

首都圏における局地的対流性豪雨と GPS 可降水量の時空間変動 —1997年8月23日の集中豪雨の事例解析—

神田 学*・石田 知礼*・鹿島 正彦*・大石 哲**

要 旨

局地的対流性豪雨と GPS 可降水量の時空間変動の相関関係が、首都圏における集中豪雨を 1 事例として検討された。解析には、国土地理院 GPS 連続観測システムの RINEX データ (GPS 標準フォーマットの 1 つ) から GAMIT (GPS 解析汎用ソフトウェアの 1 つ) により算出された 30 分分解像度の GPS 可降水量が用いられた。この GPS 可降水量は、ゾンデ観測・SINEX データ (GPS 標準フォーマットの 1 つ) から得られた可降水量との比較、および可降水量を算出する際のパラメータ感度分析により、 $r. m. s = 2.37 \text{ mm}$ 程度の精度を持つ事が確認された。また、(1) GPS 可降水量の時間位相が降雨量の位相に対して 1~2 時間程先行する事、(2) GPS 可降水量が増加すると 1 時間~3 時間後に降水量が増大する確率が高く、その確率は GPS 可降水量の増加が大きい程高く、又その際の降水量の増加量も GPS 可降水量の増加が大きい程高くなる事、(3) 降水量の最盛期に可降水量は既に減少を開始する事、が示され、集中豪雨に対して GPS 可降水量が先行指標として利用出来る可能性が示唆された。

1. はじめに

日本における GPS 気象学は、世界的に見ても極めて希な高密度に設置された国土地理院の GPS 連続観測網の利用を背景として、測地学・気象学を中心とした研究が活発に行われている (例えば、気象研究ノート「GPS 気象学」、1998 に詳しい)。GPS 衛星から地上の GPS 受信機へ電波が到達する迄の間に乾燥大気や水蒸気存在に起因して生じる電波の遅れ (大気遅延) から、如何にして「可降水量」を精度良く算定し、気象数値予測のデータ同化等に利用していくか、というのが重要な技術的課題として議論されているようである。しかし、定量的にはそのような精度的課題を内包しながらも、一方で、実際の降水現象や水蒸気動態のモニタリングに応用する試みが為され成果が上がり始めている。例えば、岩淵ほか (1998) は、国土地理院 SINEX データより 3 時間毎の GPS 可降水量を算出し、前線の移動に対して可降水量が先行して変動す

るという重大な事実を報告している。同様に瀬古ほか (1998) も、梅雨前線上の小低気圧に伴って東進する降水域よりも先行して可降水量が増加することを報告している。又、横塚・木村 (1998) は、メソスケールモデルで予測される局地循環に伴う水蒸気動態の日変化を、やはり SINEX データから算出された 3 時間可降水量によって検討している。しかしながら、前線等の総観規模擾乱を伴わない対流性豪雨との関係についてはあまり研究例がない。

本研究の目的は、土木工学分野で防災上重要なテーマとなっている「局地的対流性豪雨の時空間変動」に対して、「GPS 可降水量の時空間変動」が何らかの相関関係を有するのか、を調べる事 1 点に絞られる。局地的対流性豪雨は、降雨レーダー等による多くの研究により、その構造や発達過程はかなり明らかにされているが (小倉, 1995; 吉崎, 1996)、何時何処で発生するのか、といった初期過程の問題は依然として未解決である。これは、降雨レーダーが雨粒を形成する以前のの水蒸気そのもの、特に擾乱の種が存在し得る地表近傍の水蒸気モニタリングに、有効で無い事による。そのような意味で、高い空間解像度を有する GPS 可降水量が集中豪雨の初期過程の検出に利用出来るか否かは

* 東京工業大学開発システム工学科。

** 京都大学防災研究所。

—1999年3月15日受領—

—1999年10月15日受理—

重要である。解析に当たっては以下の点に留意した。(1) 局地的対流性豪雨は、前線等と比べてその時間変化が早く、上述した SINEX データによる 3 時間解像度では不十分である。そこで、RINEX データから GAMIT 解析により 30 分解像度の GPS 可降水量を算出した。(2) 解析のスタンスとして、既存のオーソドックスな手法の 1 つを利用し、GPS 可降水量の精度向上に寄与するような技術的問題に立ち入ってはいない。但し、解析手法により精度に差がある事が報告されている事を踏まえ(大谷・内藤, 1998), パラメータの感度分析, ゾンデ観測データとの比較, SINEX データとの比較, 等を通じ, 本解析で用いた GPS 可降水量の定量的評価に極力努めた。

