) の地上観測とモデルによる定量評価

観測地点：富士山頂 (3776 m)

気象庁領域化学モデル (NHM-Chem) には雷起源

観測期間：2017年7月27日～8月23日 NO_xを含まず 観測値とモデル値の差分よりLNO_x推定

8月22日13:00 (UTC) にNO_y・NO₂の顕著なピークを観測 (この時、COは増加せず)

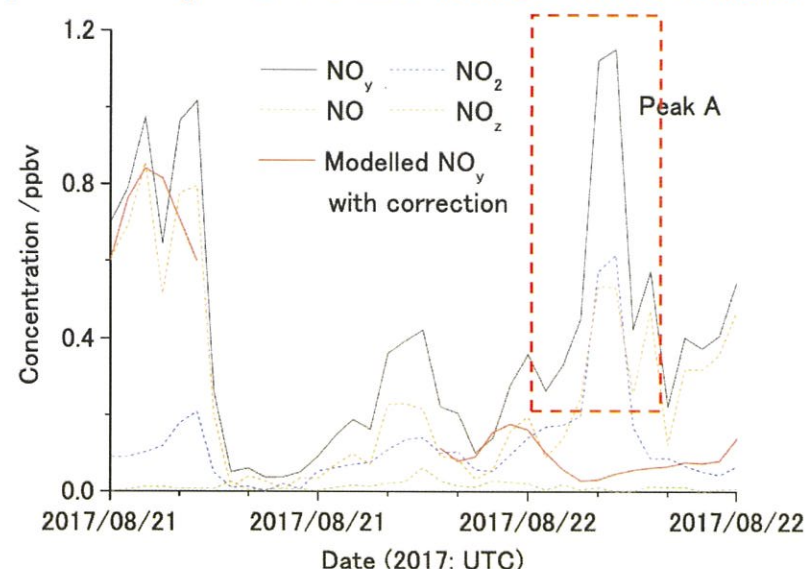
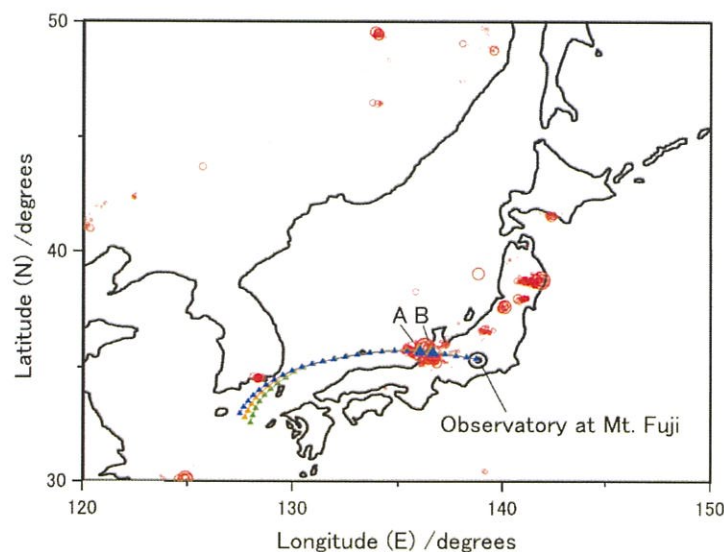
→NO_y(反応性窒素酸化物の総和)最大濃度：1.71 ppbv (うち97%が雷由来)

持続時間：38分 (地上観測ならでは)

