

地球惑星大気で発生する 放電現象の最前線

佐藤 光輝
(北海道大学 大学院理学研究院)

Contents

- 自己紹介
- 雷放電
(電荷分離機構, 放電形態, OTD, LIS, 全球分布)
- 高高度放電発光現象
(スプライト, エルプス, ISUAL/FORMOSAT-2, 化学効果)
- 地球ガンマ線
(BATSE, RHESSI, 地上観測)
- 衛星観測計画
(必要性, SPRITE-SAT, TARANIS, JEM-GLISM, ASIM)
- 雷・宇宙・気候 (太陽-地球間結合)

自己紹介

- 1995年 B4 研究室配属
(東北大学 福西研) → O₃化学をやりたいかった
磁気圏物理 (電磁流体波動)
AGO (Automatic geophysical Observatories) データ解析
- 1996年 10-12月 M1 Bell研究所留学
AGOのデータ解析 (磁力計データ, aurora dynamics)
東北大学がエルブスを発見
- 1998年 D1 1-100Hz ELF 波動観測システムの開発

自己紹介

- 1999-2001年 JARE41に越冬隊として参加
- (低温研) 西村さんと一緒



自己紹介

- 開発した1-100Hz ELF波動観測システムを昭和基地に設置
(南極域では初となるELF波動観測)
その後、同システムを日本、スウェーデン、米国に設置
- 2004年に D論、就職、結婚を果たす(3冠王)
- 2004年4月-2007年8月 理化学研究所(和光市)
 - EUSOミッションに参加
 - TARANISミッションに参加
 - JEM-GLISMミッションを企画
- 2007年9月 東北大学でPD (SPRITE-SATに参加)
- 2007年10月 現職



