2017年12月11日茨城県沖で発生した巨大ジェットの特徴

山下　直也[1*]　松山　隼[1]　平野　慎[1]　斎須　けいら[1]

太田　諭志[1]　大窪　佑弥[1]　青島　晃[1]　榑松　宏征[1]

三好　輝徳[2]　和田　真由美[3]　山本　周史[4]　岡本　純人[5]

山本　真行[6]

(受領日：2019 年 4 月 10 日)

[1] 静岡県立磐田南高等学校
〒 438–8686 静岡県磐田市見付 3084

[2] 香川県立三本松高等学校
〒 769–2601 香川県東かがわ市三本松 1500–1

[3] 高知県立高知小津高等学校
〒 780–0916 高知県高知市城北町 1–14

[4] 高知県教育センター
〒 781–5103 高知市大津乙 181

[5] 高知みらい科学館
〒 780–0842 高知県高知市追手筋 2–1–1 オーテピア 5F

[6] 高知工科大学 システム工学群
〒 782–8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185

[*] E-mail: sprite_bannan@yahoo.co.jp

要約：高高度発光現象（TLEs: Transient Luminous Events）の一種で発生頻度の極めて低い巨大ジェットを 2017 年 12 月 11 日 22 時 47 分 13 秒に観測した。そこでこの巨大ジェットの特徴や成因を他の TLEs や気象条件と関連させて解明することにした。高感度 CCD カメラで撮影された動画から巨大ジェットを動体検知ソフトで検出し、同時に複数地点で観測された同一巨大ジェットの方位角と仰角より、三角測量の原理を用いて発生地点や高度を特定した。さらに発生地点の気象条件、雷や TLEs の発生数や発生位置から巨大ジェットの成因を考察した。この結果、この巨大ジェットは茨城県沖の北緯 35.57°、東経 139.40° で発生し、その上端高度は 66.3 km であること、巨大ジェットの発光は形状から 5 つの部位に分かれ、下部、上部、中部の順に伸展していたことが分かった。また発生地点に寒冷前線が接近していたこと、雨雲は存在していたが落雷や降水は殆どなかったことが分かった。以上から、寒冷前線に向かって寒気が吹き込み、急速に積乱雲が発達したが、落雷や降水による電荷の解消が起こらなかったために対流圏に電荷が蓄積し、その大量の電荷を中和するために巨大ジェットが発生したと考えられる。



図 1. 磐田南高校から観測された巨大ジェット

1. 動機・目的

静岡県立磐田南高等学校では高大連携研究の一環として 2007 年から静岡県磐田市にある校舎の 4 階にて高高度発光現象（TLEs: Transient Luminous Events）の観測を開始した。本連携研究は、先進的な高校理科教育活動の一環として高知小津高等学校と高知工科大学が立ち上げ、現在は三本松高等学校の協力も得て取りまとめており、複数の高校・大学が連携しスプライトに代表される TLEs を全国で同時観測することを核とした大規模かつ専門的な共同研究である (山本, 2010)。高校生や高校教員の継続的な努力により継続され、国内外の研究者からも世界最大級の TLEs 観測網として高い評価を得ている。2017 年 12 月 11 日 22 時 47 分 13 秒に磐田南高校から北東方向に設置した高感度 CCD カメラにより TLEs の一種である図 1 の巨大ジェットを観測した。巨大ジェットは非常に発生頻度の低い現象であり、磐田南高校の過去の観測では 2010 年 12 月 9 日以来だった。そこで、この巨大ジェットの特徴を他の TLEs や気象条件と関連させて解明することを目的とした。

2. 巨大ジェットとは

TLEs とは、雷雲地上間放電（CG: Cloud-to-Ground discharge）に伴って雷雲上空、中間圏・熱圏下部で発生する発光現象の総称で、スプライト、エルブス等が知られている（図 2）。TLEs は 1989 年に初めて確認された (Franz et al., 1990) が、現在でもその発生メカニズムは不明な点が多い。巨大ジェットもこの一種で下端は高度約 20 km、上端は 70～90 km の逆円錐型の発光現象である。他の TLEs は地表付近の落雷に伴って発生するのに対し、巨大ジェットは殆どが落雷を伴わずに発生する。表 1 は磐田南高校で

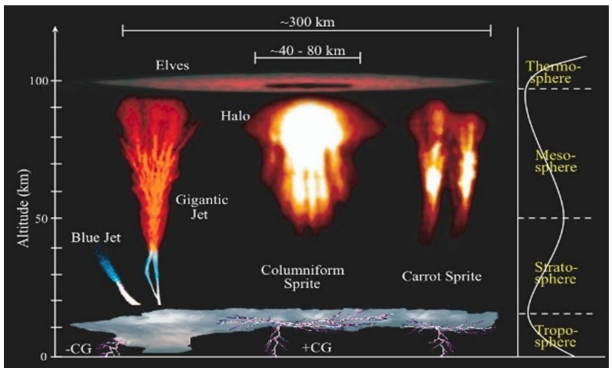


図 2. TLEs の発生高度と種類 [1)]

表 1. 磐田南高校で観測された TLEs の件数

	巨大ジェット	スプライト	エルブス	その他	計
2008 年度	1	686	68		755
2009 年度		364	15		379
2010 年度	2	1,425			1,427
2011 年度		680	3		683
2012 年度		894	14		908
2013 年度		688	21	2	711
2014 年度		630	20	2	652
2015 年度		257	21		278
2016 年度		341	28		369
2017 年度	1	359	7	5	372
2018 年度		190			190
計	4	6,514	197	9	6,724

観測された TLEs の件数である。2008 年度から 2018 年度まで 6,724 件の TLEs が観測されたが、このうち巨大ジェットはわずか 4 件のみである。このように観測例が極めて少ない。

3. 観測方法

図 3 は TLE 観測システムの模式図、図 4 はカメラの視野範囲である。図 5 の高感度 CCD カメラで撮影された TLEs を動体検知ソフト UFOCaputureV2 で常時監視することにより、自動観測を行っている。PC がカメラの映像を自動で監視し、TLEs を検知した場合、その前後 3 秒を含めた動画を記録する。PC の時刻は GPS 時計により 1/100 秒の精度で管理されており、精確な観測時刻を知ることができる。また、本観測では共同観測ネットワークが敷かれているため、他観測点において同時観測された同一イベントの仰角と方位角から、三角測量の原理を用いてイベントの発生地点や高度を特定することができる。仰角や方位角などの観測記録のやり取りは電子メール等を通じて行う。