✓ 世界初: (一般的な航空機観測とかではなく)山頂地上観測でLNO_xを定量

✓ 推定LNO_x生成量：660 ± 270 mol/Flash

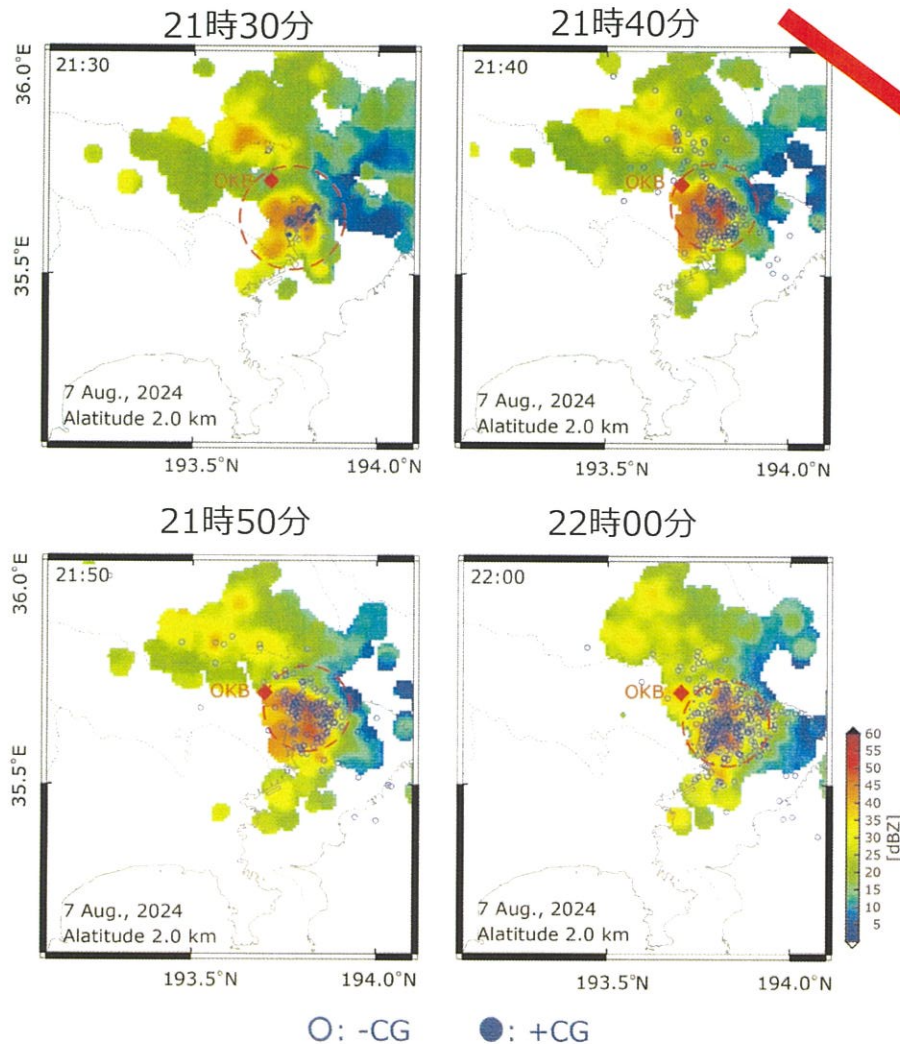
NO_x (NO+NO₂の二成分のみ), NO_z (NO_y－NO_x) NO_xの二次反応生成物の総称



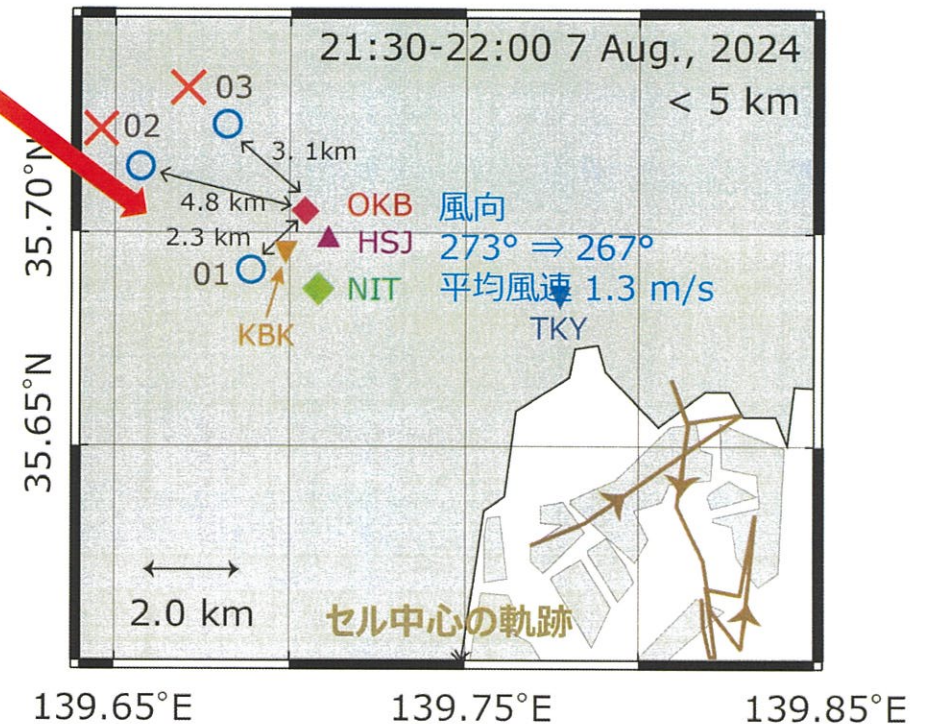
出典: Wada et al., J. Atmos. Chem. (2019)