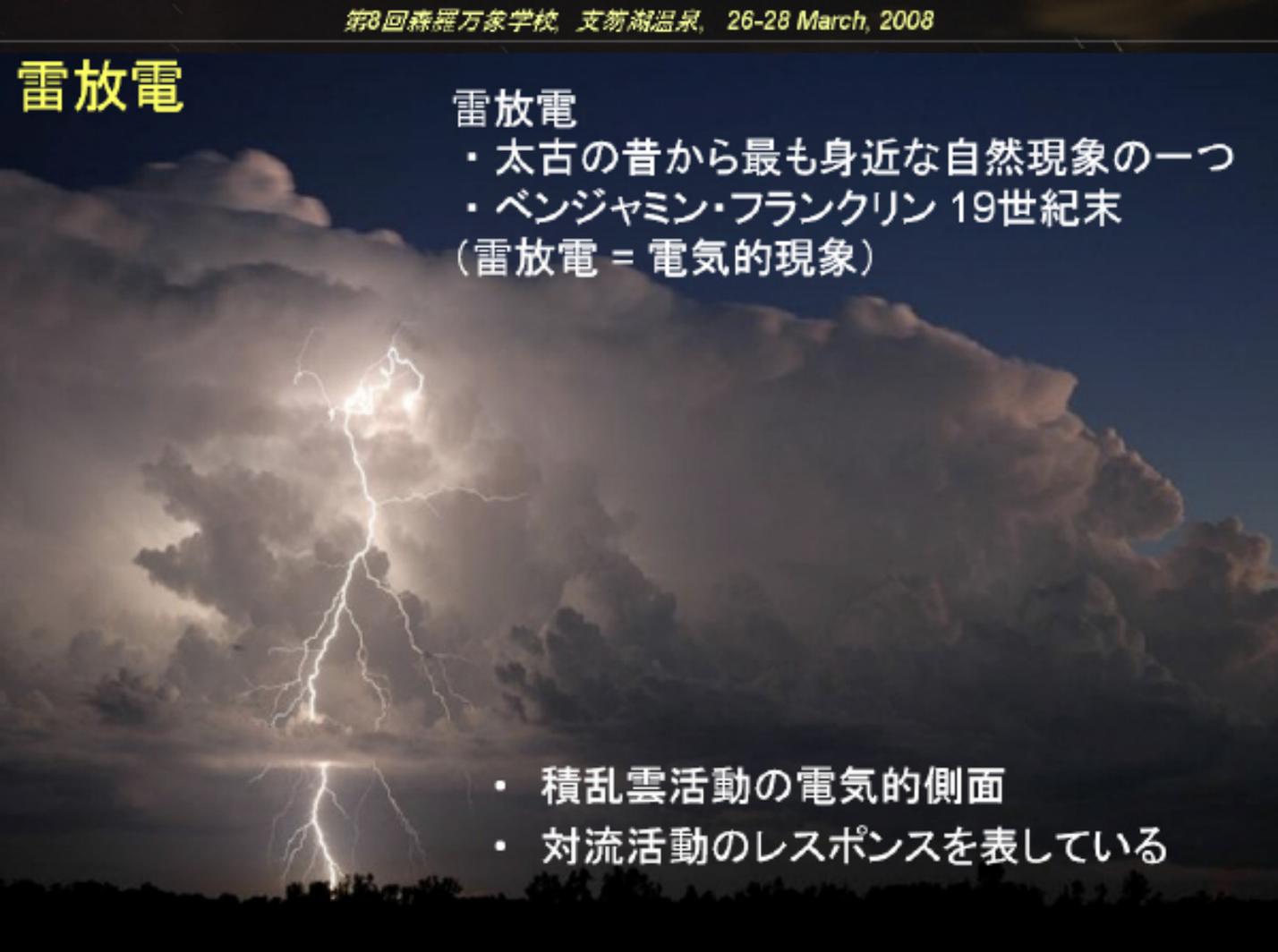
Lightning Discharge



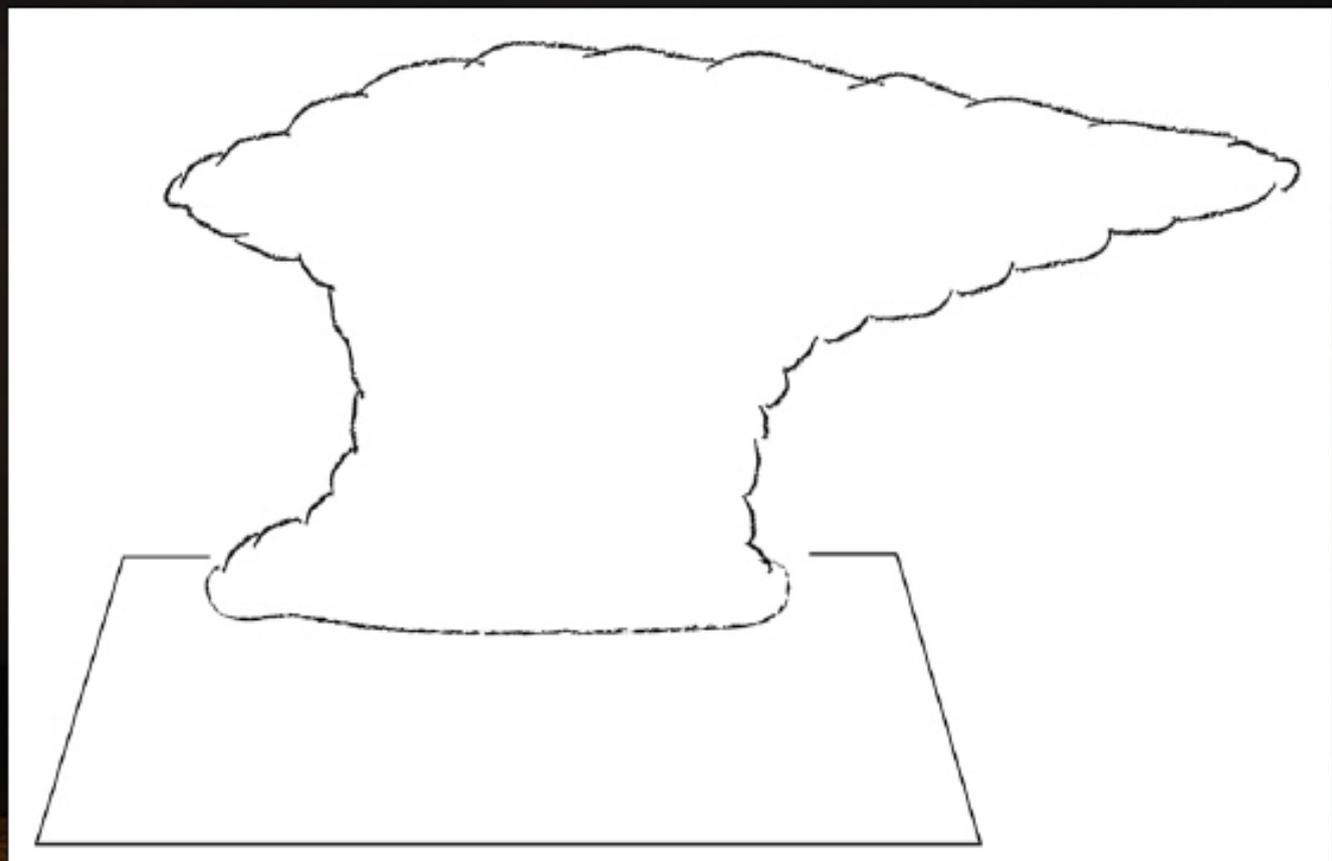
雷放電

雷放電

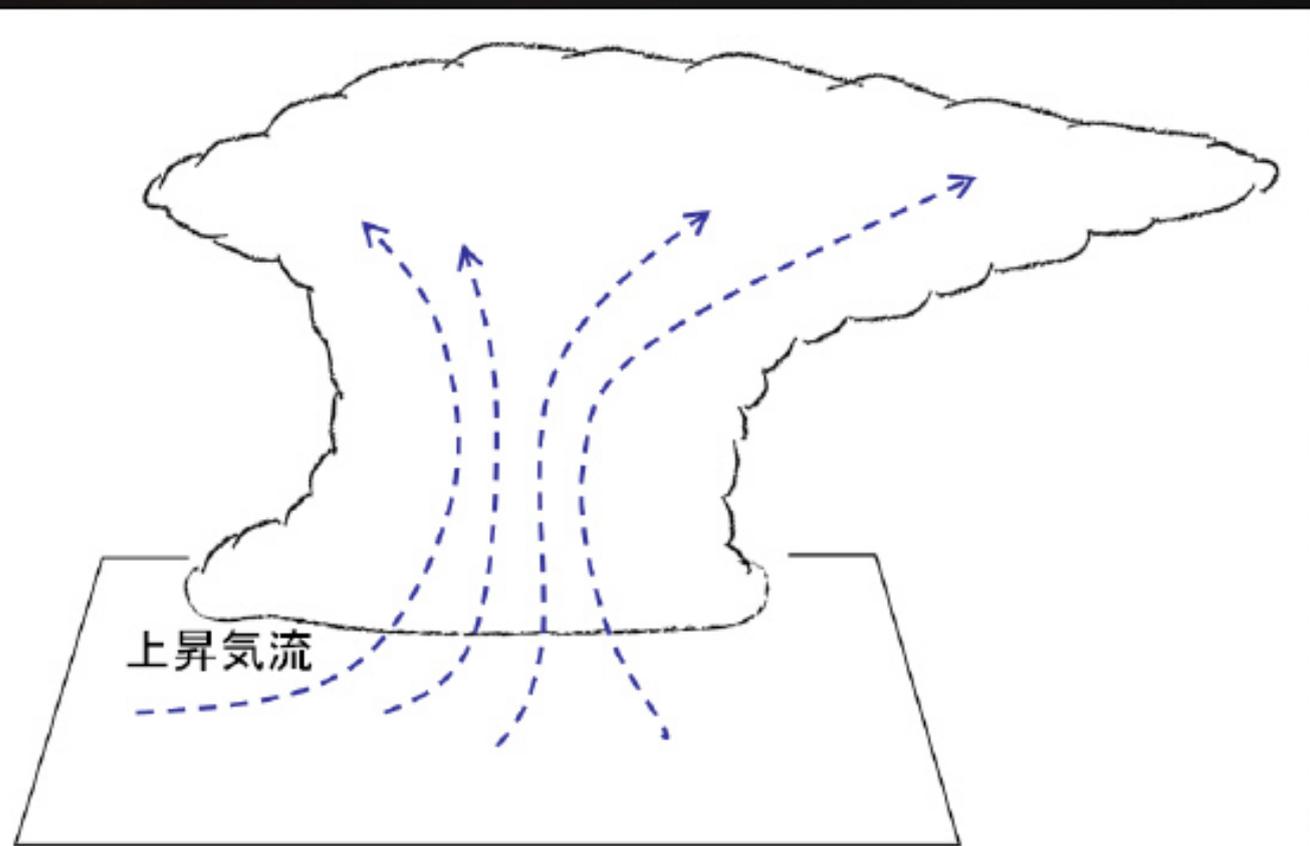
- ・ 太古の昔から最も身近な自然現象の一つ
- ・ ベンジャミン・フランクリン 19世紀末
(雷放電 = 電氣的現象)