2. 解析手法

2.1 解析ソフトウェア

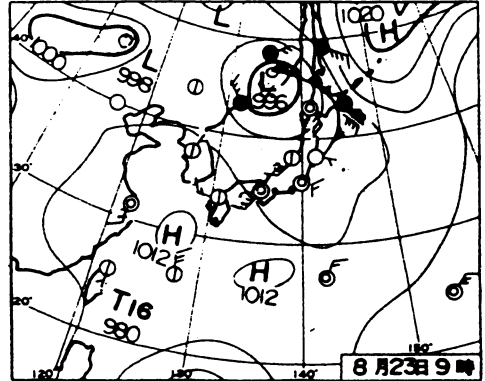
マサチューセッツ工科大学とスクリップス海洋研究所が共同で開発している GPS 解析ソフトウェアである GAMIT のバージョン 9.71 を利用した。GAMIT は移植性に優れ、開発・研究用に多くのオプションを備え、教育・研究機関の利用は無償となっている(日置ほか, 1998)。

GPS 標準フォーマットの 1 つである RINEX 形式観測データから GAMIT を用いて天頂大気遅延量を算出し、天頂大気遅延量から気象観測データより求めた天頂静水圧遅延量を差し引いて可降水量を算出した(萬納寺, 1998)。

本研究における GAMIT による GPS 解析は、着目している解析点と筑波、白田の観測点を含む計 3 点を 1 組として行っている。30 秒毎の瞬間値が記録されている RINEX データ 24 時間分を 1 セッションとして 3 点を一度に解析し、30 分毎の大気遅延量の平均値を算出している。この場合の、GPS 可降水量とは前 30 分の平均値を意味する。

GAMIT を用いた GPS 可降水量の解析には、数多くの設定ファイルと実行ステップがあり、マニュアル操作を含む収束計算が介在するため、かなり煩雑であるが、ワークステーション上で自動化する事により労力の低減に努めた。なお、69 地点 30 分毎 24 時間分の GPS 可降水量を算出するのに要する時間は約 3 日・人である。

また、第 4 章で用いている GPS 可降水量の 1 時間当たりの増減量とは、1 時間前の GPS 可降水量(前 30 分平均値)と比べて、その時間の GPS 可降水量(前 30



第 1 図 1997 年 8 月 23 日午前 9 時 (JST) 天気図, 「'97 年気象要覧」(気象庁) より引用。

分平均値) がどれだけ増減したかである。例えば、22:00 における GPS 可降水量の 1 時間当たりの増減量は、22:00 の GPS 可降水量から 21:00 の GPS 可降水量を差し引いた値である。レーダー・アメダス解析雨量は 1 時間前からその時間迄に観測された降水の積算量である。国土地理院 SINEX 形式解析データには 3 時間毎の大気遅延量の前 3 時間平均値が記録されて居り、それをを用いて算出した SINEX-GPS 可降水量は前 3 時間平均値である。地上風速の発散量はその時間の前 10 分間平均値である。

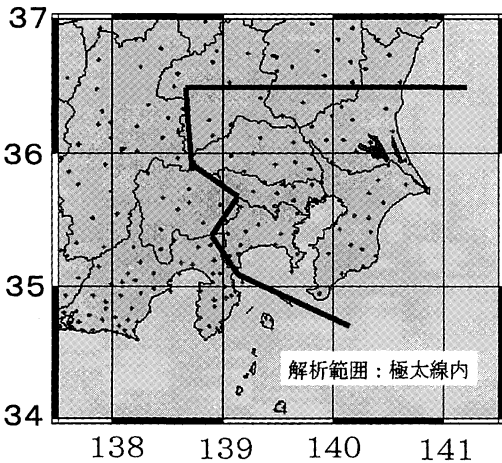
2.2 解析対象日

国土地理院の GPS 連続観測システムが現在の形で運用されるようになった 1996 年 4 月以降、前線や台風等の影響を直接受けずに雷雲によって東京地方(東京管区気象台)に最も強い集中豪雨(最大 1 時間降水量 41.5 mm) がもたらされた 1997 年 8 月 23 日について解析し、30 分毎の可降水量を求めた。第 1 図は解析対象日午前 9 時 (JST) の天気図である。北海道に前線が存在しているが関東地方には低気圧・前線等の総観規模の擾乱は存在していない。

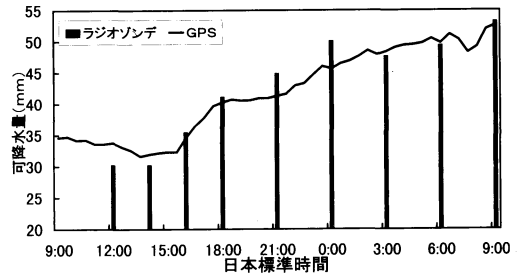
2.3 解析対象領域とデータソース

首都圏(東京都・神奈川県・千葉県・埼玉県、及び北緯 36.5 度以南の群馬県・栃木県・茨城県)に設置されている国土地理院-GPS 連続観測システム観測点 69 点を解析対象領域とした(第 2 図)。それらの 30 秒解像度の RINEX データは国土地理院より頂戴した。GPS 可降水量を算出する際の気象観測データは近傍の気象台及び測候所の気象観測原簿をもとに標高を考慮して空間内挿された値を用いた。

