

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：32503

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760401

研究課題名(和文) 沿岸域多点カメラを用いた東京湾上空に発達する雲のステレオ観測

研究課題名(英文) Stereo observation of cloud level using network camera images around Tokyo Bay

研究代表者

小田 僚子 (ODA, Ryoko)

千葉工業大学・工学部・助教

研究者番号：50553195

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：東京湾沿岸部の4地点に設置した計12台の屋外ネットワーク可視カメラから東京湾および都心部上空の大気の連続観測を実施した結果、以下の成果を得た。(1)ステレオ観測により、成長の初期段階から積乱雲の位置・高度を推定することができた。カメラ画像から局地的大雨の発生場所や時間を予測できる可能性が示唆された。(2)夏季の都市上空大気は2～3層構造を成していることが多く、降雨前には南寄りの風(雲)が下層で連続的に流入する傾向にあることがわかった。(3)都市上空では夏季にSPM濃度が高い傾向にあり、その混濁の変化から大気境界層高度を推定した結果、夏季日中には約1.5kmまで発達していると推定された。

研究成果の概要(英文)：This study investigated cumulous clouds and atmospheric turbidity in urban area using stereo camera images. Totally, 12 cameras were installed at 4 locations (3 directions of photos at 1 location) around Tokyo-Bay to monitor the visible atmospheric condition above the center of Tokyo. The major outcomes of research are as follows:
(1) Development of a cumulonimbus was monitored at two locations. Based on the stereo-image analysis, temporal evolution of the height of this cumulonimbus was quantitatively estimated from its initial stage to just before starting the heavily rain. (2) Summer in Tokyo near the coastal area, atmospheric boundary layer is often stratified to 2 or 3 layers judged from the direction of clouds movement. There is a considerable correlation between rainfall and the southern wind at the lowest layer. (3) Boundary layer height is estimated from the color in the sky. This results that the atmospheric boundary layer height develops about 1.5 km in summer.

研究分野：水工水理学

キーワード：都市気象 雲 カメラ ステレオ観測 東京湾 大気境界層 大気混濁度

1. 研究開始当初の背景

(1) 世界的に見ても沿岸域に多く立地する大都市圏では、ヒートアイランドや局地的大雨、大気汚染といった深刻な問題が顕在化している。これらの諸問題には、隣接する東京湾が陸上大気の大気・水蒸気場や風系場に影響を及ぼしていることが指摘されている。しかしながら、都市域上での直接観測の豊富さに比べ、東京湾上の面的な大気観測事例は少ない。

(2) 都市大気境界層そのものの連続観測事例が少ないことから気象モデルにおける大気境界層スキームに不確実性が大きく、現象予測のネックとなっている。そのため、観測負荷の大きいゾンデ観測等に頼らない大気境界層高度推定の新たな観測手法の確立が望まれる。

2. 研究の目的

1 に記した背景を踏まえ、本研究では東京湾を囲む沿岸部に定点カメラを複数台設置することで大気の常時ステレオ観測を行い、雲や大気境界層高度の時空間変化を立体的に評価するシステムを構築し、東京湾海面温度変化と大気現象との関連性について評価することを目的とした。具体的には以下に記す通りである。

(1) 設置した数台の定点カメラにより、東京湾を通過する雲の発生・発達・成長・減衰のプロセスを3次元的に捉え、その特徴を明らかにすること。

(2) 大気境界層の日・季節変化について、熱環境場・風系場との関係性を評価すること。

3. 研究の方法

東京湾を囲む沿岸部の稲毛ヨットハーバー（千葉県千葉市）、東京工業大学（東京都目黒区）、木更津市役所（千葉県木更津市）、防衛大学校（神奈川県横須賀市）に1.3メガピクセルの屋外ネットワーク可視カメラ（Panasonic製、BB-HCM735）を3台ずつ設置し、1分サンプリングで東京湾上空および都心部上空の大気の連続測定を実施した。観測地点を図1、カメラの設置状況の例を図2に示す。平成24年11月から平成25年7月にかけて常時モニタリングシステムを構築し、以下に記す観点で研究を遂行した。