- 
- ・ 積乱雲活動の電氣的側面
 - ・ 対流活動のレスポンスを表している

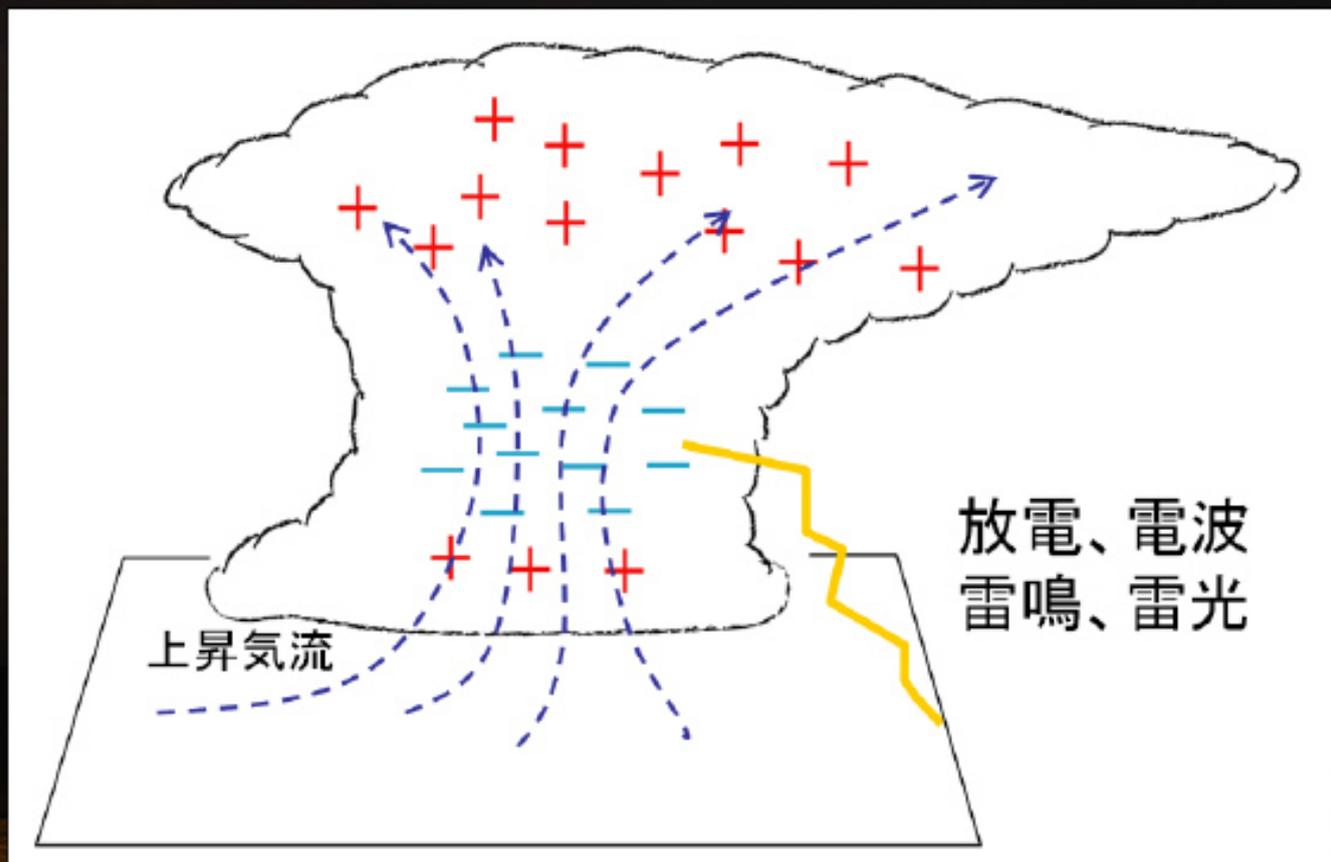
雷放電の発生過程



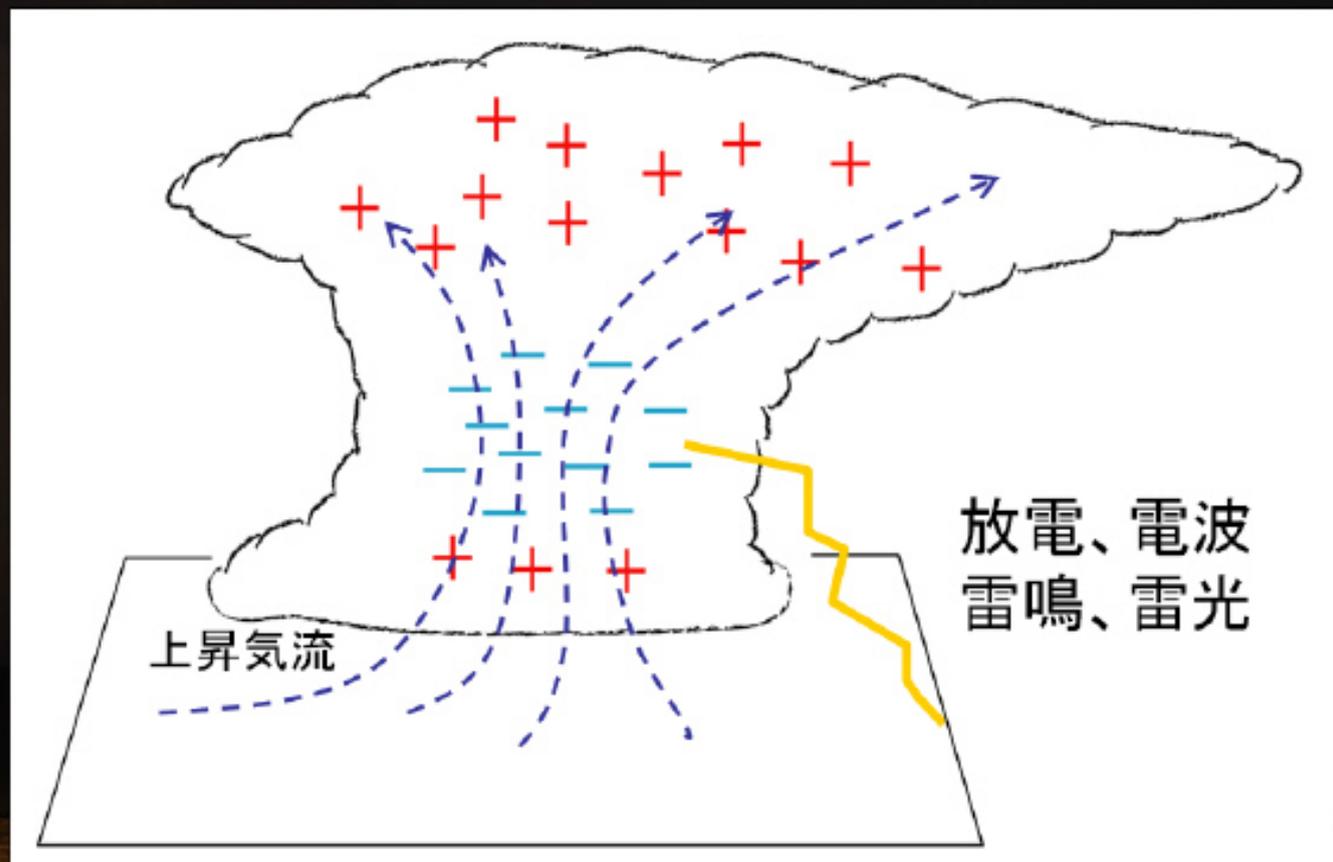
雷放電の発生過程



雷放電の発生過程

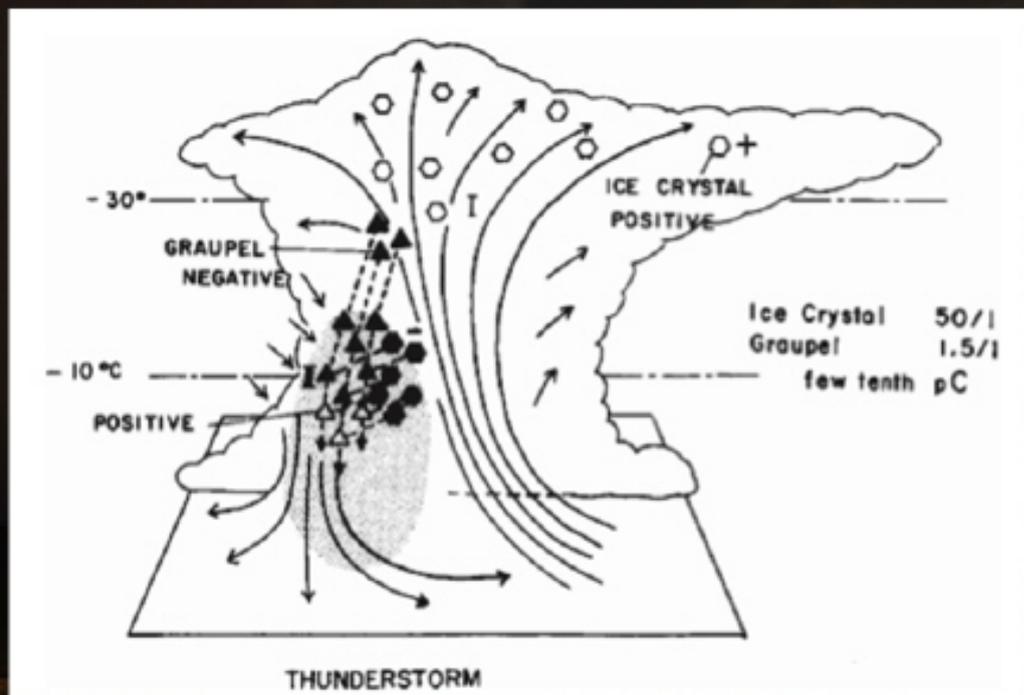


雷放電の発生過程



電荷分離機構

- 氷晶, アラレの衝突
- 電荷分離 [高橋劭(つとむ), 北大OB, 地球物理学科第1期生]



雷雲内部の
電荷分離
↓
3極構造

Fig. 雷雲内部の電荷分布

MCSの電荷分布

- MCS (Mesoscale Convective System)
- 50-500 kmスケール
- 気球観測
- 電荷分布測定

高度方向に複雑な電荷分布をしている

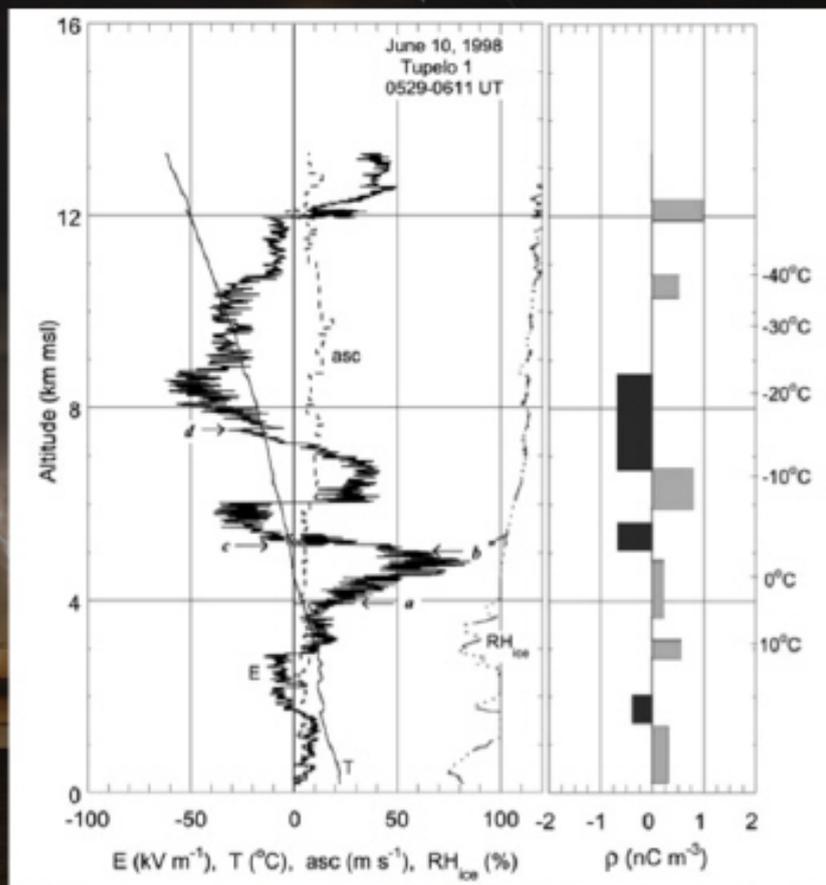
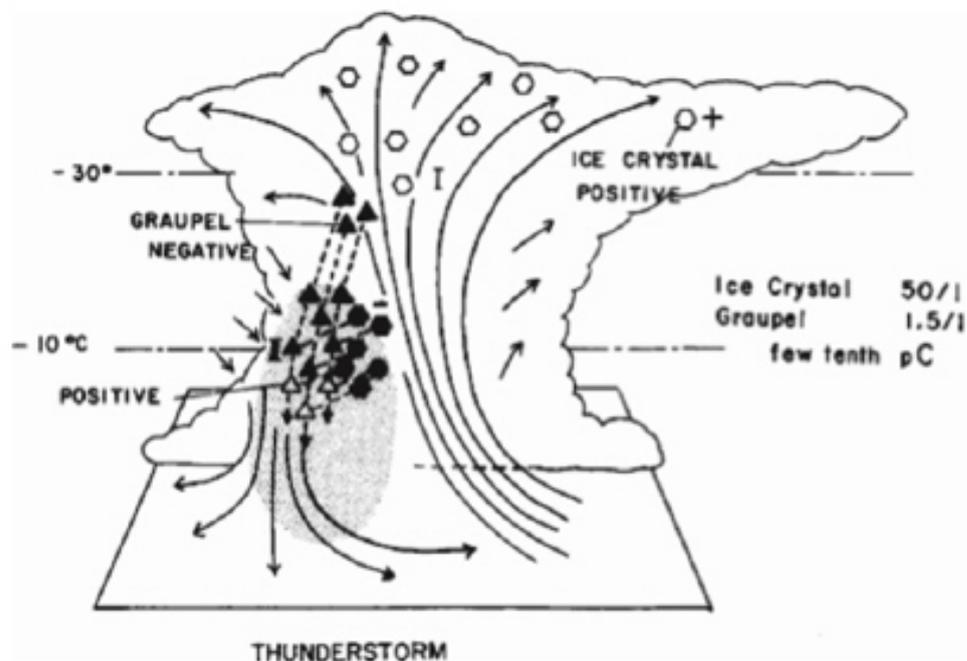


Fig. 気球による電場(E), 温度(T), 相対湿度(RH)観測
[Stolzenburg et al., 2002]

電荷分離機構

- 氷晶, アラレの衝突
- 電荷分離 [高橋劭(つとむ), 北大OB, 地球物理学科第1期生]