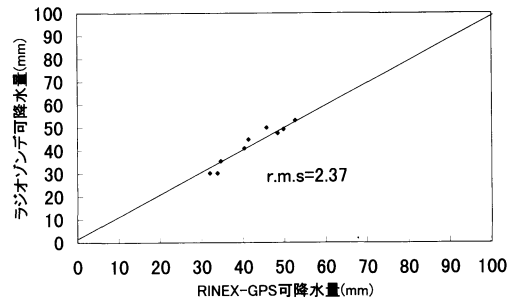
降水量は、気象庁の解析による 5 km 間隔格子点の



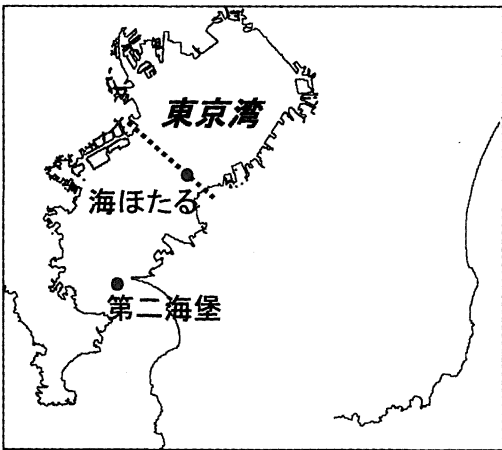
第2図 国土地理院GPS連続観測システム観測点。図中●印はGPS観測点、極太線内は解析に使用された観測点。国土地理院、<http://vldb.gsi-mc.go.jp/sokuchi/gps/gpslist.html>より入手。



第4図 第二海壁におけるGPS可降水量とラジオゾンデ可降水量の時系列変化(1998年8月10日9:00~8月11日9:00)。



第5図 RINEX-GPS可降水量とラジオゾンデ可降水量の相関関係(1998年8月8日9:00~15:00, 8月10日9:00~8月11日9:00)。



第3図 GPS可降水量の精度確認の為の観測場所(1998年7月~8月)。

レーダー・アメダス解析雨量を用いた。

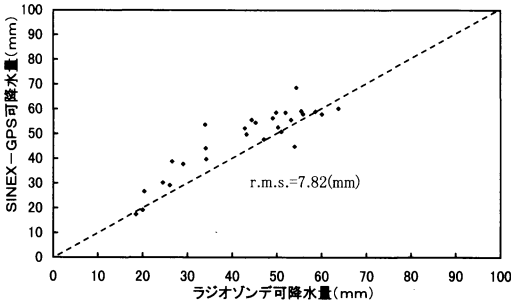
第4章において、GPS可降水量の時空間変動との対応を調べる為に地上風データから風の収束・発散が計算される。これは、Tanaka and Milkovich (1990)の方法に習い、10 km 間隔の各格子点について半径25 km 以内に含まれる観測点の風向風速データを平面近似して内挿する事により算出した。その際、アメダス及び地方自治体の観測点計272点の風向風速データが用いられた。

3. 本解析におけるGPS可降水量の精度

GPS可降水量の精度については多くの研究が行われているが、前章で述べた一連の解析手法で得られる可降水量の精度を確認する為の基礎的な検討を行った。

3.1 ゾンデ観測によるGPS可降水量の検証

解析対象日とは異なるので直接的な検証とはならないが、参考までに、1998年7月23日~8月11日に東京湾上空の大気モニタリングの為に海ほたと第二海壁(第3図)で行なわれた観測(石井ほか, 1999)におけるGPSのRINEXデータとラジオゾンデの観測データを用いて、両手法による可降水量の比較を行った。第4図は、1998年8月10日の第二海壁におけるGPS可降水量とラジオゾンデ可降水量の時系列変化である。第5図は、GPS可降水量とラジオゾンデ可降水量の相関図である。GPS可降水量とラジオゾンデ可降水量の時間変動傾向は良く一致しており、また、その両者の相関は $r.m.s.=2.37$ mmで、大谷ほか(1997)により行われたGPS可降水量の検証のラジオゾンデ可



第 6 図 SINEX-GPS 可降水量とラジオゾンデ可降水量の相関関係 (1997年 8月10日 9:00, 21:00, 8月11日 9:00, 21:00).

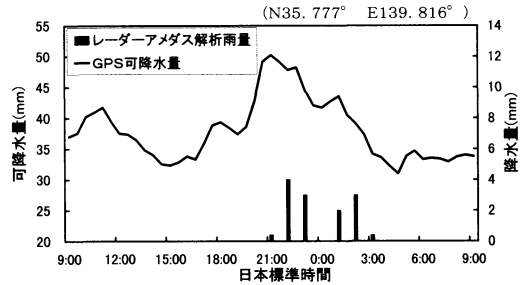
第 1 表 大気遅延量から可降水量を求める際のパラメータ感度のまとめ.