4. 先行研究

筆者らは、これまでに巨大ジェットの観測を 3 回行った。1 回目は 2008 年 11 月 29 日 21 時 15 分 25 秒

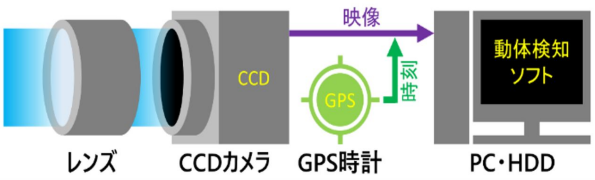


図 3. TLE 観測システムの模式図

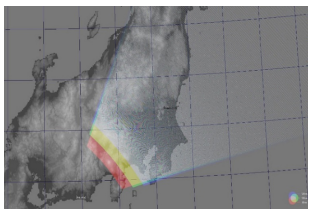


図 4. 関東方面のカメラの視野範囲



図 5. 高感度 CCD カメラ（WAT-100N）

に石川県加賀市上空（東経 136.353°、北緯 36.175°）で観測された図 6 の巨大ジェットである。この巨大ジェットは、2009 年 12 月 12 日 23 時 36 分 56 秒にフランスのコルシカ島で発生した巨大ジェット (Zanotti, 2009) との形状比較から、磐田南高校で観測された巨大ジェットを接ぎ木状巨大ジェット、コルシカ島の巨大ジェットを一体状巨大ジェットと区別し、それぞれの時間を追った上昇過程の違いについて考察した。この結果、磐田南高校で観測した接ぎ木状巨大ジェットの上昇過程は、その特徴から下から 5 段階に分割できるが、コルシカ島の一体状巨大ジェットは 3 段階であり、接ぎ木状巨大ジェットに比べて、短時間で急激に上昇したことが分かった。また、同時に行っていた VLF 電波観測ではスプライトのパルスは 1 回であるのに対し、巨大ジェットは 2 回であることや波形が異なることがわかった。

2 回目は 2010 年 11 月 30 日 3 時 17 分 29 秒に鳥取県沖の日本海（東経 133.438°、北緯 37.875°）で発生した図 7 の巨大ジェットである. この巨大ジェットは上端高度 120 km の一体状巨大ジェットであった。3 回目は 2010 年 12 月 9 日 5 時 37 分 17 秒に、富山湾上空（東経 137.195°、北緯 37.192°）で発生した図 8 の一体状巨大ジェットである. 発光時間は 6/60 秒（100 ms）で高度は最下端 10 km から上端高度 108.1 km まで上昇したことが分かった.

5. 発生地点

筆者らは 2017 年 12 月 11 日 22 時 47 分 13 秒、北東方向のカメラによって図 9 の巨大ジェットを観測



図 6. 2008 年 11 月に観測した巨大ジェット（磐田南高校撮影）



図 7. 2010 年 11 月に観測した巨大ジェット（三本松高校撮影、田中他、2012）



図 8. 2010 年 12 月に観測した巨大ジェット（MASUZAWA 氏撮影、私信、2010）

した。また、この巨大ジェットは図 10 のとおり青山学院大学の段毛毛氏も観測していた。そこで、2 観測点から図 9 と図 10 の対応する点（図中の ×1 と ×2）の方位角と仰角から三角測量の原理を利用して解析し、発生地点の位置と高度を求めた。この結果、図 11 のとおりこの巨大ジェットは茨城県沖（北緯 35.57°、東経 139.40°）で発生し、巨大ジェットの上端高度は 66.3 km であることが分かった。交差角が狭く誤差が大きい可能性がある。

6. 巨大ジェットの発光の時間変化

巨大ジェットの発光の時間変化を解析するために、筆者らが観測した巨大ジェットの動画をデインターレースモードにし、静止画を切り出した（図 12）。同様の方法で神奈川県相模原市の青山学院大学校舎から撮影された静止画も図 13 のとおり切り出した。

特に鮮明に撮影された青山学院大学の画像では、発光の形や明るさから巨大ジェットの形態を図 14

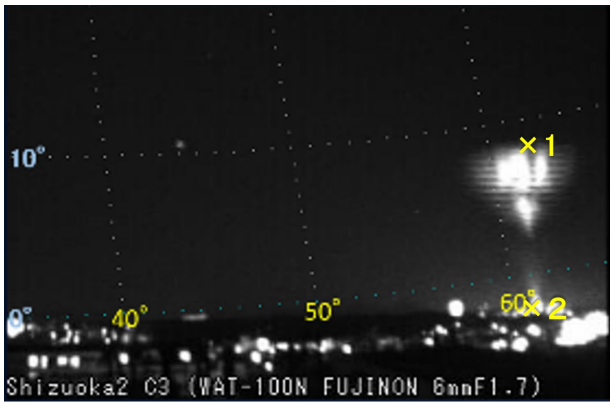


図 9. 磐田南高校から観測された巨大ジェット

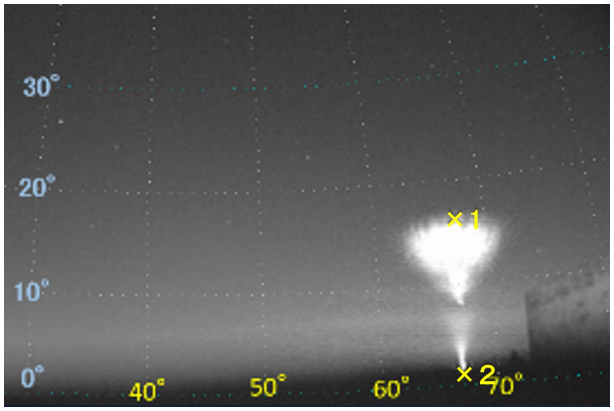


図 10. 神奈川県相模原市青山学院大学校舎から観測された巨大ジェット（段氏撮影、私信、2017）

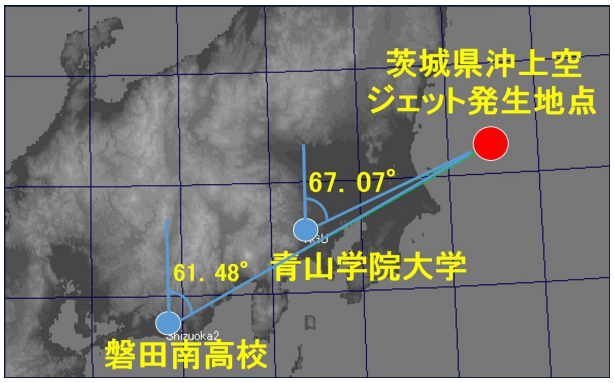


図 11. 巨大ジェットの発生地点

のとおりに A～E の 5 つに分けた。それぞれの特徴は以下のとおりである。

A 高度 5～19 km、下部で細い柱状に強く発光する部分

B 高度 19～35 km、A の上部で放射状に発光する部分

C 高度 35～40 km、B と D の間に見られる発光のない部分

D 高度 40～53 km、E の下に見られる強い発光部分

E 高度 53～66 km、放射状に広がる非常に強い発光部分

次に各部で 1 コマごとにどの範囲に発光しているかを調べた。

① 発光前

② 突然中間圏 66 km 付近までにわたる逆円錐形の発光が起こった

③ 20～40 km の成層圏で、細く淡い発光が続く。成層圏での発光が暗く写っていることから、ブルージェットのような青色の発光と考えられる。

④ 成層圏下部で逆円錐状の発光が強くなり最高点は 66 km まで発光する。35 km と 55 km 付近に発光が一旦途切れたような部分がある。スプライトの発光メカニズム（中間圏に発生した電場の絶縁破壊による発光）ならば中間圏上部 70～80 km で起こるが、それとは異なるためにこの高度の発光は成層圏での巨大ジェットの影響による発光と考えられる。

⑤ 途切れていた 35 km と 55 km も発光して、5～66 km まで連続した強い発光になる

⑥⑦⑧⑨ 高度 10 km でわずかに発光している。これは積乱雲内の雲内放電と考えられる。

図 15 は巨大ジェットの高度別の時間変化である。図 15 より巨大ジェットは 7/60 秒（117 ms）に渡って発光したことが明らかとなった。この図を基に上端高度から上昇速度を求めると、240 km/s となった。これは一般的に知られているジェットの上昇速度（75 km/s～220 km/s）に比べ、比較的速い。また、巨大ジェットは単純に地上から上空に向かって発光するのではなく、まず上部の D、E が発光し、一旦発光が弱まったあと、再び下部の A から E にかけて強く発光することがわかった。その後、最下部 A の積乱雲内の雲内放電と考えられる発光が継続する。