雷雲内部の
電荷分離
↓
3極構造

Fig. 雷雲内部の電荷分布

MCSの電荷分布

- MCS (Mesoscale Convective System)
- 50-500 kmスケール
- 気球観測
- 電荷分布測定

高度方向に複雑な電荷分布をしている

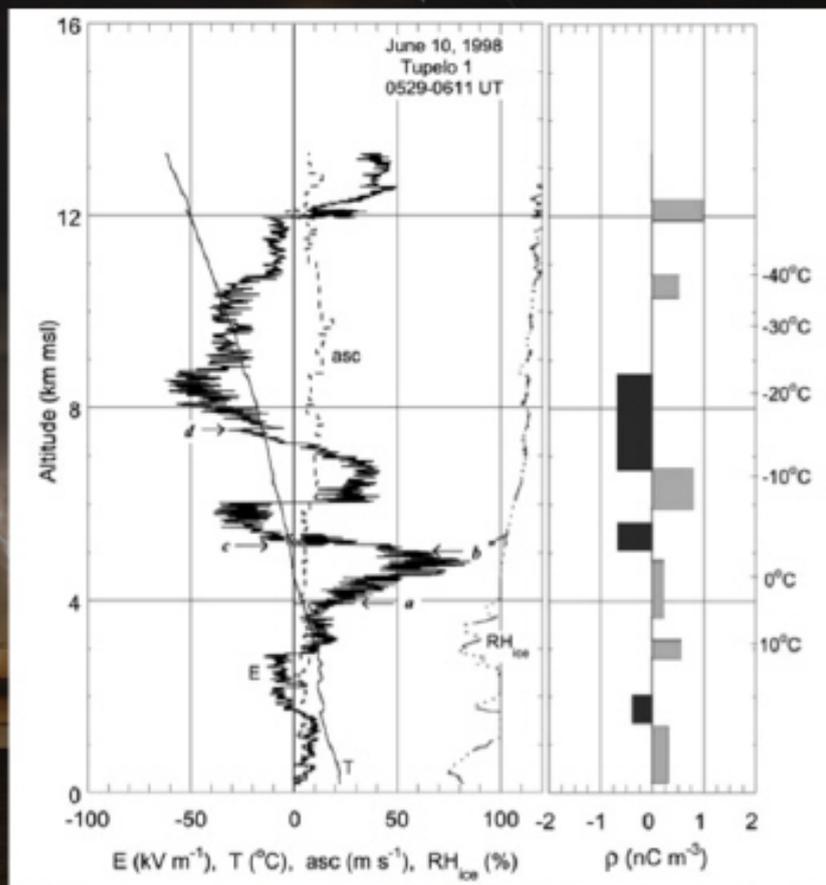


Fig. 気球による電場(E), 温度(T), 相対湿度(RH)観測
[Stolzenburg et al., 2002]

MCSの電荷分布

- 多層に分かれた電荷分布
- Convective region, Stratiform region

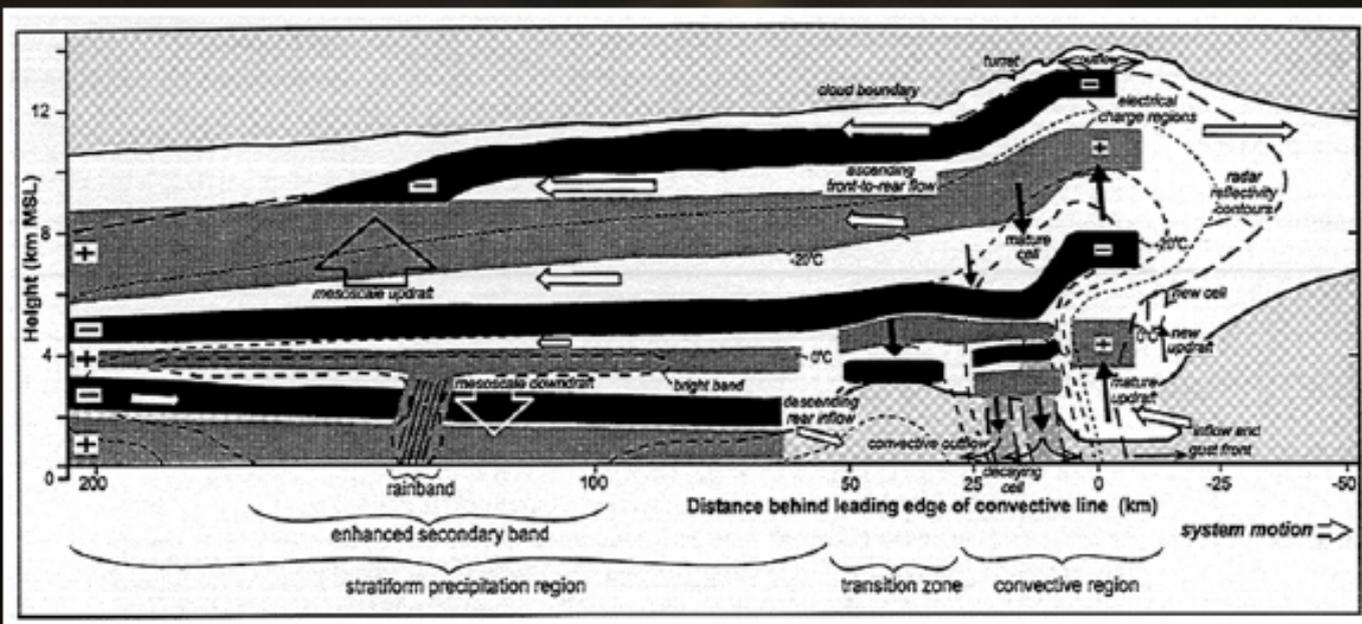


Fig. 気球観測から推定されるMCSの電荷分布 [Stolzenburg et al., 2001]

MCSの電荷分布

- MCS (Mesoscale Convective System)
- 50-500 kmスケール
- 気球観測
- 電荷分布測定

高度方向に複雑な電荷分布をしている

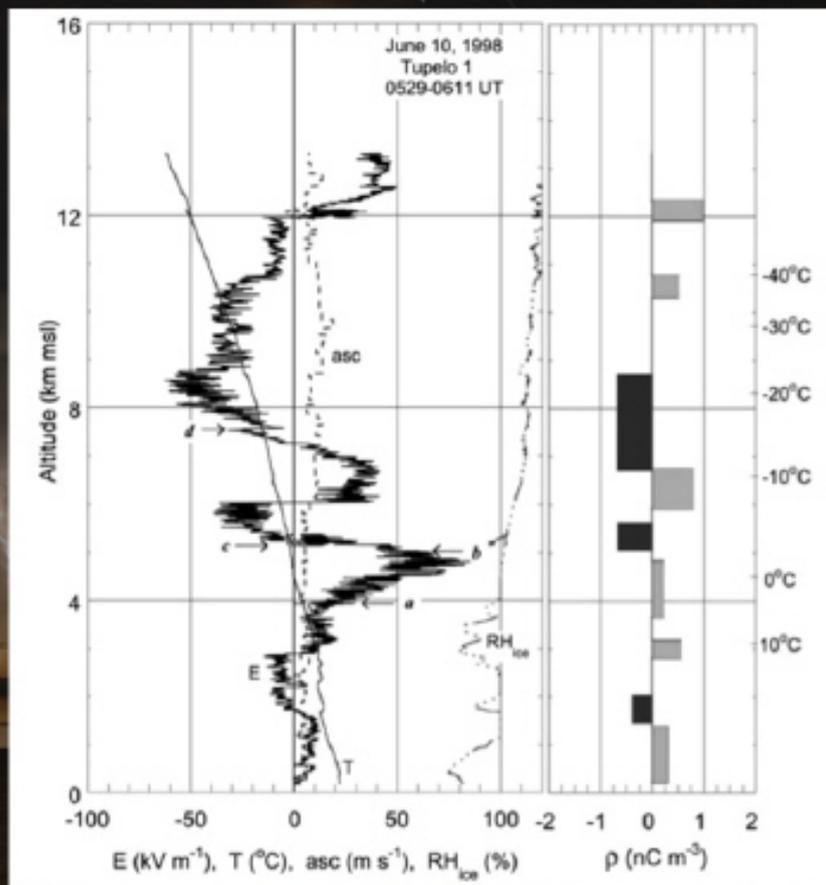


Fig. 気球による電場(E), 温度(T), 相対湿度(RH)観測
[Stolzenburg et al., 2002]