気象パラメータ	1日の変動量	可降水量の変動率
地上気圧	5 hPa	0.3 mm/hPa
地上気温	15°C	0.2 mm/1°C
大気遅延量	150 mm	0.2 mm/1 mm

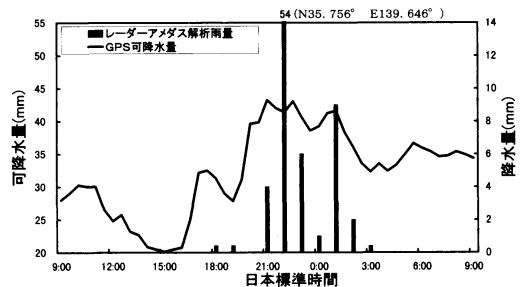
降水量との相関 $r.m.s. = 3.7 \text{ mm}$ とほぼ同程度の精度が得られている事が確認された. 一方, 気象庁から発表されている 7 地点 (館野, 八丈島, 秋田, 輪島, 仙台, 浜松, 潮岬) のラジオゾンデのルーチン観測データから得られた可降水量と国土地理院 SINEX データから得られた GPS 可降水量とを比較したのが第 6 図であり, その相関は $r.m.s. = 7.82 \text{ mm}$ となっている. SINEX を用いた大谷ほか (1997) の GPS 解析結果によれば, ラジオゾンデ可降水量との相関は 5.1 mm となっている. いずれにしろ RINEX データから得られた GPS 可降水量よりも多少相関が悪くなっていることが示されるが, 時間解像度等の違いや解析手法の違いもあるので, 直接的な比較をすることは出来無い. 様々な気象条件下における GPS 可降水量の精度については, まだ分かっていない点も多く, 継続的な解析データの蓄積が不可欠である.

3.2 大気遅延量から可降水量を算出する際のパラメータ感度

大気遅延量から可降水量を求める際の, 気圧・気温及び大気遅延量そのものが, 可降水量の算定に及ぼす感度を調べた. 解析対象日における各パラメータの平均的な日変動幅を考慮すると, 第 1 表より地上気象要素はそれ程敏感では無く, 大気遅延量そのものの精度が重要である事が示唆される.



第 7 図 GPS 可降水量とレーダー・アメダス解析雨量の時間変化 (足立区) (1997年 8月23日 9:00~8月24日 9:00).

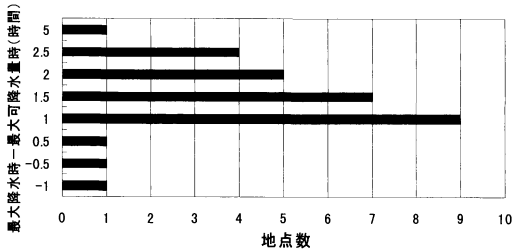


第 8 図 GPS 可降水量とレーダー・アメダス解析雨量の時間変化 (練馬区) (1997年 8月23日 9:00~8月24日 9:00).

4. 雷雨性豪雨時の GPS 可降水量の時空間変動特性

4.1 1 地点における GPS 可降水量の時間変動特性

ある観測点に着目して GPS 可降水量の時間変動と降水量の対応関係を調べると, 全観測点についてほぼ共通の傾向が読み取れる. ここでは, 足立区と練馬区の GPS 観測点を例に, GPS 可降水量の時間変化とレーダー・アメダス解析雨量との対応関係を示す (第 7 図, 第 8 図). これらの図より以下の事実が指摘出来る. (1) GPS 可降水量の時間的位相は降水量の時間的位相に対して, 明らかに 1~2 時間程度先行している (極大値に注目すると分かり易い). すなわち, 可降水量が急激に増加した後に強い降水が開始し, 降水が最盛期となって極大値を迎える頃には既に可降水量は急激な減少を開始している. (2) 集中豪雨期間は GPS 可降水量の絶対値が全体的に高く, 可降水量の絶対量と降水量そのものは必ずしも対応していない. 例えば, 足立区の 9:00~15:00 や練馬区の 5:00~9:00 の可降水量は, 降水最盛期における GPS 可降水量と同