7. 巨大ジェットの前後に発生した落雷とスプライトの関係

巨大ジェットの発生時刻の前後で発生した落雷・スプライトを調べた。スプライトについては SonotaCo.com（http://sonotaco.jp/forum/）の SonotaCo 氏、ITO 氏から提供していただいた。落雷については東京学芸大学（現静岡県立大学）の鴨川仁先生と共同で、WWLLN（World Wide Lightning Location network）を用いて作成した。この結果、スプライトは 11 件、落雷は 32 件発生していたことがわかった。図 16 は時間を追った落雷件数、落雷エネルギー、スプライト件数の変化、図 17 は落雷の発生位置を示す。

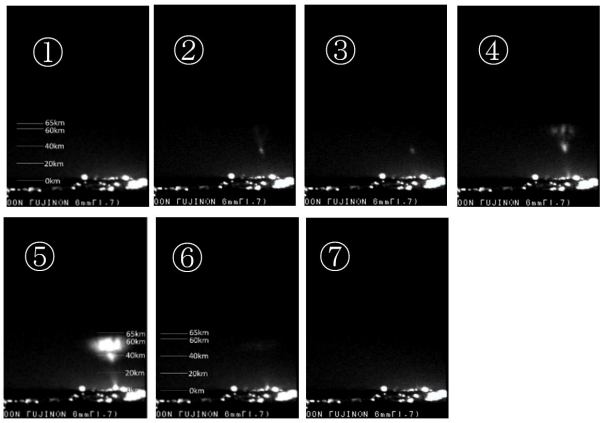


図 12. 磐田南高校から撮影した巨大ジェットの時間変化（1 コマは 1/60 秒）

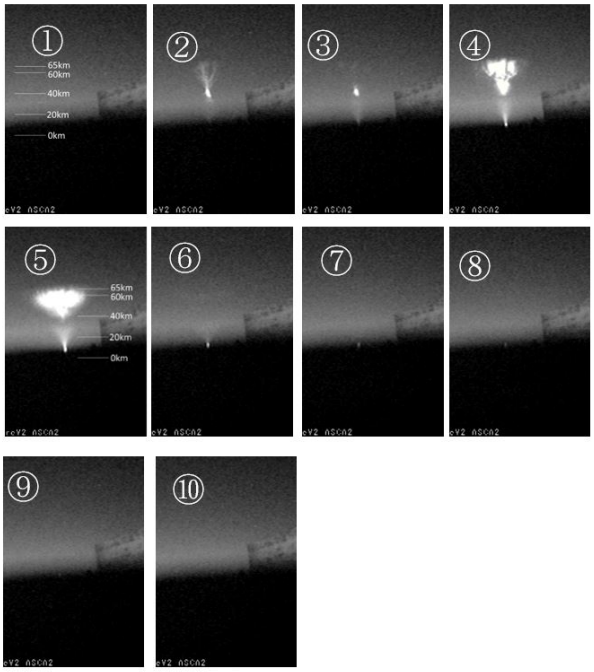


図 13. 神奈川県相模原市の青山学院大学から撮影された巨大ジェットの時間変化（1 コマは 1/60 秒、④が 22 時 47 分 13.4 秒を示している。）

図 16 より対地雷は、21 時台に 14 件で巨大ジェット発生地点を除く周辺で多かったが、巨大ジェットの発生時刻の 22 時台は 3 件で非常に少なかった。しかし、巨大ジェット発生後の 23 時台になると再び 12 件と増加した。落雷エネルギーや近傍で発生したスプライトの件数も同様の変化を示す。図 17 より落雷発生地点は、巨大ジェット発生前は巨大ジェットの周辺で多いが、巨大ジェット発生時間帯の 22 時台は落雷が少なくなり、落雷のエネルギーも小さい。しかし、巨大ジェット発生後は再び巨大ジェット発

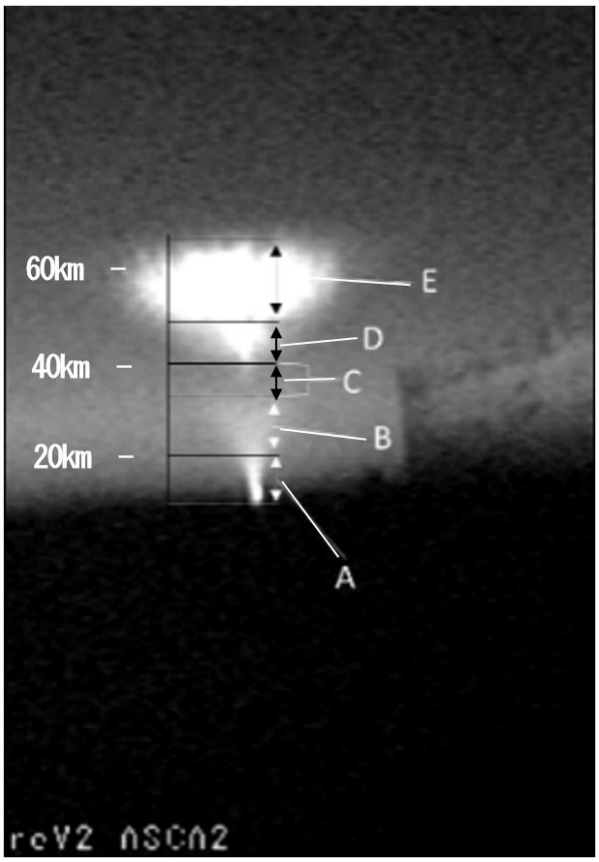


図 14. 巨大ジェットの高度別の特徴

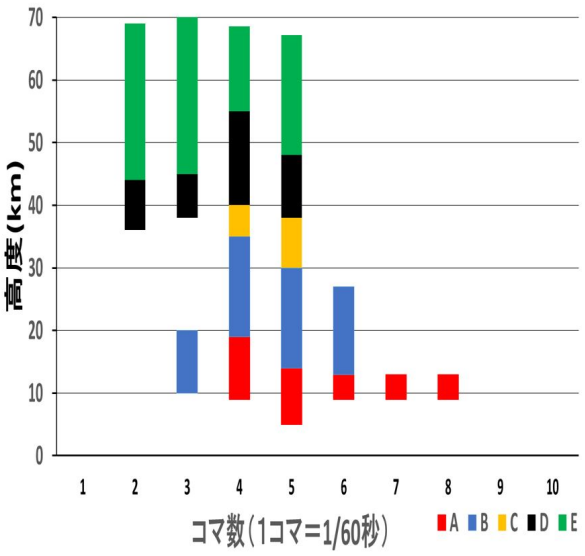


図 15. 巨大ジェットの高度別の時間変化

生地点を含む領域で落雷が多発したことがわかる。

8. 巨大ジェット発生時の気象条件

次にこの巨大ジェットの形態や成因を気象条件と関連させて解明することにした。

方法は対流圏の気象観測記録については日本気

表 2. 過去 3 回と今回の巨大ジェットの比較

	2008 年の巨大ジェット	2010 年 11 月の巨大ジェット	2010 年 12 月の巨大ジェット	今回の巨大ジェット
発生地点	陸上（石川県）	海上（鳥取県沖）	海上（能登半島沖）	海上（茨城県沖）
上端高度	99.3 km	120 km	108.1 km	66.3 km
発光時間	約 42/60 秒	約 8/60 秒	約 6/60 秒	約 7/60 秒
形状	接ぎ木状	一体状	一体状	一体状
発生時期	11 月下旬	11 月下旬	12 月上旬	12 月中旬
前後の雨量	ほぼなし	ほぼなし	ほぼなし	ほぼなし
雲内放電	あり	不明	あり	あり
対地雷	なし	なし	不明	なし