首都圏での雷放電の検知率の高さを利用して雷撃を追跡し、観測が難しいと言われる都市部に於いて、多重度を考慮することで1対地雷当たりのNO₂の量を推定する。

01 雷撃 21:39 解析



2024年8月7日 21:30-22:00



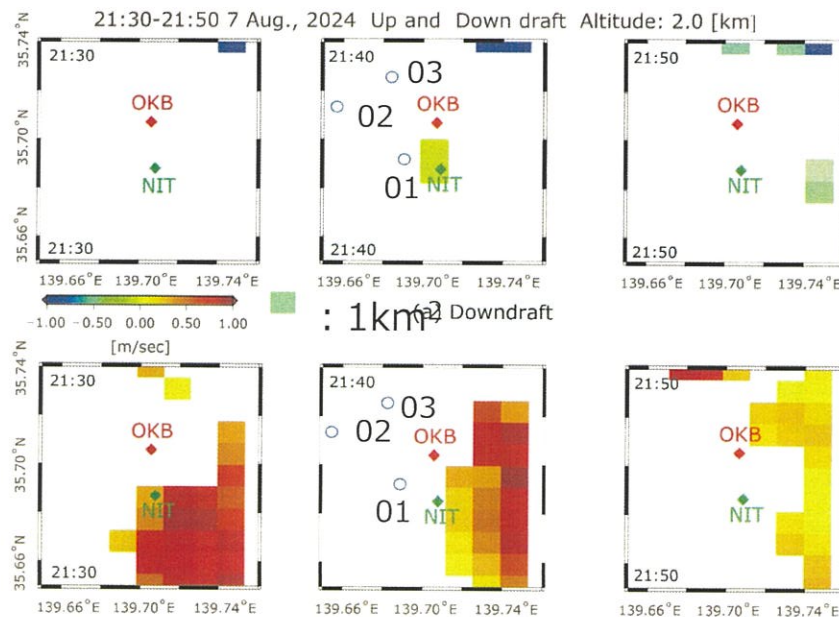
◆: NO₂観測点 ◆: 観測点(ソラマメ) ▼: 雨水観測点 ▲: 風向風速観測点

※ 02と03の雷撃は風向と風速の整合性から、対応していないことが分かっている。

雷撃位置と高度2kmの鉛直方向の気流速度

2024年8月7日 21:30 ~ 21:50 高度 2 km

下降気流

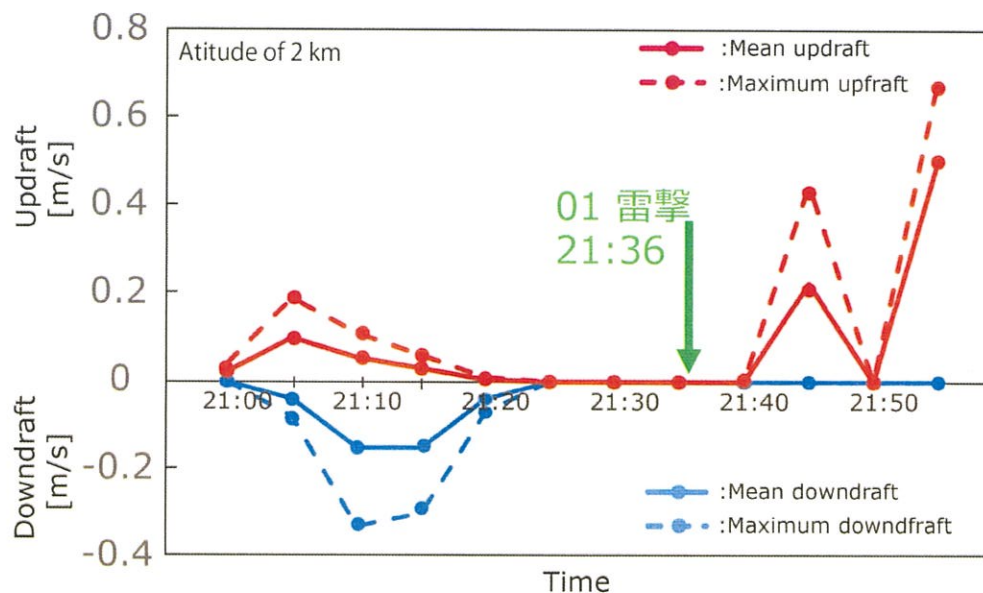


上昇気流

OKB: NOx観測点
○: 雷撃
NIT: そらめくん
(国設東京新宿)