MCSの電荷分布

- 多層に分かれた電荷分布
- Convective region, Stratiform region

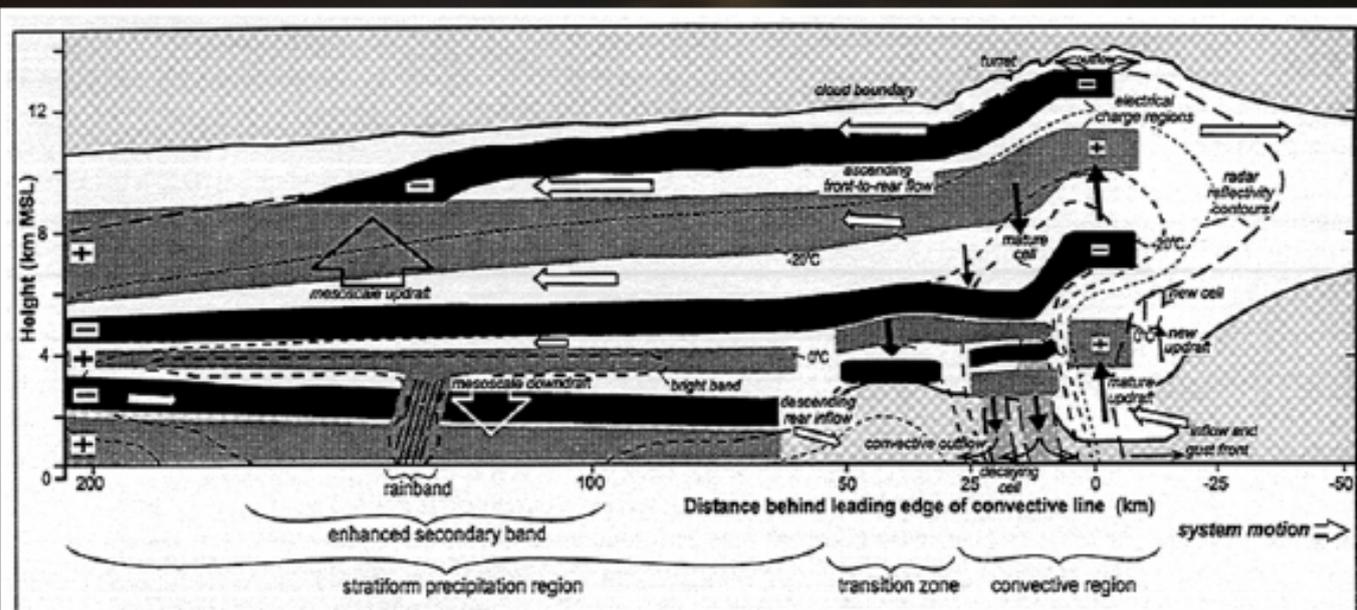


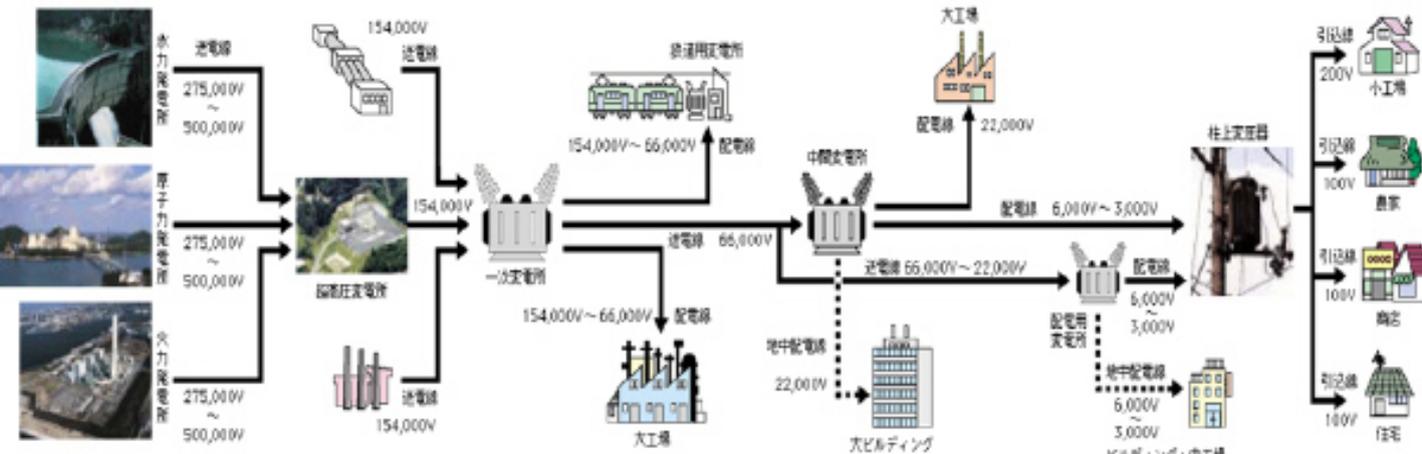
Fig. 気球観測から推定されるMCSの電荷分布 [Stolzenburg et al., 2001]

雷の電流、電圧

- 電圧値: 100万V ~ 1億V
- 電流値: 10万A
- 時定数: 200 μ s ~ 数100 ms

恐ろしや...

(送電線: 数万V, 数千A)



雷の諸パラメータ

雷の研究は100年間あれども。。。

- いつ、どこで、どのくらい？
- Cloud-to-ground discharge (CG), Intra-cloud (IC), Cloud-to-cloud (CC)の比率は？
- +CG, -CGの比率は？

宇宙空間からの雷観測

- STS-58 (Space Shuttle Columbia)



QuickTimey Ç²
ēLi&ÉvÉçÉOÉāÉÄ
Ç™Ç±ÇĀÉsÉNÉ`ÉÉÇ¼ā@ÇÉÇzÇ¼Ç...ÇÖiKónÇ-ÇIĀB

宇宙空間からの雷観測

- STS-58 (Space Shuttle Columbia)



QuickTimey Ç²
ēLi&ÉvÉçÉOÉāÉÄ
Ç™Ç±ÇĀÉsÉNÉ`ÉÉÇ¼ā@ÇÉÇžÇ¼Ç...ÇŌiKónÇ-ÇIĀB

宇宙からの雷観測

いつ、どこで、どのくらい？

<雷放電の発生頻度分布観測>



• OTD (*Optical Transient Detector*) / Microlab-1衛星

Mission : Apr. 1995 – Mar. 2003

Altitude : ~710 km

Inclination : 70 deg.

Sensor : CCD camera

Sensor FOV : 1300 km × 1300 km

• LIS (*Lightning Imaging Sensor*) / TRMM衛星

Mission : Nov. 1997 --

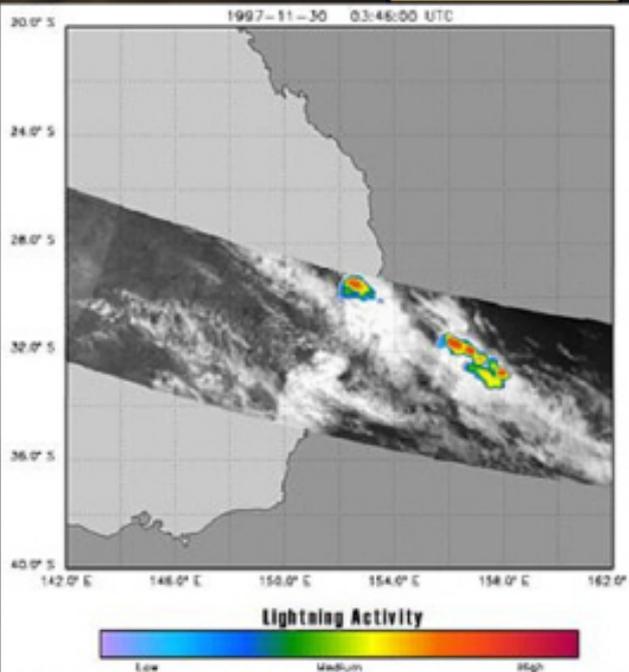
Altitude : ~400 km

Inclination : 35 deg.

Sensor : CCD camera

Wavelength : 777.4 nm (OI)

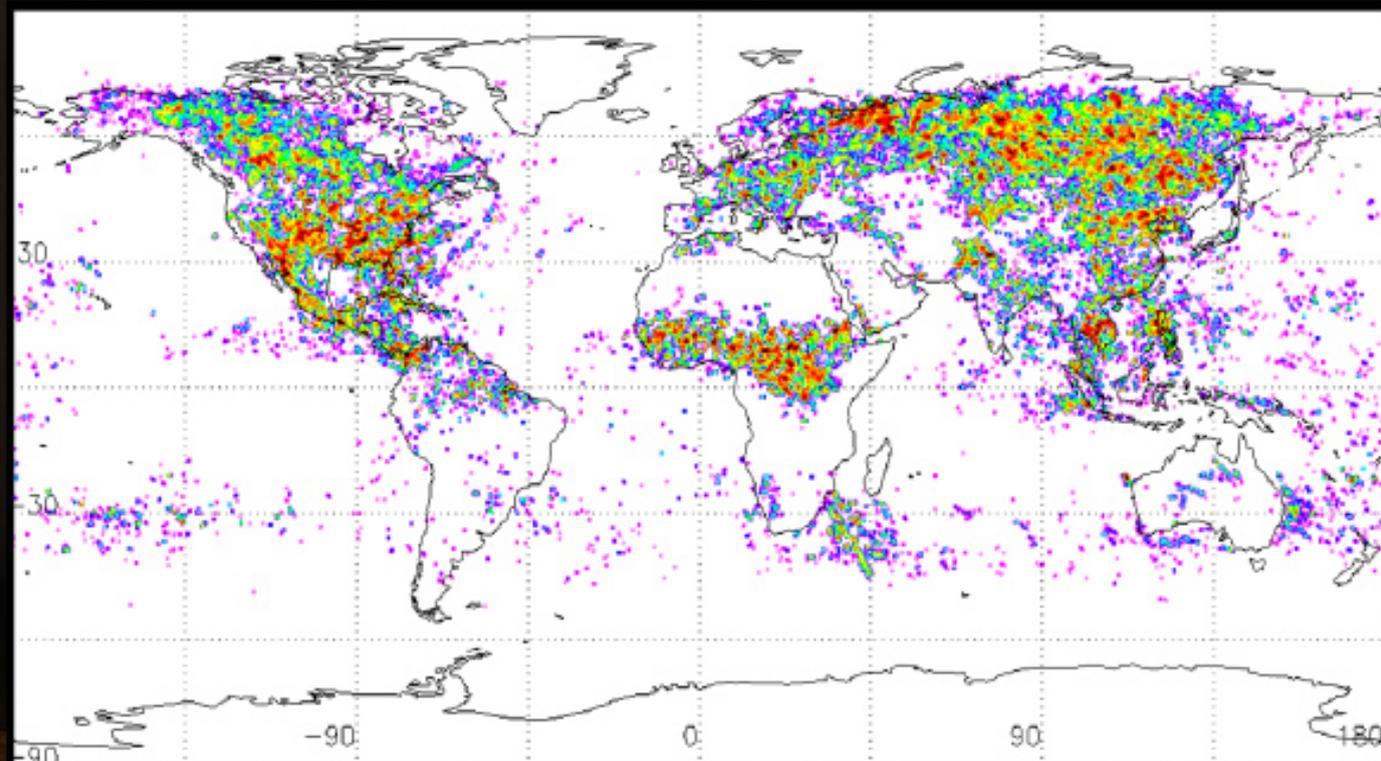
Sensor FOV : 600 km × 600 km



宇宙からの雷観測

北半球が夏の時 (OTD)