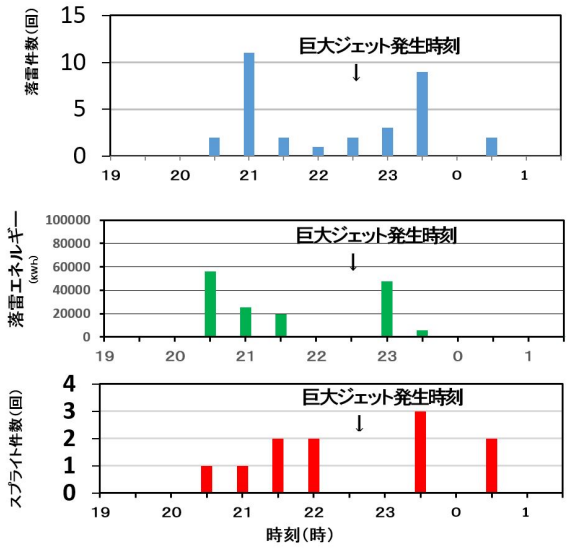


図 16. 落雷の発生回数とエネルギー、スプライトの発生回数の時間変化（落雷件数と落雷エネルギーは WWLLN より作成）

象協会のホームページに掲載されている同日の天気図、衛星画像、レーダーによる雨雲画像、アメダスの記録を参照した[3]。また、高層の気象については気象庁ホームページに掲載されている高層天気図、ラジオゾンデによる高層気象観測記録、海水温については海上保安庁のホームページを参照した[4,5]。

図 18 の赤外衛星写真では、巨大ジェットを発生させたと考えられる積乱雲が 20:00 頃から急速に発達していることがわかる。図 19 の雨雲レーダー画像でも同様なことが読み取れる。図 20 の天気図では巨大ジェット発生時刻直前に寒冷前線が通過していることがわかる。また、図 21 の気温分布を見ると、関東地方は特に気温が高く、これは図 22 の日中の日照時間が関東地方では長かったためである。さらに図 23 の 12 月の茨城県の最高気温の変化によると、巨大ジェットの発生した 12 月 11 日は最も気温が高く、これらのことから、巨大ジェットの発生した 12 月 11 日の日中は、関東地方は強い日射により特に気温が高くなったことがわかる。また、図 25 より大気だけでなく海面の温度も高かったことがわかる。しかし、図 26 より 5.5 km 上空では寒気の流入で気温が低い。

以上より、巨大ジェット発生地点の海面に強い日射が当たったことから、海上には大量の水蒸気が供給され、そこを寒冷前線が通過したことにより、巨大ジェットを発生させた積乱雲が急速に発達したことがわかる。

9. 考察

9.1 過去に発生した巨大ジェットとの比較

表 2 に今回発生した巨大ジェットと過去に磐田南高校が観測した 3 回の巨大ジェットとを比較した結果を示す。全ての巨大ジェットに共通している点は、いずれも発生時期が 11 月下旬から 12 月中旬にかけての気圧配置が西高東低型の冬型である時期であること、対地雷がなく発生前後に雨量がほぼないことである。2010 年 11 月と 12 月の巨大ジェットとの共通点は、発生地点がいずれも海上で発光時間が 6/60 秒～8/60 秒、形状が一体状であることから、今回の巨大ジェットはこの 2 つの巨大ジェットとほぼ同じタイプと考えられる。ただし、上端高度が 66.3 km と低く、発生地点が日本海側ではなく、太平洋側であることがこの 2 つの巨大ジェットと異なる。一方 2008 年の巨大ジェットは、陸上で発生していることや、発光時間が 42/60 秒と長く、形状も接ぎ木状であり、他の 3 つの巨大ジェットと比較して特異な巨大ジェットであったことがわかる。

9.2 文献との比較

落雷発生時刻との比較より、巨大ジェット発生時刻付近では対地雷の発生件数が少なくなっていたことが分かった。このとき、雲内では雲内放電が起こっていたことが予想される。そこで雲内放電と巨

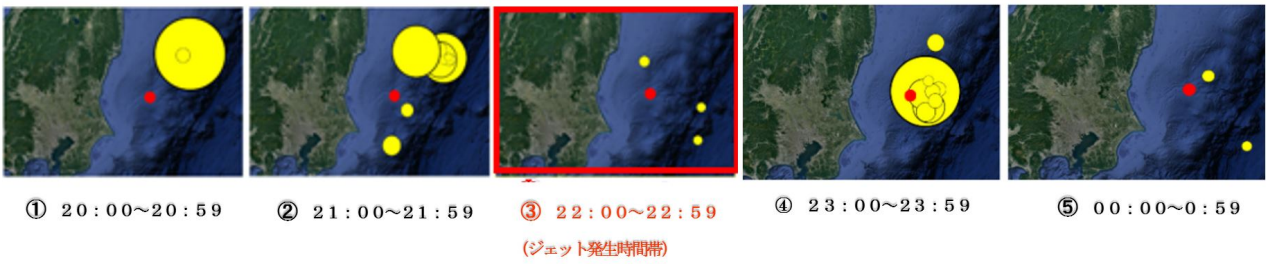


図 17. 落雷発生地点（円の面積=エネルギー値、●は巨大ジェット発生地点、落雷発生地点は WWLLN より作成、衛星写真[2)]）

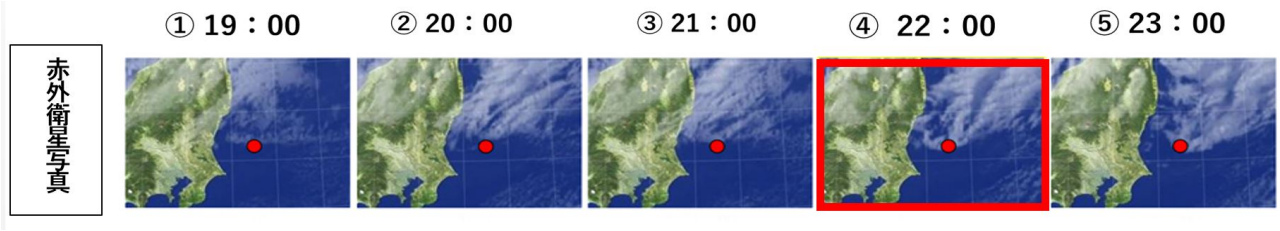


図 18. 2017 年 12 月 11 日赤外衛星写真（●は巨大ジェットの発生地点、赤枠がジェット発生時間帯）[3)]



図 19. 2017 年 12 月 11 日雨雲レーダー画像（●は巨大ジェットの発生地点、赤枠がジェット発生時間帯）[3)]