第9図 最大降水時と最大可降水量時の時間差 (1997年8月23日9:00～8月24日9:00)。

程度の値を示しているが降水は観測されていない。上記の事実からも、むしろ、単位時間当たりの可降水量の増減量と降水量の対応関係が示唆される。

4.2 集中豪雨の先行指標としてのGPS可降水量の利用可能性

前節で述べた事実(1)(2)は、局地的集中豪雨の開始及び沈静化に対するGPS可降水量の先行指標としての利用可能性を強く示唆している。この事を定量的に明確にするために、解析点全点について以下の2つの統計解析を行った。まず、可降水量の位相が降水に対して先行していた事を踏まえ、どの程度の時間差で可降水量のピークが降水量のピークに先行しているか、時間差別にその地点数を調べた(第9図)。これより殆どの観測地点で、可降水量のピーク後、1時間から3時間迄の間に降水量がピークとなっている事が示される。次に、可降水量の増減値と降水量の対応関係が示唆された事実を踏まえ、単位時間当たりのGPS可降水量の増加量(3mm間隔)に対してその1時間後に降水量が増加する(もちろん0mmから降水が開始する場合も含む)確率と、その際の降水増加量の平均値を第2表に示した。これより、単位時間当たりのGPS可降水量増加が大きくなるにつれ、1時間後に降水が開始もしくは増加する確率が増加し、その降水量の増加量も大きくなっていく事が示される。GPS可降水量9mm/hr以上の増加時でも60%の降水増加確率であるから、これ単独で集中豪雨の先行予測指標として活用するには未だ改善の余地はあるが、他の指標と併用すれば豪雨の予測上極めて有益な情報となる事が予想される。もっとも、ここで用いている「確率」の母集団はきわめて貧弱なことから、より質の高い統計解析によるさらなる裏付けが不可欠であることを強調しておく。

なお、GPS可降水量の位相が、1～3時間程度、降

第2表 可降水量の1時間増加量と1時間後の降水増加確率及び増加降水量のまとめ。

可降水量の増加量 (1時間当たり)	降水量が増す確率	降水量の平均増加量 (mm/h)
0～3 mm	0.12	0.70
3～6 mm	0.21	1.56
6～9 mm	0.31	2.66
9 mm 以上	0.60	4.48

水の位相に先行する物理的メカニズムは、集中豪雨に寄与する個々の対流性積乱雲のライフサイクルに密接に関係しているものと推察される。すなわち、地表風速の収束等に伴う水蒸気の蓄積期間は、積乱雲の初期化から成長期に相当し、可降水量の増加が生じる。この段階では降水粒子の生成は十分では無い。一方、積乱雲の発達期から減衰期において強い降水がもたらされる期間では、水滴の成長と落下により急激に大気中の水蒸気が消費される。

4.3 GPS可降水量の時空間変動特性

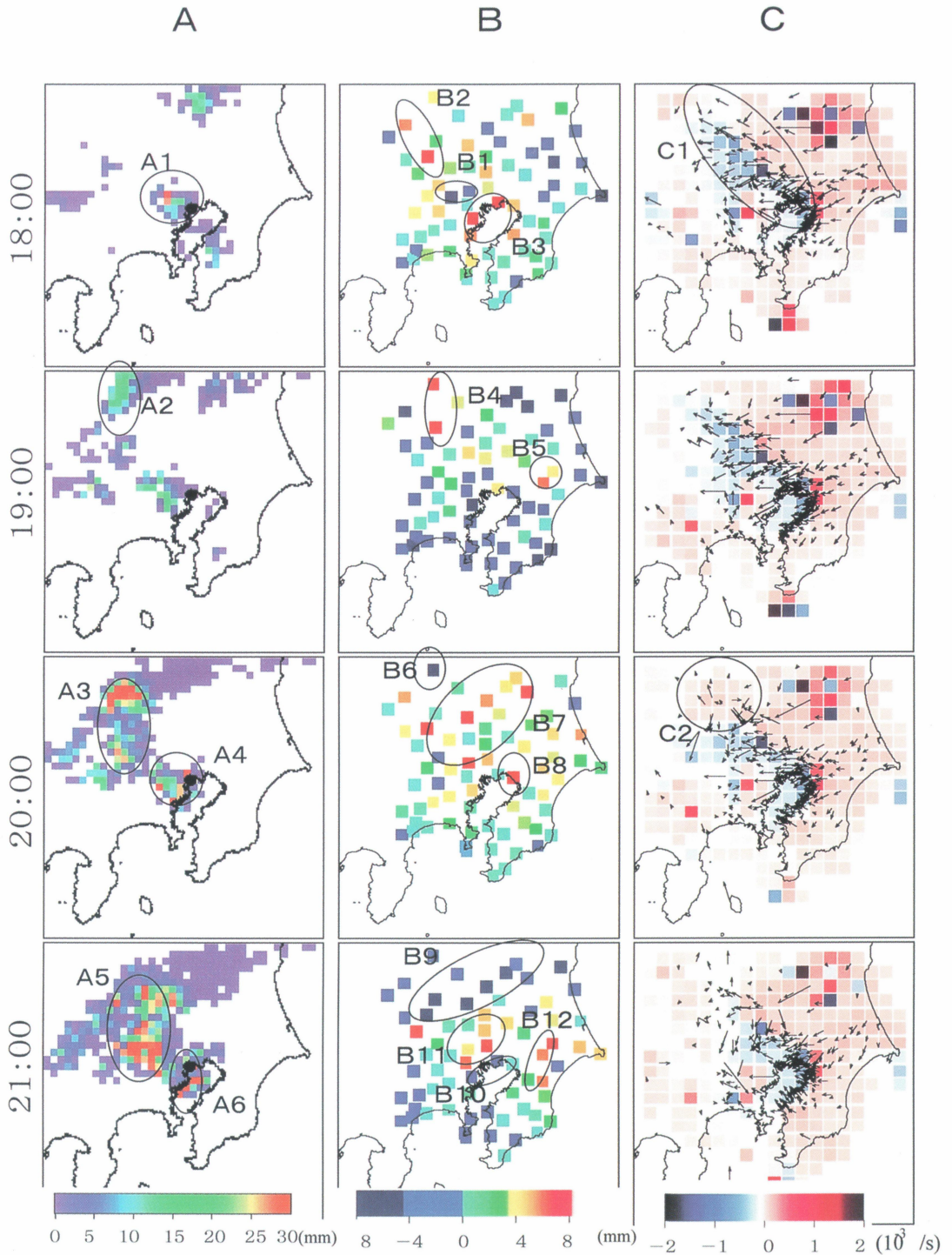
以上の議論を踏まえ、解析対象日における、(a)レーダー・アメダス解析雨量、(b)GPS可降水量の1時間当たりの増減量、(c)地上風速の発散量、それぞれの空間分布を、集中豪雨の前後計8時間(1997年8月23日18:00～8/24 1:00)について第10図に示す。議論される着目領域を分かり易くするため、図中に囲みと識別番号が振られている。以下、可降水量を中心に時間を追って考察していく。