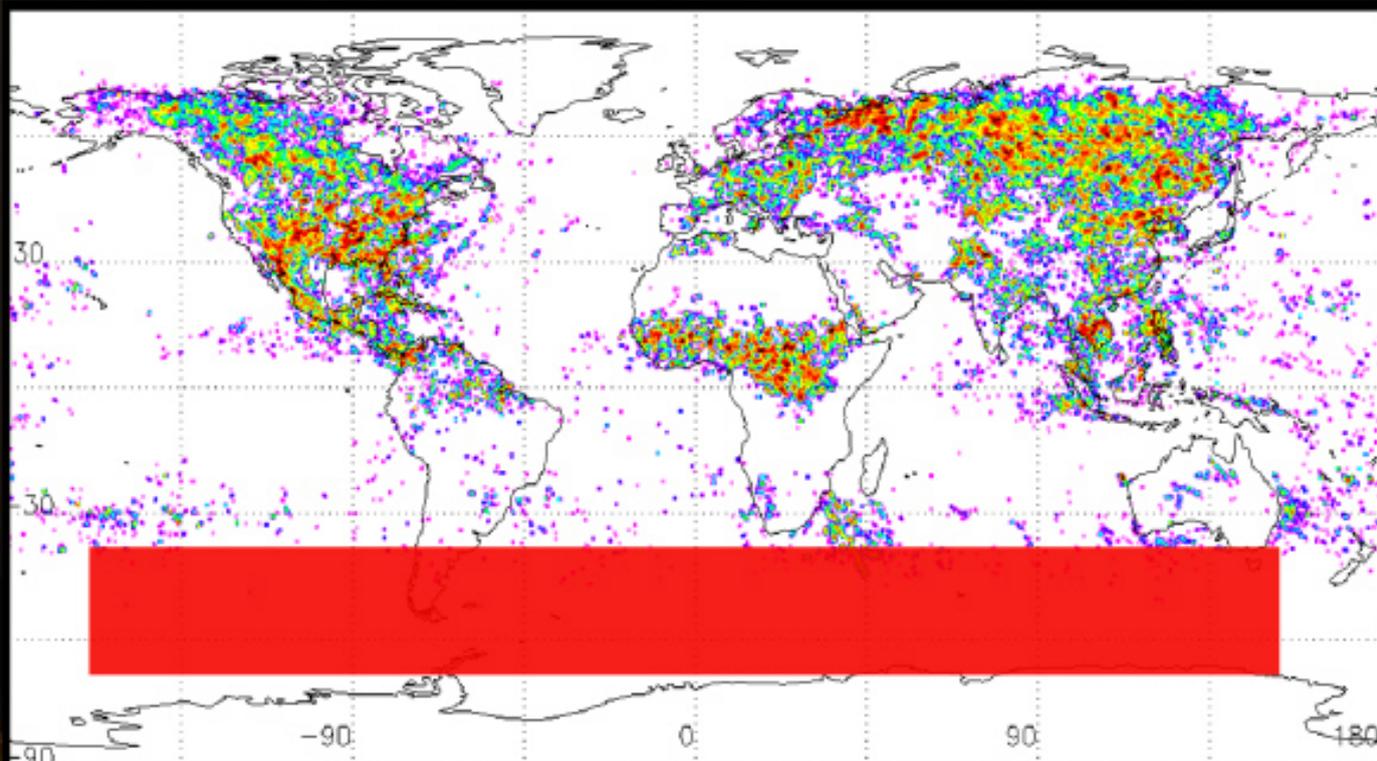
- 陸域に集中
- 80% が 30° N- 30° S で発生



宇宙からの雷観測

北半球が夏の時 (OTD)

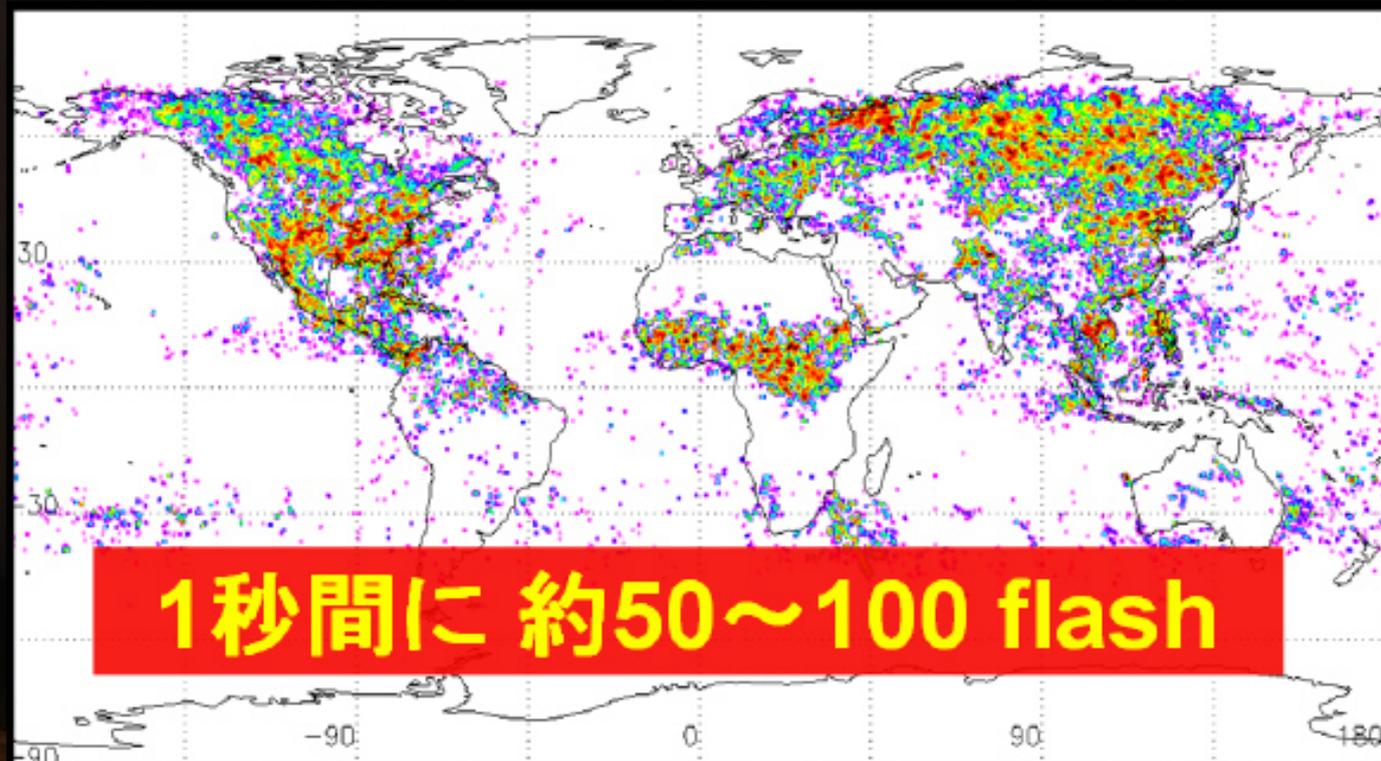
- 陸域に集中
- 80% が 30° N- 30° S で発生



宇宙からの雷観測

北半球が夏の時 (OTD)

- 陸域に集中
- 80% が 30° N- 30° S で発生



雷放電

- いつ、どこで、どのくらい？

主に陸域(南北アメリカ、アフリカ、東南アジア)

主に夏半球で活発 (6-8月:北半球夏、12-2月:南半球夏)

北緯30° ~ 南緯30° で全球雷の80%が集中

- CG, IC/CCの比率は？

CG 20%, IC/CC 80%

- +CG, -CGの比率は？

+CG 10%, -CG 90%

Transient Luminous Events (TLEs)

雷放電に伴う放電発光現象の発見

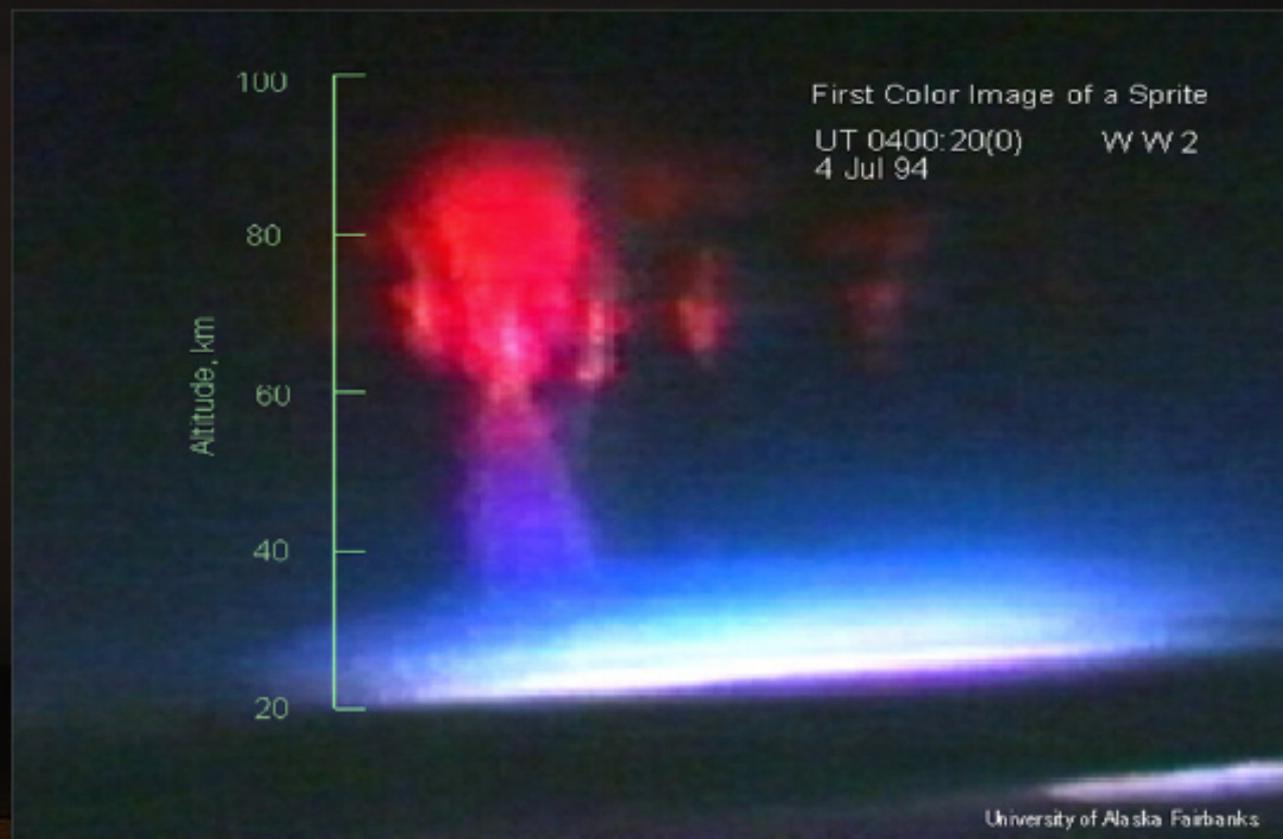
1989年 米国 Franz R.C. (ミネソタ大学)