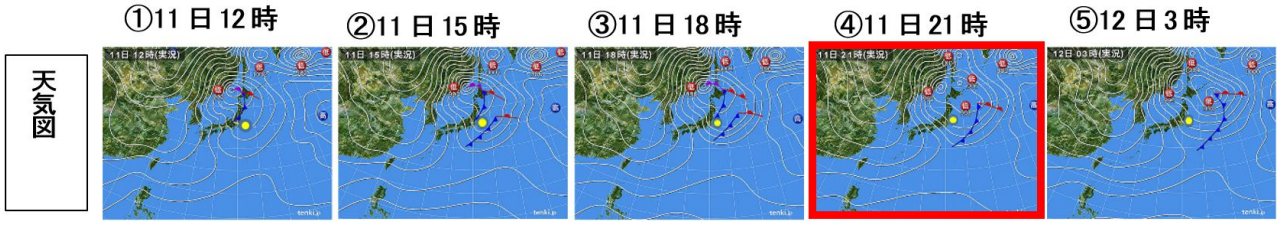


図 20. 2017 年 12 月 11 日天気図（●は巨大ジェットの発生地点、赤枠がジェット発生時間帯）[3)]

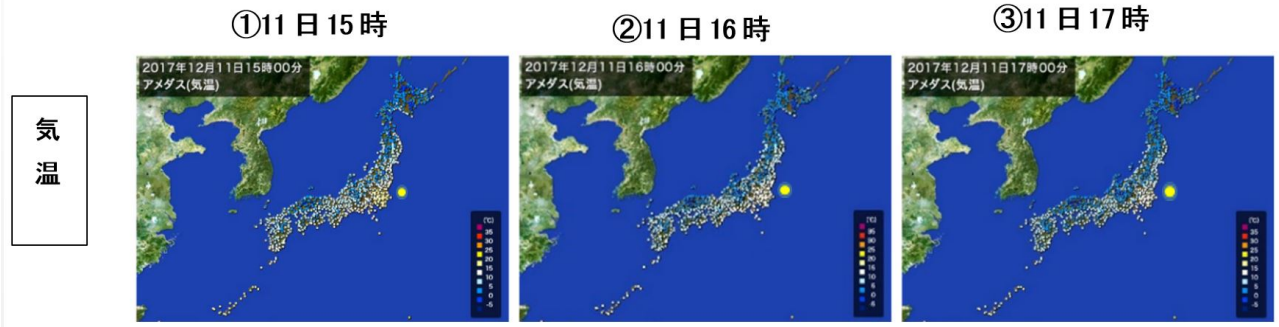


図 21. 2017 年 12 月 11 日の気温の分布（●は巨大ジェットの発生地点）[3)]

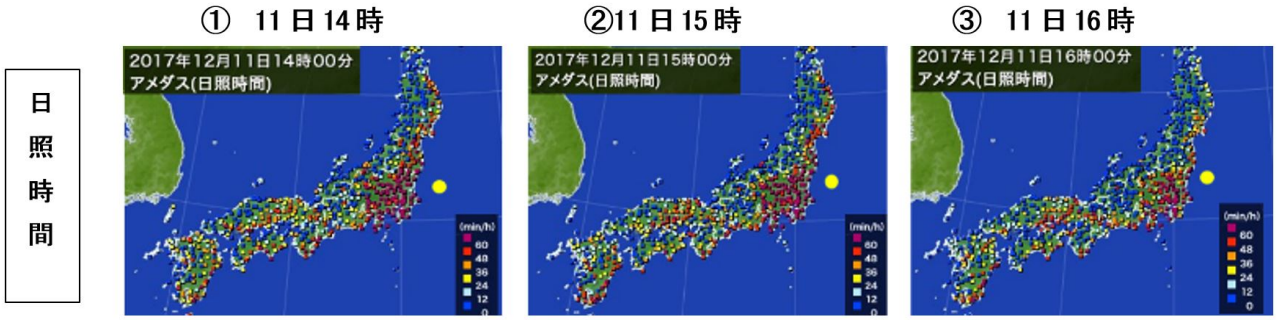


図 22. 2017 年 12 月 11 日の日照時間の分布（●は巨大ジェットの発生地点）[3)]

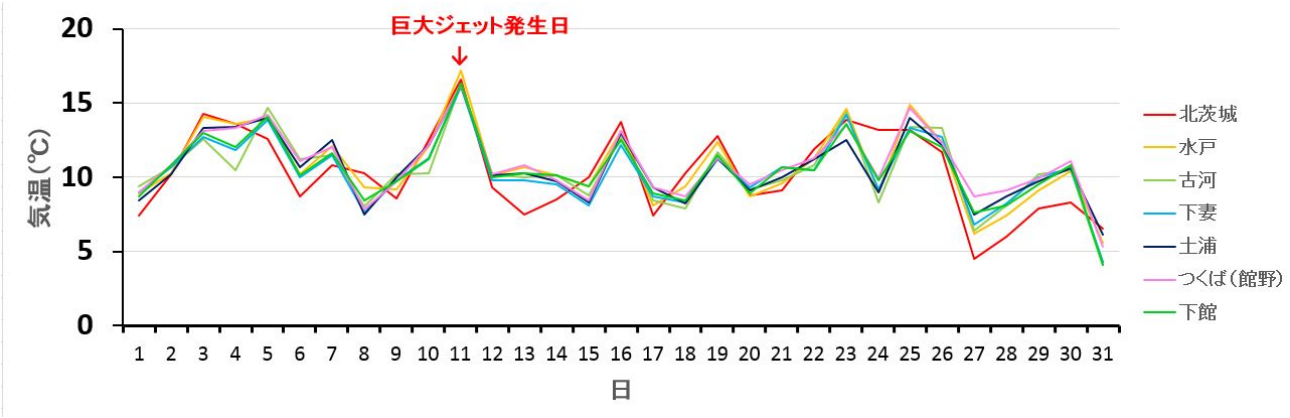


図 23. 2017 年 12 月の茨城県各地の最高気温 [4)]

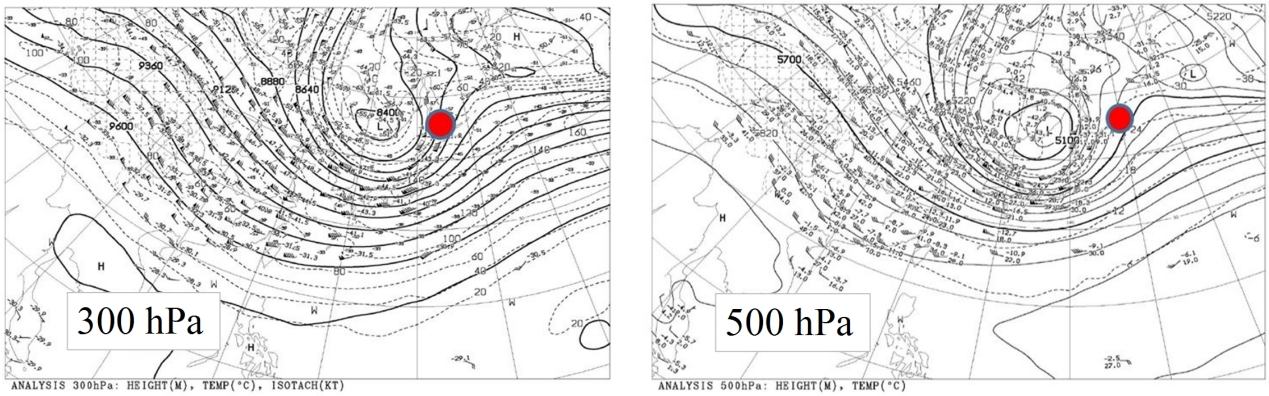


図 24. 2017 年 12 月 11 日 21 時の高層天気図（●は巨大ジェットの発生地点）[4)]