風速風向の条件から
雷撃01のみが解析対照
02と03は対象外とした。

OKBから1 km 圏内の**上昇**及び**下降**気流速度

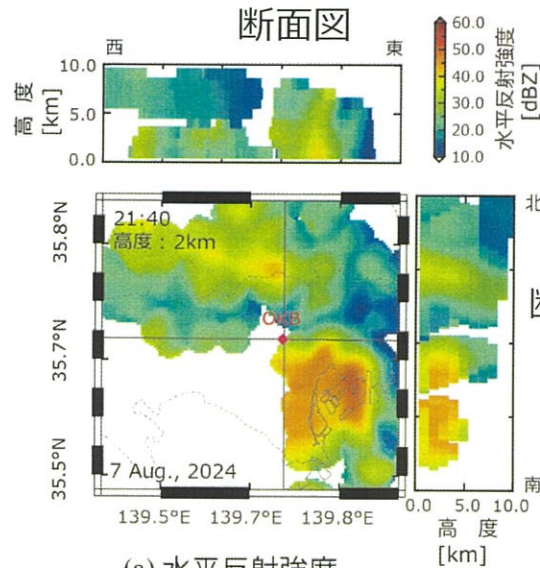


気流の影響

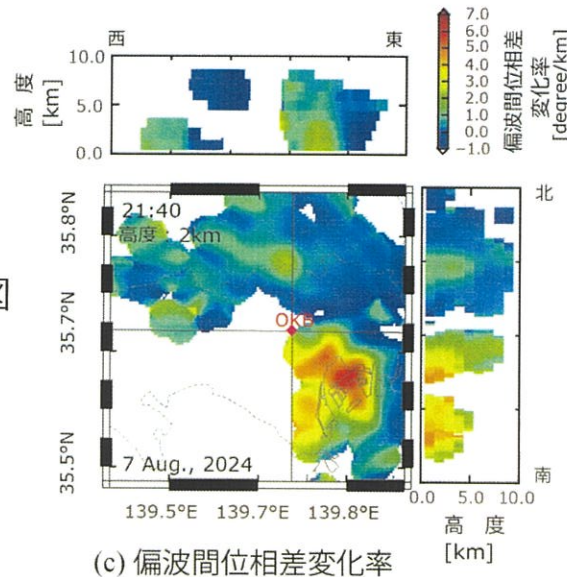
※
雷撃点を含む観測点の高度2 kmには上昇気流・下降気流ともなかった。
従って、雷撃により生成されたNOxは上昇することなく地面と水平に移流したと考えられた。