- ・ ロケット搭載用のCCDカメラの試験中
- ・ 雷雲上空の星空を観測

偶然、全く新しい発生形態をもつ雷を発見

～2008年 全世界で爆発的に研究が進む
(地上観測, スペースシャトル, 雷観測衛星)

高高度での放電発光現象



高度 (km)

米国コロラド州

100

90

80

70

60

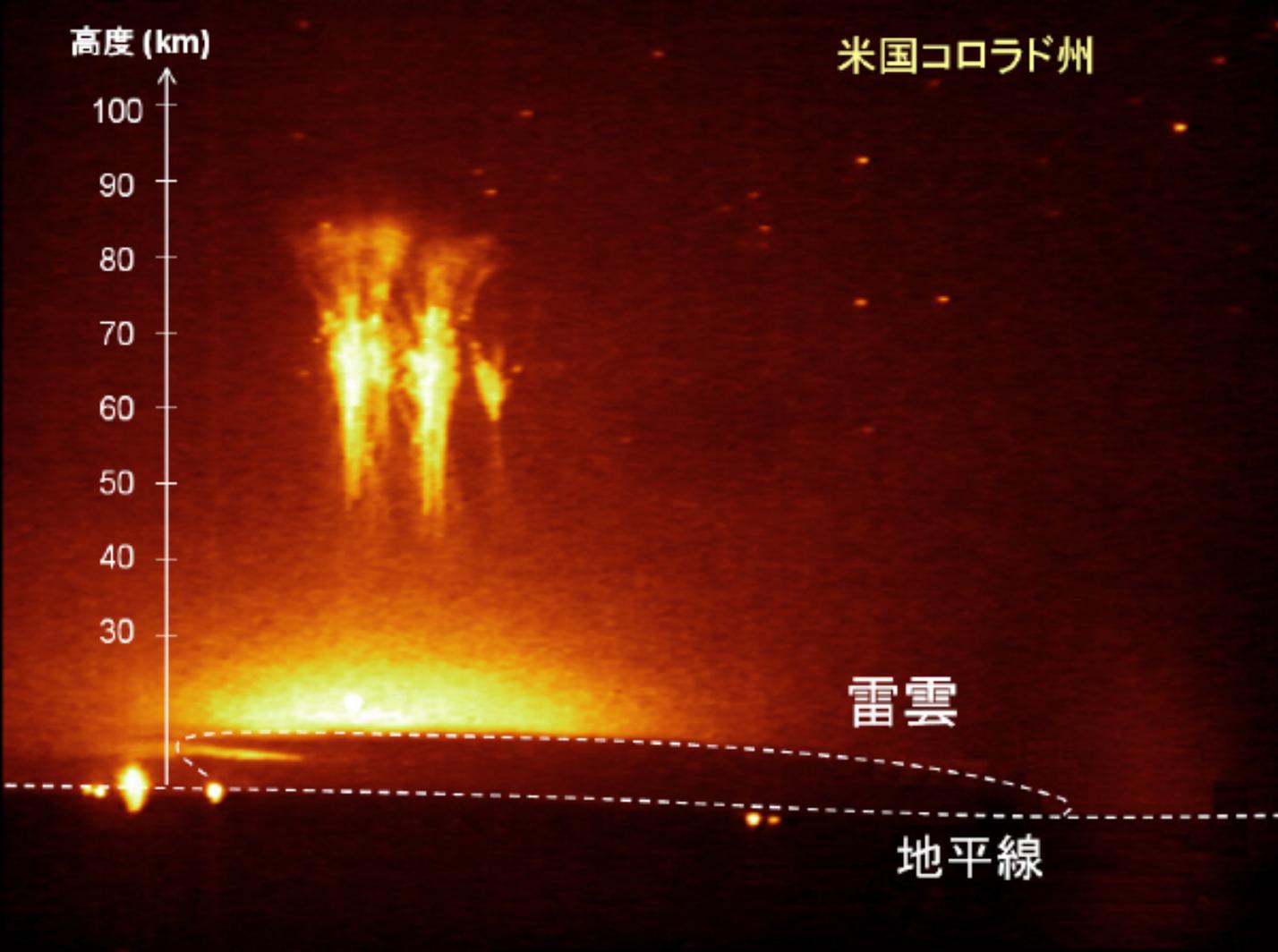
50

40

30

雷雲

地平線



高度 (km)

米国コロラド州

100

90

80

70

60

50

40

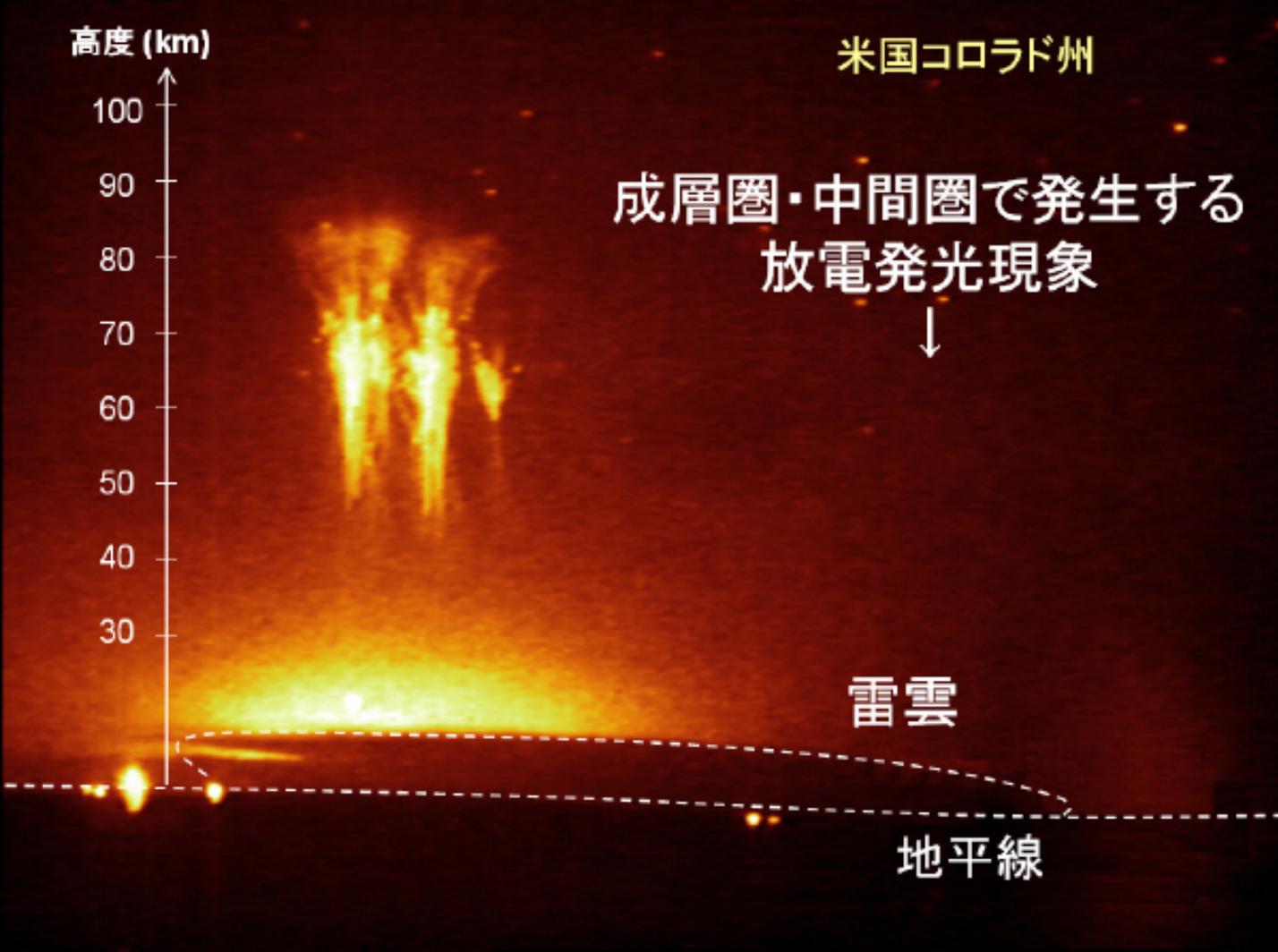
30

成層圏・中間圏で発生する
放電発光現象



雷雲

地平線



高度 (km)