大ジェットの発生過程に関する論文を検索した。

気象観測記録との比較より、巨大ジェットを発生させた積乱雲は 20:00 頃から急激に発達していたことが分かった。図 27 は佐藤光輝（2005）より引用した積乱雲内の帯電過程の概念図である。巨大ジェットを発生させた積乱雲が急激に発達したことにより、積乱雲内で大きな電荷が蓄積したと考えられる。

図 28 は高橋劭（2009）より引用した着氷分離電荷量と氷晶の大きさ、衝突速度の関係を表している。図より氷晶の直径及び衝突速度が大きいほど、分離電荷量が大きくなることが分かる。巨大ジェットを発生させた積乱雲は急速に成長していたことから、積乱雲内では激しい対流により氷晶は大きく成長し、速い速度で衝突したために、大量の電荷が蓄積したと考えられる。

図 29 は Krehbiel et al.（2008）のシミュレーションから導かれた巨大ジェットのモデルである。まず、積乱雲内に蓄積された電荷により雲内放電が発生する。この電荷量が少ない場合は対地雷となるが、電

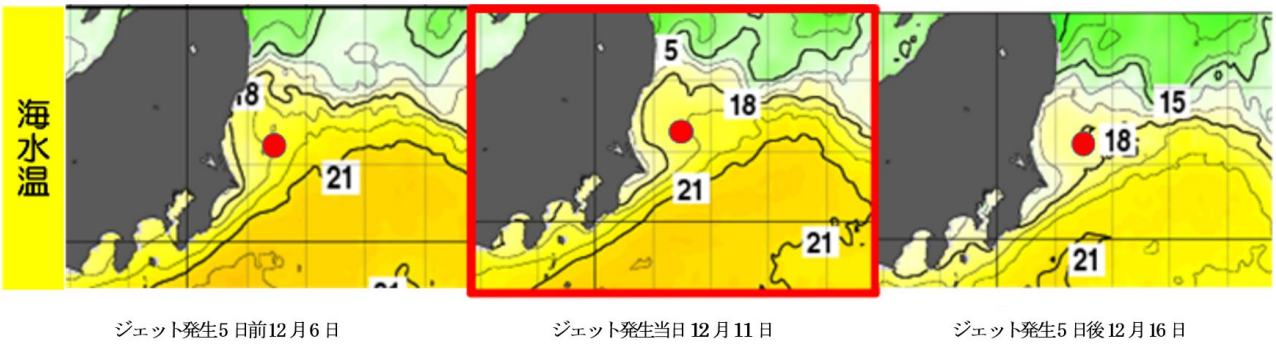


図 25. 2017 年 12 月の海水温の分布（●は巨大ジェットの発生地点）[5)]

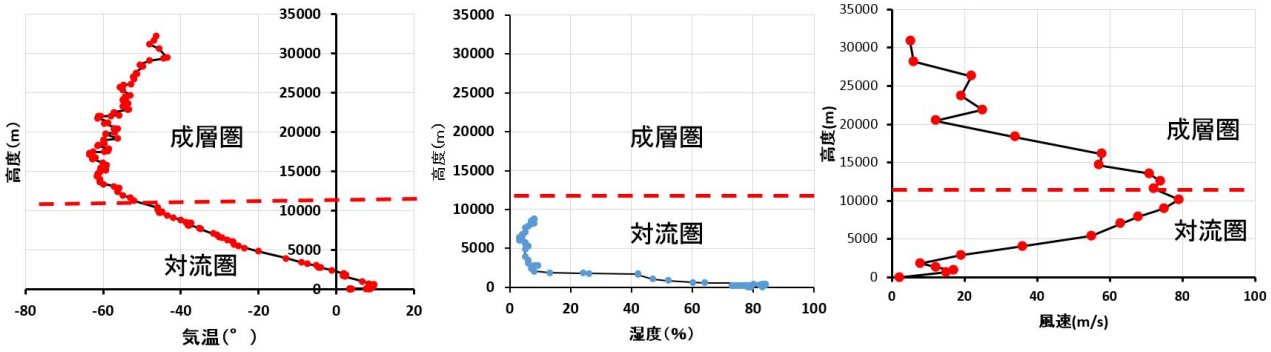


図 26. 2017 年 12 月 11 日 15 時の茨城県館野上空の気温と湿度、風速 [4)]

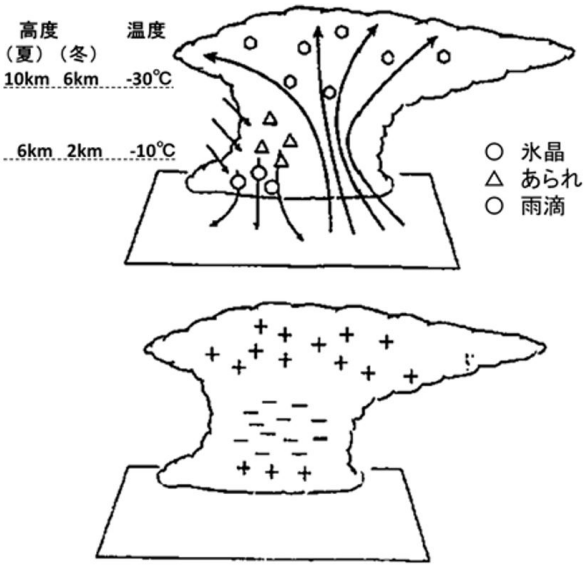


図 27. 雷雲の帯電過程概念図 [6)]

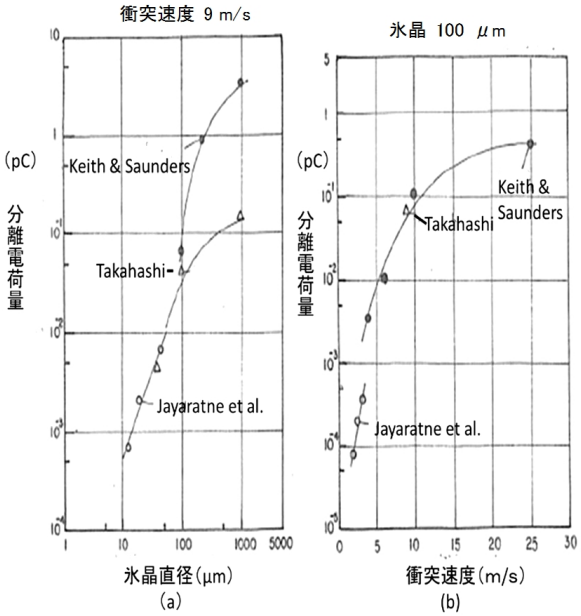
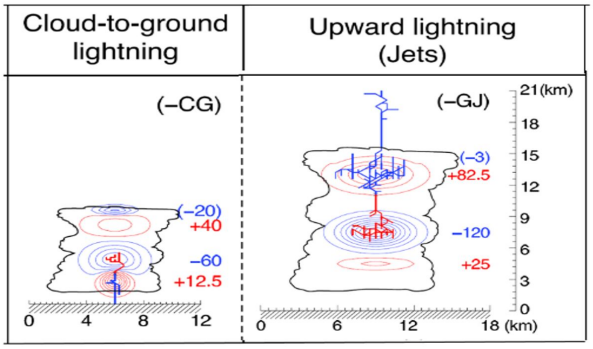