観測点OKBでの雲底高度の推定

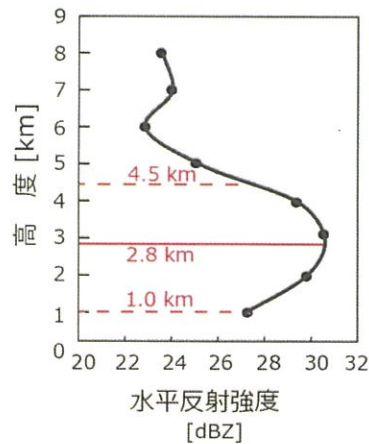
2024年8月7日 21:40 高度 2 km



(a) 水平反射強度

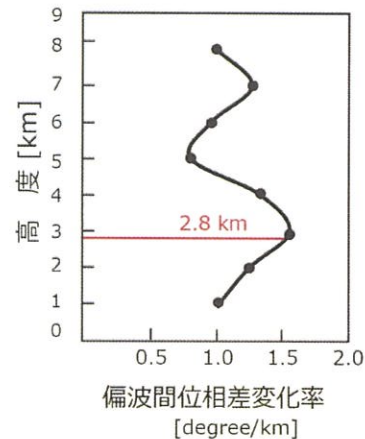


(c) 偏波間位相差変化率



(b) 高度一水平反射強度

(b) (d) OKBから
1km圏内



(d) 高度一偏波間位相差変化率

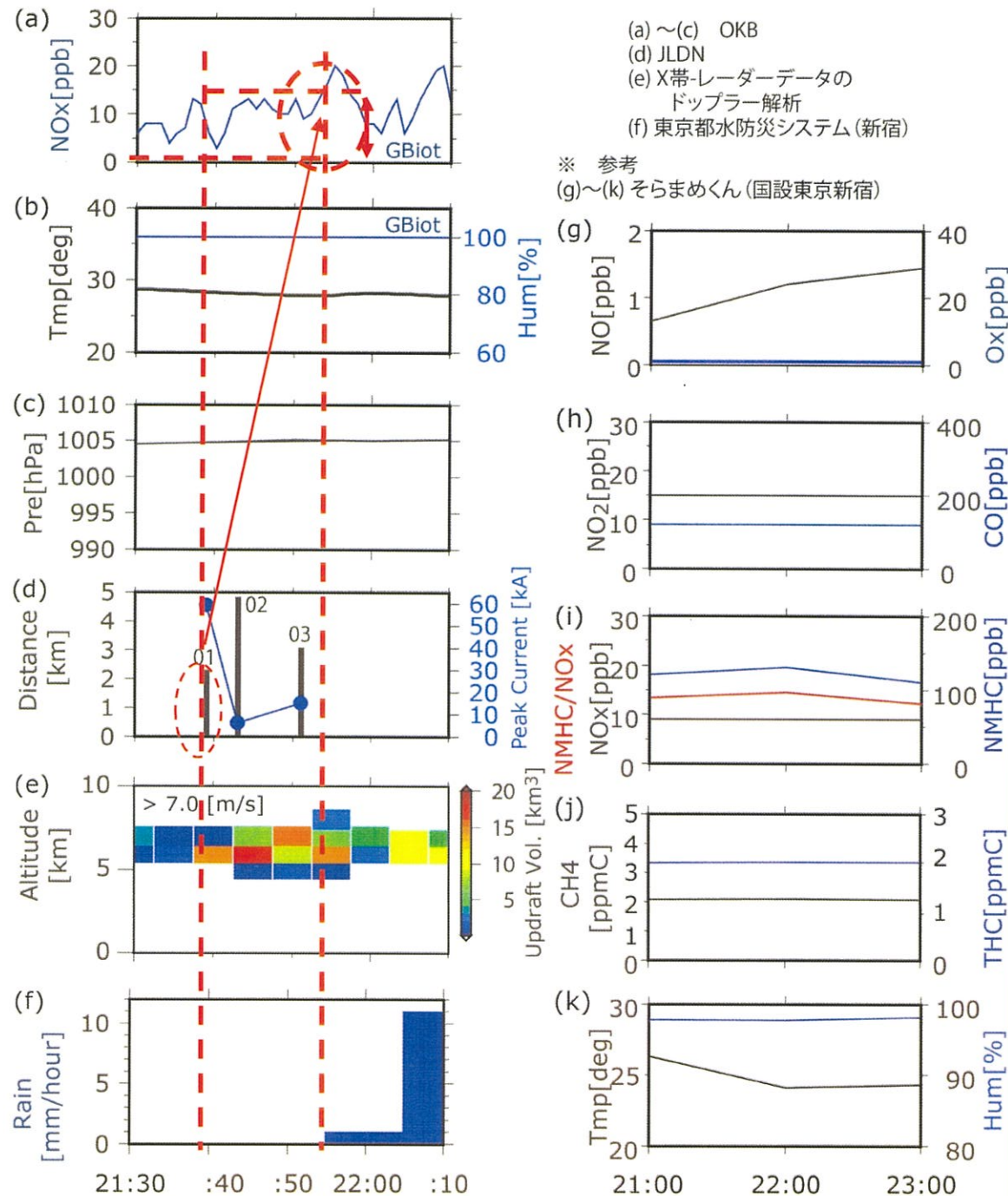
雷雲セルの端となっており、
雲底もセルの中心よりは、
少し高い位置にあると考えられる。

(a) 水平反射強度

(b) 偏波間位相差変化率

から雲底高度を2.8 km
と推定した。

2024年8月7日 21:00-22:10



観測されたデータ

- ・雷撃01 (-59kA, 観測点OKBから2.3 km)によるNOxの平均濃度の増加は雷撃17分後に**6.7ppb (10分平均) の増加**がみられた。
- ・人為起源の**CO** の変化もない
- ・雨水による洗浄の影響もない
- ・夜間であるため光反応の影響もない
- ・富士山周辺等に集中配備した雷位置評定装置で**01は確実に単一雷**であることは判明

(結論)

航空機や衛星を使用しなくても高度の低い首都圏において、NOxの観測が可能であることを示した。

(今後の課題)

詳細な移流拡散モデルより1対地雷撃のピーク電流に対するNOxの生成量を推定する。