(1) 18:00

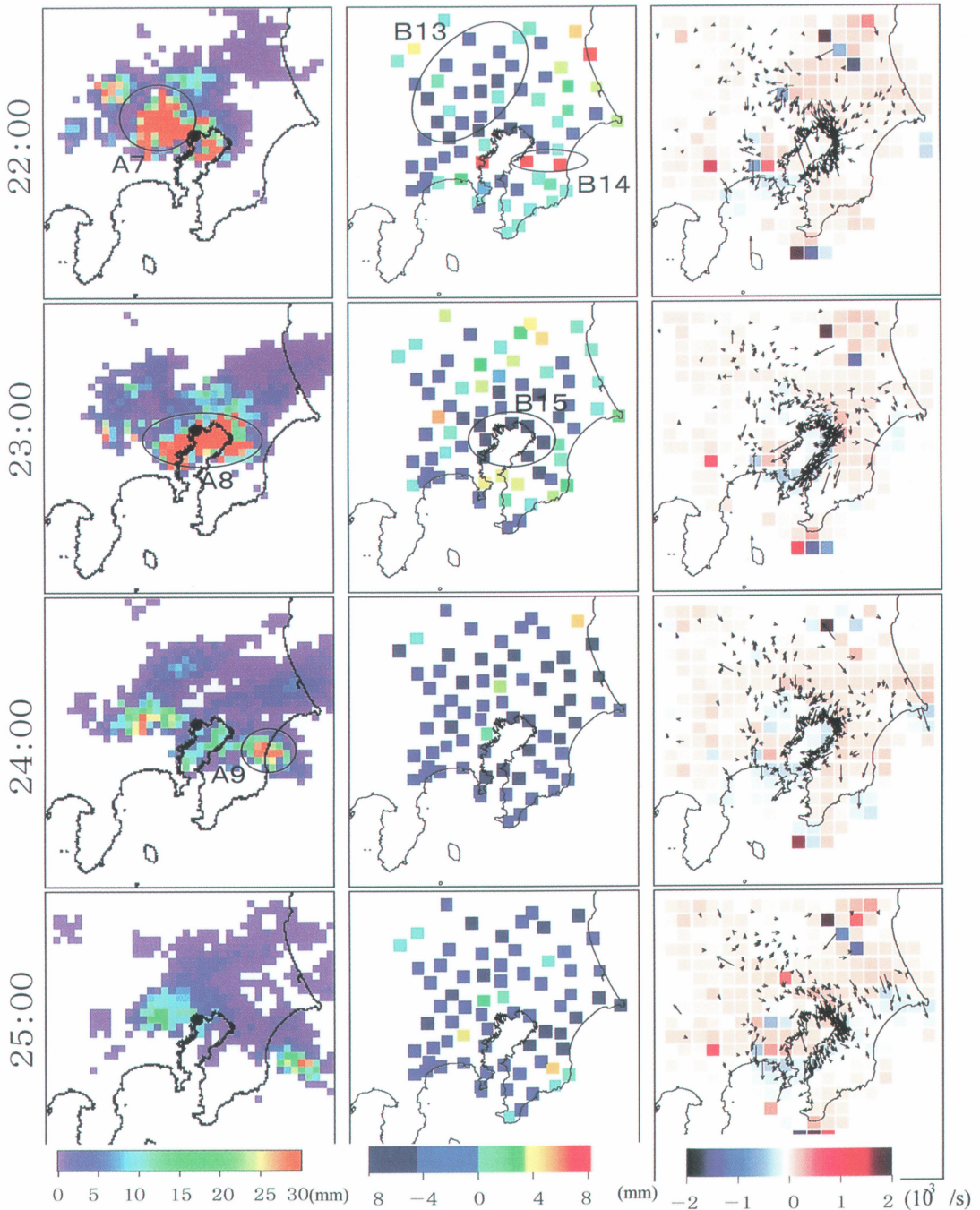
東京大手町付近では強い降水があり(A1)、その領域では既に可降水量が大きく減少している(B1)。しかし、風の収束・発散を見てみると、これに対応した発散域は顕著に見られず、可降水量程降水変化の局地的な変化に対応しきれてはいない。関東北西部及び東京湾の海岸線で可降水量が大きく増加している地域(B2, B3)は、それから1～2時間後の19:00～20:00にかけて降水の開始と増加が見られる(A2, A3, A4)。東京湾から北西方向に延びるこのレインバンド(A3, A4)の前兆は、地上風の収束線(C1)にも顕著に現れている。雷雨の発生数時間前に風の収束が先行指標として現れる事は、谷岡ほか(1998)によっても指摘されている。