(1) 積乱雲の位置・高度推定

異なる地点で撮影した画像から同一の形の雲を捉え、地図上において各カメラの設置地点から雲が存在する方向へ線を引き、交わった地点の上空で雲が発生していると推定される。雲の高度は、カメラの仰角 θ を用いて以下の式より計算した。

$$h = d \times \tan \theta \quad (1)$$

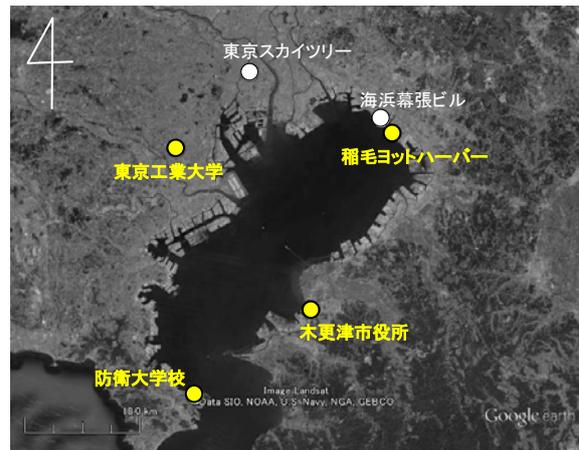


図1 屋外ネットワーク可視カメラの設置地点（黄色丸）。各観測地点に3台ずつカメラを設置している。大気の混濁具合を評価するために設定したランドマークを図中白丸に示す。



図2 屋外ネットワーク可視カメラ（Panasonic製のBB-HCM735）の設置例。稲毛ヨットハーバーから都心部方面を望む。

ここで、 d : カメラから雲までの水平距離(km), h : カメラから雲までの高さ(km), θ = ピクセル値 $\times 0.10625$ (degree) である。

(2) 降雨前の雲の流れ

夏季都心部の東京湾および都心部上空の雲の流れを数地点の可視カメラで観測し、降雨前後の大気の流れの特徴について統計解析を行った。

(3) 大気の混濁度（視程）とSPMとの関係

稲毛ヨットハーバーから都心部を望むカメラ画像を基に大気の混濁度（視程）の変化を把握し、カメラ画像から判断される大気の混濁度と地上付近のエアロゾル濃度実測値（SPM：浮遊粒子状物質）との関係性について検証し、大気が混濁しやすい環境場を把握した。視程の評価は図1に示すランドマークを設定した上で気象庁の視程階級に基づき、海浜幕張の高層ビル（ヨットハーバーから距離約3km）を見通せない場合が視程階級5、海浜幕張の高層ビルは見通せるが東京スカイツリー（ヨットハーバーから距離約25km）

は見通せない場合が視程階級 6~7, 東京スカイツリーを見通せる場合が視程階級 8 と判断した。また, 地上付近の SPM 濃度および風向・風速の実測値は, 環境省大気汚染物質広域監視システム (AEROS) により観測された結果を使用した。

(4) 大気境界層高度の日変化推定

稲毛ヨットハーバーと東京工業大学のカメラ画像に基づき, 都心部で大気が混濁している日時を対象に, 式(1)の関係より大気境界層高度を推定する。ここで, 式(1)に対する h は大気境界層高度, d はカメラ画像から推定される大気境界層までの水平距離である。 θ はカメラの仰角であり, カメラの画角と画像から算出した地表面から大気境界層高度までのピクセル数より求める。

4. 研究成果

3 に示した研究内容ごとに得られた成果を以下に記す。

(1) 積乱雲の位置・高度推定

東京都北部で積乱雲の発達が見事に現れた 2013 年 7 月 8 日の事例に着目する。この日は朝から昼まで首都圏では晴れており, 気温は日中に東京で 30°C を超えていたが 15:00 から雲ができて始め, 東京都足立区付近で 15:50 頃に局地的大雨が確認された。