米国コロラド州

100

90

80

70

60

50

40

30

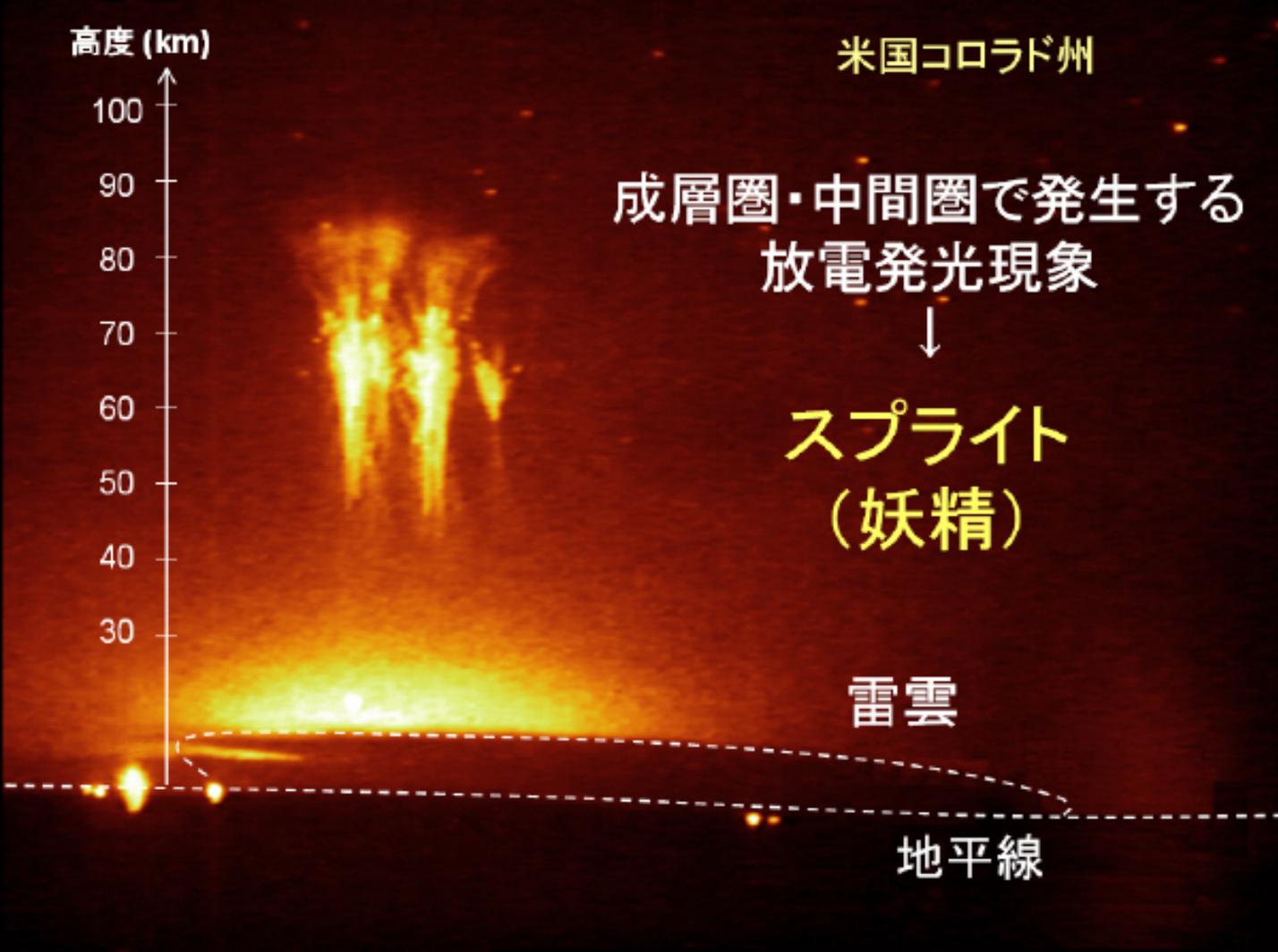
成層圏・中間圏で発生する
放電発光現象



スプライト
(妖精)

雷雲

地平線



キャロット・スプライト

発光の時定数:
空間スケール:

1 ms - 数10 ms
50 km程度

QuickTime[®] 2
èLí&ÉvÉçÉOEâÉÄ
Ç™Ç±ÇÄÉsÉNE'ÉÉÇ¼ä©ÇÉÇzÇ¼Ç...ÇÖiKóvÇ-ÇiÄB

キャロット・スプライト

発光の時定数:

1 ms - 数10 ms

空間スケール:

50 km程度



カラム状・スプライト

発光の時定数:

2-3 ms

空間スケール:

数km/column

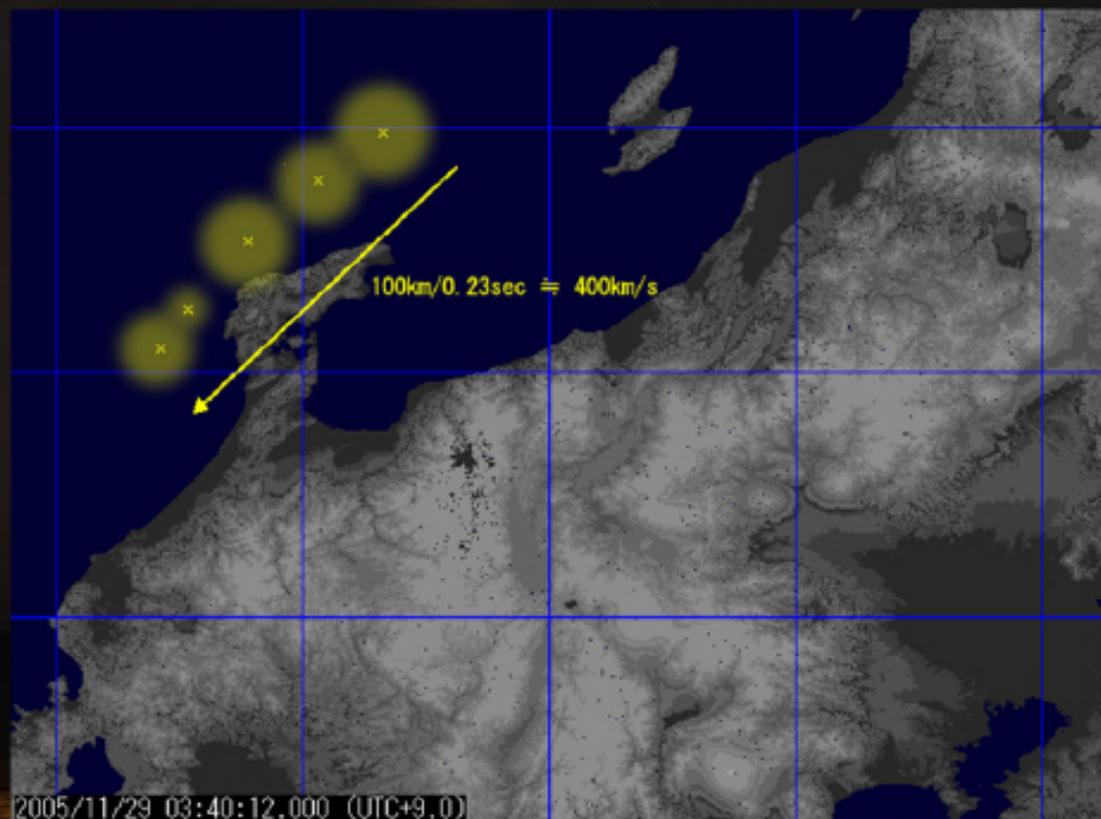
QuickTime[®] ζ^2
èLiÉvÉçÉOÉâÉÄ
Ç™Ç±ÇÄÉsÉNÉ'ÉÉÇ¼âΘÇÉÇZÇ¼Ç... ÇÖIKónÇ-ÇIÄB

ダンシング・スプライト

QuickTimeý Ç²
èLÍ£ÉvÉçÉOÉãÉÁ
Ç™Ç±ÇÃÉsÉNE'ÉÉÇ³â©ÇÉÇžÇ¼Ç... ÇÖIKóvÇ-ÇIAB

ダンシング・スプライト

冬季日本: 前線に沿って



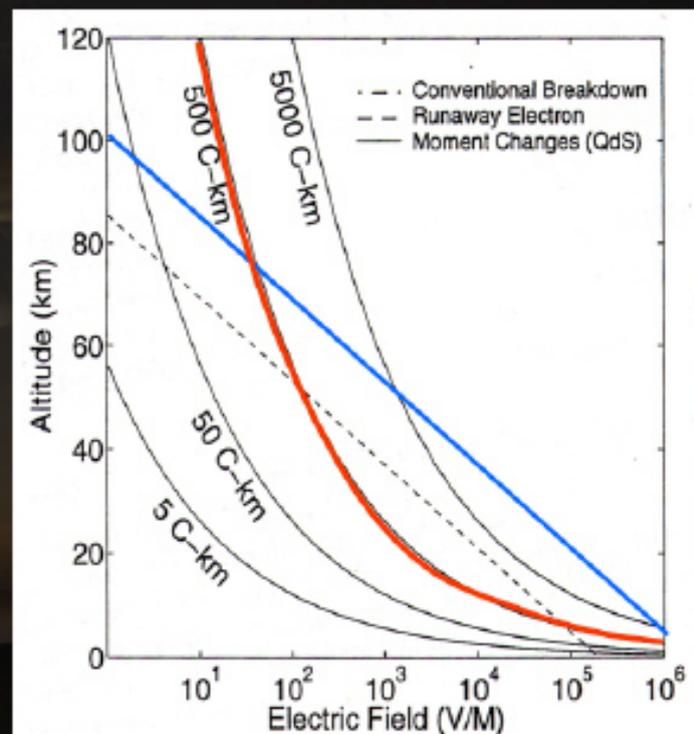
スプライトの発生メカニズム

準静電場モデル [Pasko et al., 1997]
(Quasi-Electrostatic model)

“準” : $T_E > \tau = \epsilon_0 / \sigma$

- QE 電場による絶縁破壊
電子が雪崩的に増殖
↓
大気衝突
- CGの電荷モーメント (Qdl)
> 1000 C·km

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q \cdot dl}{r^3}$$



Hu et al. [1999]