(2) 19:00

関東北西部における可降水量は更に増加し(B4)、1時間後20:00の強い降雨域(A3)と対応している。し



第10図 (1) 1997年8月23日 首都圏, A: 降水量, B: 可降水量の1時間当たりの増減量, C: 風の収束・発散, (1997年8月23日18:00~8月24日1:00) (次ページに続く).



第10図 (2) (前ページから続き)

かし、房総の可降水量増加域 (B5) のように、数時間後に降水の無い点も見られる。

(3) 20:00

最も降水が強くなっている関東北西部 (A3) では、

既に可降水量が著しく減少し始めている (B6)。また、それに対応して、発散域も見られる (C2)。20:00~21:00における降水域の拡大に先行するように、首都圏全体的に可降水量の増加が見られる。取り分け、

可降水量の顕著な増加域 (B7, B8) は、それぞれ1時間後の21:00に発達しているレインバンド (A5) や東京湾の強い降雨域 (A6) に先行している。

(4) 21:00

20:00~21:00に降水の最盛期を迎えたレインバンド (A5) 及び東京湾の強降雨域 (A6) では、可降水量の急激な減少が見られる (B9, B10)。22:00に集中豪雨の中心は東京23区内に移動して来るが (A7)、それが可降水量の増加に現れている (B11)。房総方面の可降水量の増加域 (B12) は、2~3時間後の23:00, 24:00の降雨域 (A8, A9) に対応していると思われる。風は東京湾及び北西部で全体的に収束して居り、B9, B10, B11のような局地性の強い可降水量の増減域を表現しきれてはいない。

(5) 22:00

この段階で、全体的に可降水量は減少傾向を示し、この後1~3時間内で集中豪雨が終了に向かう事に先行している。取り分け、東京23区内の強降雨域 (A7) に対応した可降水量の減少が著しい (B13)。風もほとんどが発散モードになっている。また、房総半島のみに見られる強い可降水量増加域 (B14) は、23:00~24:00にかけてレインバンドが房総方面に移動して来る事 (A9) に先行している。

(6) 23:00~25:00

雨が強く降っている東京湾周辺一帯 (A8) で可降水量が激減 (B15) している。降水の終了と対応するように殆どの地点で可降水量の減少が見られる。

(7) 全体を通じて

以上見て来たように、GPS 可降水量の1時間増減値は、降雨の強化・減衰いずれのイベントに対しても1~2時間程度先行している事が示された。一方、風の収束・発散の位相も、大局的には、降水の増加・減衰の位相に先行している傾向にはあるが、その対応関係はGPS 可降水量ほど明確では無かった。

5. まとめ

RINEX 形式観測データから GAMIT を使って GPS 可降水量を算出する手法は、SINEX 形式解析データから GPS 可降水量を算出する手法と比べて時間・労力は掛かるが、無数に分かれていた手順 (例えば、気象研究ノート「GPS 気象学」, 1998に詳しい) の自動化を進めた事で解析時間をかなり軽減する事が出来るようになった。解析の結果得られた RINEX-GPS 可降水量は SINEX-GPS 可降水量に比べて時間解像