図 28.（a）着氷分離電荷量と氷晶の大きさ、衝突速度 9 m/s で着氷棒負帯電域での実験。（b）着氷分離電荷量と衝突速度、氷晶直径 100 μm で、着氷棒負帯電域での実験。[7)]

荷量が多い場合は放電により全てが解消できずに、上空に向かって放電路が形成されて巨大ジェットが発生すると述べている。これは今回の巨大ジェット前後に落雷が少ない現象と一致している。

図 30（上）は Kuo et al.（2009）の人工衛星観測による巨大ジェットの発生モデル、図 30（下）は今回の巨大ジェットである。Kuo et al.（2009）の発生モ



対地雷の場合　　巨大ジェットの場合

図 29. 数値シミュレーションによる巨大ジェットの発生モデル[8)]

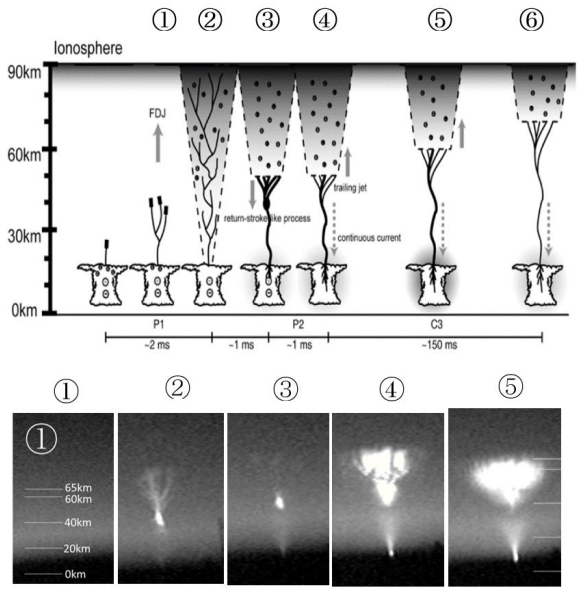


図 30. ISUAL の観測データに基づいて提唱された巨大ジェットの発生メカニズム (上[9)]) と今回の巨大ジェットとの比較（下）

デルと今回の巨大ジェットを対比させると次にように説明できる。①まず巨大ジェットの放電経路が形成される。②次にその経路に電子が大量に流れることで明るく発光する。③またリターンストロークによって巨大ジェット上部が光った後に下部に電流が流れる。このために上部が発光した後に下部が発光する。これは今回の巨大ジットでも上部 D、E が発光した後に下部 A、B が発光する現象と一致する。④、⑤、⑥その後も下部に電流が流れ続けかつ上部へも電流が流れるため巨大ジェットが上昇しつつ下部も発光し続ける。今回の巨大ジェットも下部 A が発光し続ける現象と一致する。

9.3 発生条件とプロセス

観測結果と文献より巨大ジェットの発生条件を考えた。以下がその巨大ジェットの発生条件である。

1. 大量の電荷と積乱雲が必要なため、前線が通過している。
2. 電荷が一点に集まる必要があるため、放電の中心部に向かって風や電磁気力などの力が働いている。
3. 日射量が多いなどの理由から、多くの海水が蒸発しており、大気中に存在する電荷の数が多い。
4. 巨大ジェットの形状が上に向かうにつれて広がっているため、雲の上部が横に拡がり鉄床状になる必要があるので上昇気流によって積乱雲が上方向に進展し、対流圏界面に達する必要がある。
5. 積乱雲の内部で雲内放電が発生している。

これらの仮説をもとに、今回の巨大ジェットの発生プロセスを以下のように考えた。

① 海面に強い日射が当たる
② 海上に大量の水蒸気が供給される。
③ そこを寒冷前線が通過したことにより、大きな寒暖差が生じて上昇気流が発生し、積乱雲が急速に発達する。
④ 積乱雲内の激しい対流により、氷晶とあられが衝突する。また、積乱雲は上方へ伸展して対流圏界面に達し上部が鉄床状になる。
⑤ 積乱雲内の激しい対流や氷晶とあられの衝突により莫大な電荷が蓄積される。
⑥ 積乱雲上部の正電荷に引き寄せられて電離圏から上方空間に負電荷が誘導される。
⑦ 電離圏下部にかけて形成された放電経路にそって D、E の発光が起こり、これが巨大ジェットとなる。
⑧ 巨大ジェット上部が光った後にリターンストロークにより下部に電流が流れて放電（B の発光）する。その後も下部に電流が流れ続けかつ上部へも電流が流れるため、巨大ジェットが上昇しつつ下部も発光し続ける。
⑨ 雲内に残った電荷間で雲内放電（A の発光）が続く。
⑩ 放電による電荷の解消のため、もとの状態に戻る。

この仮説に基づいて時間を追って作成したモデルが図 31 である。図と記述①～⑩の発生プロセスの番号が対応している。

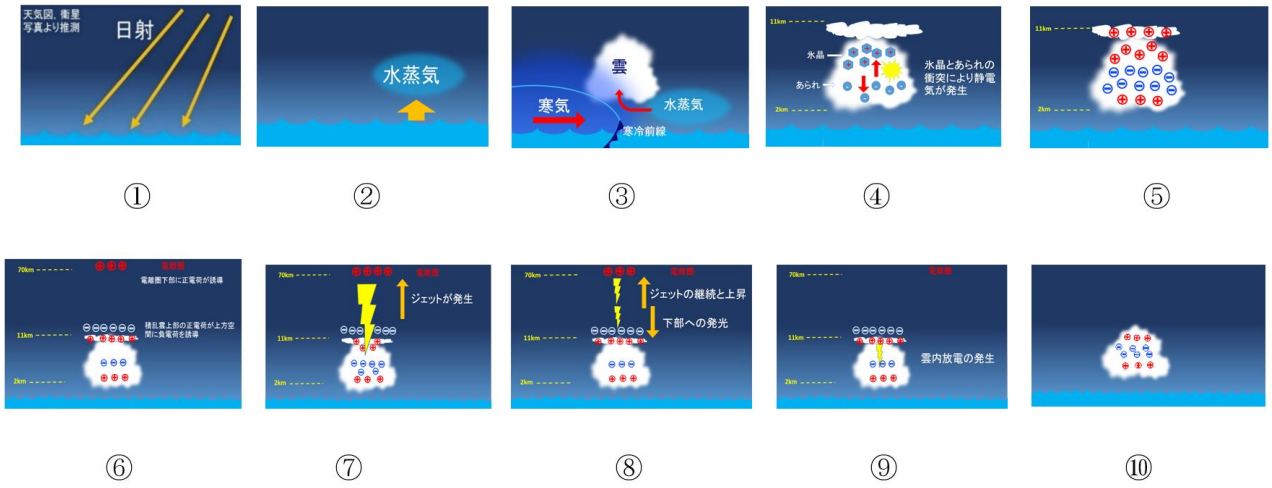


図 31. 巨大ジェット発生の過程を示すモデル

9.4 本研究の特色と既存の研究との違い

本研究の特色は、数年に 1 度の発生頻度の極めて低い巨大ジェットの撮影に成功しただけではなく、その成因を過去の巨大ジェットや様々な観測項目から追究したことである。また、既存の研究との違いとしては、Krehbiel et al.（2008）は数値シミュレーション、Kuo et al.（2009）は人工衛星からの観測結果をもとに巨大ジェットの成因を考えているが、今回の研究では「地上の光学観測の結果」をもとに成因を考察した。また、Krehbiel らや Kuo らの研究対象の巨大ジェットは、熱帯の圏界面高度が高く、積乱雲内の対流の激しい巨大ジェットを研究対象としているが、本研究では温帯の圏界面高度が低い地域の研究である。圏界面が低い温帯でも寒冷前線の通過や強い日射などの条件がそろえば、巨大ジェットが発生することを示した。さらに、過去に観測した 3 つの巨大ジェットは、いずれも日本海側の 11 月下旬～12 月の冬季雷に伴って発生したが、今回の巨大ジェットは太平洋で発生した。前述したような条件が揃えば、太平洋側でも巨大ジェットは発生することを示した。