図 3 は 15:20 の稲毛ヨットハーバー, 東京工業大学から撮影した雲の様子である。各画像の赤丸内に, 同一のものと思われる積乱雲が発達している様子がわかる。3 (1)の方法を適用すると, 雲の発生地点は東京都足立区付近と推定された。図 4 に, 積乱雲の発達が顕著に見られた 14:50~15:25 の 5 分ごとの雲頂高度の時間変化を示す。これによると, 14:50 では 5km 未満だった雲が 30 分間で 10~13km 付近まで発達したことがわかる。この付近で局地的大雨が発生する前に急速に積乱雲が発達していた様子が捉えられた。

推定した積乱雲の位置・高度推定の検証データとして, 衛星画像およびラジオゾンデ観測結果を用いた。衛星画像からも東京都足立区付近に積乱雲が発達している様子が捉えられた。また, 7 月 8 日 9:00 の館野におけるラジオゾンデ観測結果によると, 15km 付近に対流圏界面が存在し, 本手法で推定した雲の雲頂高度と概ね合致していると考えられる。

以上より, 数地点に屋外ネットワーク可視カメラを設置することでステレオ観測が可能になり, カメラ画像から積乱雲の位置・高度を推定することができた。成長の初期段階から積乱雲の位置や発達速度を推定することで, 局地的大雨の発生場所や時間を予測できる可能性が示唆された。



図 3 2013 年 7 月 8 日 15:20 に(a)稲毛ヨットハーバー, (b)東京工業大学から撮影した積乱雲の様子

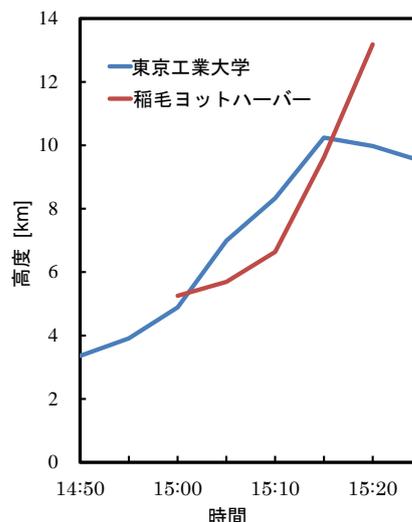


図 4 東京工業大学 (青線) と稲毛ヨットハーバー (赤線) のカメラから推定した 2013 年 7 月 8 日の積乱雲の雲頂高度時間変化

(2) 降雨前の雲の流れ

2013 年 7 月~9 月の全日を対象に, 地上からの雲の流れについて検討した結果, 東京湾および都心部上空は期間中約 3 分の 1 の日において大気が 2~3 層構造している様子が捉えられた。下層では南~南西風, 上層では西寄り (南西~北西) の風の傾向にあった。上層の雲の流れは衛星画像による雲の流れと対応しており, 下層の雲の流れは地上風向と対応していた。ただし, 4 (1)で記した積乱雲の事例とは異なり, 多地点のカメラから同一の雲と判断することは困難であり, 2~3 層の高度についてはステレオ観測手法からは推定できなかった。

同期間中, 都心部で降雨があった場合, その降雨前後の大気の流れ場の特徴について統計解析を実施した結果, 夏季降雨前には南寄りの風 (雲) が下層で連続的に流入する傾向にあることがわかった。図 5 に, 降雨前後の下層の雲の流れ (風配図) を示す。なお, 東京工業大学に設置した中赤外線カメラから夜間の連続撮影を行った結果も, 同様に降雨前には南寄りの風 (雲) が連続的に都心部に向かって流入している様子が捉えられた。

以上より, 上空の雲の様子は衛星画像からも把握することが可能であるが, 層構造を成している場合は下層の雲 (大気) の流れを捉

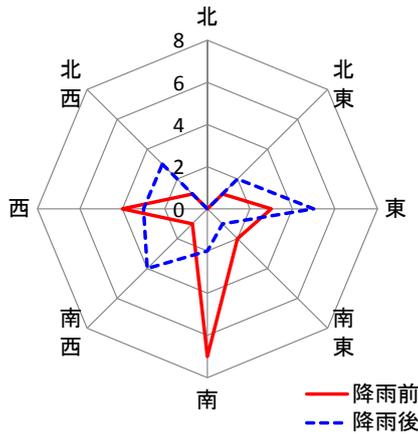


図5 2013年7月～9月の降雨前後の下層の雲の流れ(風向)