度が良く、ラジオゾンデ可降水量との相関で2.3 mmと精度も十分なものである事が分かった。

GPS 可降水量と集中豪雨の関係については、(1) GPS 可降水量の時間位相が降雨量の位相に対して1~2時間ほど先行している事、(2) GPS 可降水量が増加すると1時間程度後に降水量が増大する確率が高く、その確率はGPS 可降水量の増加が大きい程高く、またその際の降水量の増加量もGPS 可降水量の増加が大きい程高くなる事、(3) 降水量の最盛期に可降水量は既に減少を開始する事、が示され、これらはGPS 可降水量が局地的集中豪雨の先行指標として利用出来る可能性を強く示唆している。但し、単位時間当たりのGPS 可降水量増加をシグナルとした1時間後の降雨増加確率は高々60%であり、その利用法については改善の余地が残されている。また、本論で示した傾向が、本解析事例だけでは無くその他の事例についても成立するかどうか、今後慎重に検討されなければならない。

謝辞

本研究を進めるに当たり、GAMIT ソフトウェアの使用を快諾して下さいましたマサチューセッツ工科大学及びスクリプス海洋研究所の方々、データの使用を快諾して下さいました国土地理院及び気象庁の方々、GAMIT ソフトウェアの使用法を御教授下さいました島田誠一氏、器材を貸して下さいました(株)トリンプル・ジャパンの方々に深く感謝致します。

参考文献

- 石井宏明, 神田 学, 森脇 亮, 奥園孝二, 1999: 東京湾上空の大気環境計測, 土木学会水工学論文集, **43**, 233-238.
- 岩淵哲也, 内藤勲夫, 萬納寺信崇, 木村富士男, 1998: 国土地理院 GPS/SINEX データから得られた日本列島上空の可降水量の動態, 気象研究ノート, (192), 133-144.
- 大谷 竜, 辻 宏道, 萬納寺信崇, 瀬川爾朗, 内藤勲夫, 1997: 国土地理院 GPS 観測網から推定された可降水量, 天気, **44**, 317-325.
- 大谷 竜, 内藤勲夫, 1998: GPS 可降水量の物理と評価, 気象研究ノート, (192), 15-34.
- 小倉義光, 1995: 猛暑の夏の雷雨活動, 天気, **42**, 393-396.
- 瀬古 弘, 1998: GPS で求めた可降水量の変動(II)一國土地理院の全国 GPS 連続観測網で見積もられた可降

- 水量一, 気象, 42 (5), 10-15.
- Tanaka, H. L. and M. F. Milkovich, 1990: A heat budget analysis of the polar troposphere in and around Alaska during the abnormal winter of 1988/89, *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 1628-1639.
- 谷岡 康, 福岡捷二, 尾崎友彦, 渡辺 毅, 1998: 関東平野の雷雨発生時の気象状況, *水工学論文集*, **42**, 25-30.
- 日置幸介, 島田誠一, 大谷 竜, 1998: GPS 解析ソフトウェア, *気象研究ノート*, (192), 73-92.
- 萬納寺信崇, 1998: 国土地理院 SINEX ファイルから可降水量を計算する方法, http://db00.cr.chiba-u.ac.jp/gps_met/sinex2pw.html
- 横塚 透, 木村富士男, 1998: 夏季の関東域における局地的降水と GPS 可降水量との関係, 1998年春季大会講演予稿集, **73**, 日本気象学会, 284.
- 吉崎正憲, 1996: 雷雨の発生環境について, 雷雲の発生環境について, *気象学会大宮 '96シンポジウム「雷雲」*, 日本気象学会, 2-6.

Analysis of Temporal and Spatial Change of a Convective Thunder Storm in Tokyo Metropolitan using GPS Precipitable Water : Case Study on 23rd August in 1997.

Manabu Kanda*, Tomonori Ishida**, Masahiko Kashima** and Satoru Oishi***

*(Corresponding author) Department of International Development Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo 152-8552, Japan

** Department of International Development Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo 152-8552, Japan

*** Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Kyoto 611-0011, Japan

(Received 15 March 1999 ; Accepted 15 October 1999)

Abstract

The temporal and spatial relationships between GPS precipitable water vapor (GPS-PWV) and rainfall intensity (RI) on an event of strong convective thunder storm in the Tokyo metropolitan area were investigated.

RINEX, one of the standard format of GPS raw data and supplied from Geographical Survey Institute of Japan, were converted to GPS-PWV by GAMIT software on 30 min basis. The following results were obtained ;

(1) A rapid increase of GPS-PWV can be observed 1 to 2 hours before a beginning of sever rainfall, (2) The hourly increment of GPS-PWV has a strong correlation with the possibility and amount of increasing of one hour later RI, and (3) GPS-PWV begins to decrease at the peak of RI. These results suggest the promising availability of GPS-PWV as one of the prior-signals of strong convective thunder storms.