10. 結論と今後の課題

2017 年 12 月 11 日 22 時 47 分 13 秒に茨城県沖の北緯 35.57°、東経 139.40° の海上付近から上端高度 66.3 km の巨大ジェットを観測した。この巨大ジェットの成因は、発生前には寒冷前線が通過していたが、発生地点の近傍や発生時刻の前後には、TLEs や落雷の発生がなかったことから、対流圏における大量の電荷の蓄積と、それに伴う雲内放電をトリガーに発生したことが考えられる。

今後の課題としては、巨大ジェットの部分ごとの形状が何によって決まるのかを解明することが挙げられる。また、アンテナと検波器を作製して、VLF 帯の電波観測を再開させる。さらに、今後も巨大ジェットの観測例を蓄積しながら、過去に発生した巨大ジェットと比較して、巨大ジェットの発生条件や発生メカニズムを解明する.

謝辞

観測記録の提供では青山学院大学 段毛毛氏、SonotaCo 氏、ITO 氏、MASUZAWA 氏に御協力を賜りました。巨大ジェットの発生メカニズムについては、東京学芸大学 准教授（現 静岡県立大学 特任准教授）鴨川仁 先生、同研究員 鈴木智幸 博士より適切なアドバイスを頂きました。SSH コンソーシアム高知研究会の方々には、研究内容について議論をして頂きました。特に、共同観測参加校としてご協力くださいました兵庫県立神戸高等学校 南勉先生、愛知県立一宮高等学校 高村裕三朗先生に感謝いたします。落雷記録については World Wide Lightning Location Network （WWLLN）と BLITZ のデータ、過去の気象データについては気象庁と日本気象協会および海上保安庁のアーカイブを使用させていただきました。改めて感謝を申しあげます。

文献

1) Sato, M., “Global lightning and sprite activities and their solar activity dependences”, Doctor thesis, Tohoku University, 2004.
2) Google, “Google Earth 茨城県沖の衛星写真”, https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/,(参照 2018–3–10).

3) 日本気象協会, “2017 年 12 月 11 日の赤外衛星写真, 雨雲レーダー, 天気図, 気温分布, 日照時間分布”, http://www.tenki.jp/past/,(参照 2017–12–11).
4) 気象庁, “2017 年 12 月 11 日の茨城県各地の最高気温, 高層天気図, 茨城県館野上空の気温と湿度, 風速”, https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html, (参照 2017–12–11).
5) 海上保安庁, “2017 年 12 月の海水温の分布”, https://www.msil.go.jp/msil/htm/topwindow.html, (参照 2018–12–3).
6) 佐藤 光輝, “高校生天体観測ネットワーク編スプライト観測ハンドブック 2005”, 山本 真行, 鈴木 文二 編著, 5, 2005.
7) 高橋 劭, “雷の科学”, 東京大学出版会, pp. 271, 2009.
8) Krehbiel, Paul R. et al., “Upward electrical discharges from thunderstorms”, Nature Geoscience, 1, 233–237, 2008.
9) Kuo, C-L. et al., “Discharge processes, electric field, and electron energy in ISUAL-recorded gigantic jets”, J. Geophys. Res., 114, A04314, 2009.
10) 田中 雅大, 佐伯 悠, 田岡 美紗, “日本海で発生した高さ 120 km の巨大ジェットの研究”, 三本松高校研究紀要, 7, 1–6, 2012.
11) 山本 真行, “高大連携最先端理科教育「高校生スプライト同時観測」の 6 年間”, 高知工科大学紀要, 7, 167–175, 2010.
12) Franz, R.C. et al., “Television Image of a Large Upward Electrical Discharge Above a Thunderstorm System”, Science, 249, 48–51, 1990.
13) Zanotti, Ferruccio, 2009, “Probably gigantic jet or new tipology of TLE? from Italy”, SonotaCo Network, http://sonotaco.jp/forum/viewtopic.php?t=20641, (参照 2018–3–10).

Characteristics of a Gigantic Jet Observed over Offshore Region of Ibaraki Prefecture on December 11, 2017

Naoya Yamashita[1*] **Hayato Matsuyama**[1] **Shin Hirano**[1] **Keira Saisu**[1]

Satoshi Ota[1] **Yuya Okubo**[1] **Akira Aoshima**[1] **Hiroyuki Kurematsu**[1]

Terunori Miyoshi[2] **Mayumi Wada**[3] **Shushi Yamamoto**[4] **Sumito Okamoto**[5]

Masa-yuki Yamamoto[6]

(Received: April 10th, 2019)

[1] Shizuoka Prefectural Iwata Minami High School
3084, Mitsuke, Iwata, Shizuoka 438–8686, JAPAN

[2] Kagawa Prefectural Sambommatsu High School
1500–1, Sambommatsu, Higashikagawa, Kagawa 769–2601, JAPAN

[3] Kochi Prefectural Kochi-ozu High School
1–14, Johoku-cho, Kochi, Kochi 780–0916, JAPAN

[4] Kochi Education Center
Otsu 181, Otsu, Kochi, Kochi 781–5103, JAPAN

[5] Kochi MIRAI Science Center
OTEPIA 5F, 2–1–1, Otesuji, Kochi, Kochi 780–0842, JAPAN

[6] School of Systems Engineering, Kochi University of Technology
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782–8502, JAPAN

[*] E-mail: sprite_bannan@yahoo.co.jp

Abstract: A gigantic jet, known as a kind of Transient Luminous Events (TLEs), rarely seen in middle and upper atmosphere was observed at 22:47:13 on Dec. 11, 2017. We investigated characteristics of the gigantic jet and its generation mechanism, comparing with weather condition at the same period. A movie of the gigantic jet was captured with a combination of high sensitivity CCD camera and motion detection software. Here, two movies are used with applying triangulation method to estimate geographical coordinates and altitude range of the illumination. Then, we considered generation mechanism of the gigantic jet comparing with weather condition datasets observed in a vicinity of the coordinates as well as spatial and temporal distribution of lightning events and TLEs. As a result, the coordinates located at offshore region of Ibaraki prefecture (35.57°N, 139.40°E) and the highest altitude of the jet at 66.3 km were found. Illumination of the gigantic jet was separated into 5 parts and illuminating order of bottom, upper, and middle in its expansion

process was found, as well. We also found a special weather condition that a cold front was approaching to the exact coordinates of the gigantic jet at that time and there existed rain clouds but no clear activities of thunderstorm nor heavy precipitation. Thus, at the place of gigantic jet generation, we consider that cold atmosphere blew into the cold front, then a large mass of cumulonimbus clouds was growing up, however, there existed no thunderstorm nor precipitation. Therefore, it made gradual accumulation of electric charges in troposphere for a long time and at last the gigantic jet was generated in order to neutralize the accumulated lots of electric charges in middle and upper atmosphere.