えることは困難である。一方、都心部付近においては下層に南風が連続的に流入することが降雨の要因の一つである可能性があり、地上付近の雲の流れを捉えることが重要であるといえる。夏季は東京湾奥部ほど海表面温度が高く顕熱放出量が高いことが指摘されており¹⁾、それに伴い水蒸気供給量も増えることが予想される。南寄りの風が連続的に流入し、雲量が増えている様子が捉えられており、東京湾を通過する際の大気下層への水蒸気供給が降雨をもたらす要因の可能性はあるが、これについては今後領域気象モデルやレーダー観測等から詳細に検討する必要がある。

(3) 大気の混濁度(視程)とSPMとの関係

首都圏(東京都・神奈川県・千葉県)におけるSPM濃度の1日平均値を2013年1月～12月の月ごとにアンサンブル平均した結果、年間平均で約 $20 \mu\text{g m}^{-3}$ のSPMが大気中に存在しており、3月および夏季にSPM濃度が高くなる傾向にあることが確認された。

カメラ画像から確認される大気の状態は、日によって大気が非常に濁っている状態と澄んでいる状態がある。SPM濃度と地上風分布について、3(3)に記述した視程階級別に1時間毎にアンサンブル平均を行い比較検討した。図6に視程階級5と8の大気状態におけるカメラ画像の例を示す。図7はそれぞれの視程階級に対応した3月の日平均SPM濃度分布と風ベクトル図である。視程階級5では、全体的にSPM濃度が高く、東京湾沿岸では $45 \mu\text{g m}^{-3}$ に達しており、 $1\sim 3 \text{ m s}^{-1}$ の南寄りの弱い海風が内陸に侵入している。視程階級8では、全体的にSPM濃度が $10 \mu\text{g m}^{-3}$ と低く、風向はばらついているが、概ね北西寄りの風で風速は $3\sim 6 \text{ m s}^{-1}$ となっている。なお、視程階級6～7では、視程階級5と8の間のSPM濃度分布を示しており、風速は弱く風向もばらついている。このことから、南寄りの海風が卓越する場合、東京湾沿岸の

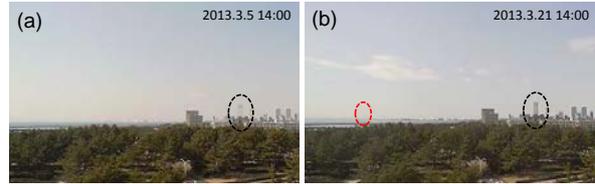


図6 (a) 視程階級5, (b) 視程階級8における14:00 JSTのカメラ画像。稲毛ヨットハーバーから都心部方向を撮影。図中黒丸点線は海浜幕張ビル(稲毛ヨットハーバーから約3km)、赤丸点線は東京スカイツリー(稲毛ヨットハーバーから約25km)を示す。

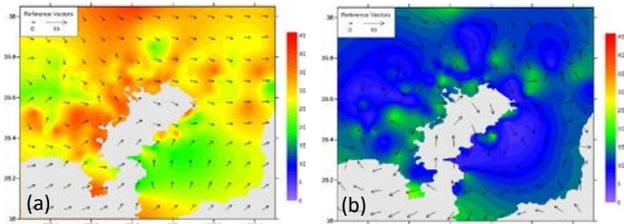


図7 (a) 視程階級5, (b) 視程階級8における2013年3月の日平均SPM濃度分布と風ベクトル図

工業地帯からの排煙や、海からの海塩粒子が内陸に流入することで首都圏のSPM濃度が上昇すると考えられる。

(4) 大気境界層高度の日変化推定

東京工業大学と稲毛ヨットハーバーで都心部を撮影しているカメラ画像から、夏季である2013年7月～9月の5:00～14:00に着目し、3(4)に記載の方法により大気境界層高度の推定を行った。本研究では、両地点において期間中に大気が混濁しており大気境界層上端の判別が可能であった7日間を対象とした。その結果を図8に示す。両地点とも、大気境界層高度は明け方に低く徐々に発達し、約 $1\sim 1.5 \text{ km}$ まで発達している様子が捉えられた。9:00以降になると両地点の大気境界層の発達高度に差がひらき、14:00には東京工業大学での高度が約600m高い値を示したが、これは都心に近く、人工排熱などを含む地表面からの熱の供給や建物粗度の増大による対流が起こり、より大気境界層が発達した可能性が考えられる。従来の大気境界層高度に関する研究では、ラジオゾンデやドップラーライダーでしか推定できなかった大気境界層の高度変化が、簡易的な定点カメラからも推定できる可能性が示唆された。ただし、カメラ画像から大気境界層の高度を推定する本手法は、対象となる大気境界層がどの地点に発達している層なのか(カメラ画像から推定される大気境界層までの水平距離)を知る必要がある、そのために上述した既存の観測結果でキャリブレーションしている。定点カメラの画像のみから大気混濁に基づき定性的な境界層高度の変動傾向は確認できるが、定量評価についてはまだ検討の余地

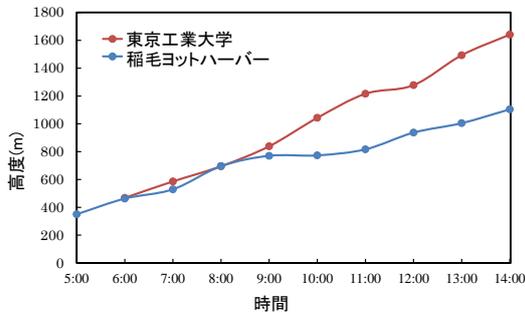


図8 2013年7月～9月のカメラ画像から推定された大気境界層高度の時間変化

があるといえる。

<引用文献>

- 1) Ryoko Oda and Manabu Kanda, Observed sea surface temperature of Tokyo Bay and its impact on urban air temperature, *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, Vol.48, 2009, 2054-2068.

<参考資料>

- ① 気象庁過去の気象データ (東京, 千葉): <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>
- ② 気象庁高層気象観測結果 (館野): <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/upper/index.php>
- ③ 環境省大気汚染物質濃度広域監視システム (AEROS): <http://soramame.taiki.go.jp/>

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 小田 僚子, 沿岸域多点カメラを用いた東京湾上空に発達する雲のステレオ観測, 千葉工業大学プロジェクト研究年報 2014 年, 査読無, Vol.11, 2014, 113-114.
- ② 小田 僚子, 沿岸域多点カメラを用いた東京湾上空に発達する雲のステレオ観測, 千葉工業大学プロジェクト研究年報 2013 年, 査読無, Vol.10, 2013, 105-106.

[学会発表] (計5件)

- ① 橋北太樹, 河村公雅, 小田 僚子, 都市域における浮遊粒子状物質濃度と視程との関係, 日本気象学会 2015 年度春季大会, P134, 2015 年 5 月 21 日, つくば国際会議場 (茨城県・つくば市).
- ② 橋北太樹, 河村公雅, 小田 僚子, 首都圏の大気中浮遊粒子状物質濃度と視程との関係, 第 42 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2015 年 3 月 6 日, 東海大学湘南キャンパス (神奈川県・平塚市).
- ③ 橋北太樹, 小田 僚子, 菅原広史, 清野直子, 屋外カメラのステレオ観測に基づく首都圏に発達する積乱雲の位置・高度推定, 日

本気象学会 2014 年度春季大会, P418, 2014 年 5 月 24 日, 横浜市開港記念会館・横浜情報文化センター(神奈川県・横浜市).

- ④ 橋北太樹, 小田 僚子, 菅原広史, 清野直子, 屋外カメラ画像を用いた首都圏に発達する積乱雲の位置・高度推定, 第 41 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2014 年 3 月 13 日, まちなかキャンパス長岡 (新潟県・長岡市).
- ⑤ 加瀬淳見, 小田 僚子, 2 地点の屋外カメラによる雲の高度推定, 日本気象学会 2013 年度春季大会, P329, 2013 年 5 月 17 日, 国立オリンピック記念青少年総合センター (東京都・渋谷区).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小田 僚子 (ODA, Ryoko)
 千葉工業大学・工学部・助教
 研究者番号: 50553195