

(II-4) 超音波風速温度計による接地境界層の構造解明について

長岡技術科学大学大学院	学生会員	久保田 敬太
長岡技術科学大学	正会員	早川 典生
長岡技術科学大学	正会員	小池 俊雄
長岡技術科学大学	正会員	陸 旻皎

1 はじめに

地上付近数十メートル程度の範囲における気象、水分、エネルギーの変化とそれをもたらす機構を知ることは、微気象学のみならず、水文学的にも重要である。そして、これらを観測するためには、超音波風速温度計(SAT)による、微気象要素の観測が有効である。本研究では、3次元風速と温度の乱流観測が可能である超音波風速温度計(SAT)を高所作業車に搭載し、田園上の接地境界層の3次元観測を行ったので報告する。なお、この観測は、1996年7月下旬から8月上旬に琵琶湖周辺で行われた琵琶湖プロジェクトの一環として行われたものである。

2 観測の概要

観測期間は、1996年7月29日から31日までの3日間である。観測地点域は、滋賀県北東部に位置する琵琶湖の北東部、伊香郡木之本町近郊、約 $1\text{km} \times 1\text{km}$ の均質といえる水田地帯のほぼ中央である。

3 観測方法

本研究では、接地境界層を3次元的に観測するために、SAT、通風型温湿計、三杯式風速計を高所作業車(最高高度 16.0m)のゴンドラに設置し、測定高度を4段階に変化させ測定を行った。本研究で用いた測定高度は、地表面から 2m 、 4m 、 8m 、 16m の4高度である。1回の観測は、この4高度の測定から構成される。また、境界層の日変化を観測するため、5時、7時、9時、12時、14時、16時、18時の計7回の観測を行った。

4 解析方法

SATから得られるデータより、主風向風速、鉛直方向風速、温度の値が得られる。これらの値より、各測定における10分間平均値を求め、鉛直プロファイルを得ることが可能である。また、SATは、10分間、 20Hz の測定を行っているため、各変動成分、 u' 、 w' 、 θ' を求めることが可能である。よって、求めた変動成分と空気の密度、比熱から、渦相関法¹⁾を用い、

運動熱フラックスを求めることができる。この運動熱フラックスは、一般に、接地境界層の熱輸送の指標として用いられているものである。しかし、本研究で行った測定方法は、1高度に対し10分間の測定を行い、次の測定高度に上昇するというものである。つまり、この方法によって得られたプロファイルは、厳密に同期した鉛直プロファイルとはいえない。そこで、ある高度において連続して得られた2回の観測値は、線形に変化すると仮定して、その間の所定の時刻の値を求めた。本研究では、以上の方法を用い、主風向風速、温度、運動熱フラックスの鉛直プロファイルについて解析を行う。さらに、渦相関法と傾度法²⁾を併せて用いたフラックスの解析を行い、乱流拡散係数について検討を行った。

5 解析結果

解析結果を図1、図2、図3、表1に示す。図1は、主風向風速の鉛直プロファイルの日変化である。図の縦軸が測定高度(m)、横軸が時刻(時)、図中の矢印が主風向風速の大きさを示す。図2は、気温の各観測時間の平均値からの偏差の鉛直プロファイルの日変化である。図の縦軸が高度(m)、横軸が時刻(時)、図中の矢印が各時刻の平均気温からの偏差を、数値が各気温の平均値を示す。図3は、運動量熱フラックスの鉛直分布の日変化である。図の縦軸が高度(m)、横軸が時刻(時)、図中の矢印が運動熱フラックスの大きさを示す。表1は、乱流拡散係数の解析結果である。解析は、運動熱フラックスが比較的大きな正の値をとり、活発に熱輸送がなされた8時、10時、13時の解析結果に対し、高度、 $2\text{m} \sim 4\text{m}$ 間、 $4\text{m} \sim 8\text{m}$ 間の2通りの解析を行った。

6 検討

図1より、主風向風速の解析値は、日の出直後の6時の値から時間が経過するに従い、増加していることがわかる。これは、日射が増加し地表面が暖められ境界層が発達していることを示している。また、

10時以降の観測において、主風向風速の値は、測定高度が上がるに連れ増加している。図2より、温度の鉛直プロファイルは、6時の解析値では正の勾配、8時の解析値では8mから16mが正の勾配、2mから8mが負の勾配、10時から13時の測定では負の勾配、15時から17時の測定では正の勾配であることがわかる。このことから、6時では下向きの乱流熱輸送があり、8時前後で上向きの乱流熱輸送に変化し下方より大気が暖められ、15時ではまた下向きの熱輸送が発生し、下方より大気が冷却されていることがわかる。図3より、運動熱フラックスは、6時から15時までのすべての解析値で正の値を示し、17時の解析値で負の値を示している。これより、運動熱フラックスの値は、日射が増加するに連れ増加し、日射が少なくなる夕方になると減少し負の値となることがわかる。

また、図2の6時、8時の解析値を比較すると以下のことがわかる。温度のプロファイルは、6時の全高度と8時の8mから16mにおいて正の勾配、つまり下向きの乱流熱輸送を示唆している。これに対し、運動熱フラックスの値は、正の値をとっている。ここで、図1によると、これらのデータについて風速は小さく、勾配もほぼ0であることから、乱流熱輸送は、あまり無かったと推定できる。一方、上向きの熱輸送を生じさせる原因として、日射によって暖められた地表面にごく近い層の空気が、浮力の効果を受けて、サーマル状となり上方に輸送されていると考えられる。以上より、浮力による上向きの熱輸送が、下向きの乱流熱輸送を上回り、結果的に上向きの熱輸送を生じさせたものと考えられる。

次に、乱流拡散係数について検討を行う。表1より、すべての解析結果が正の値をとっていることがわかる。ここで、動粘性係数は、気温30度で約 $1.57 \times 10^{-5} m^2 s^{-1}$ である。一般的に、乱流渦拡散係数は、空気の動粘性係数より2オーダー程度大きい傾向を示すといわれている。表中の値は、この傾向にほぼ近いものとなっている。また、10時の高度4m～8mの値が、最も大きな値を示している。このことから、最も活発に熱輸送が行われたのは、10時の高度4m～8mであると考えられる。

参考文献

- 1) Roland B Stull 1988 An Introduction to Boundary Layer Meteorology Kluwer Academic Publishers
- 2) 塚本良則 1992 森林水文学 文永堂出版株式会社

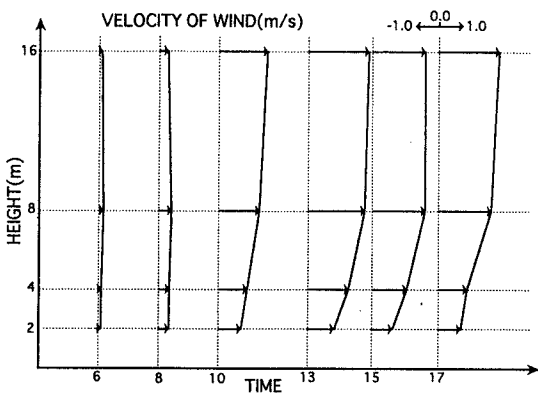


図 1: 主風向風速の鉛直プロファイルの日変化

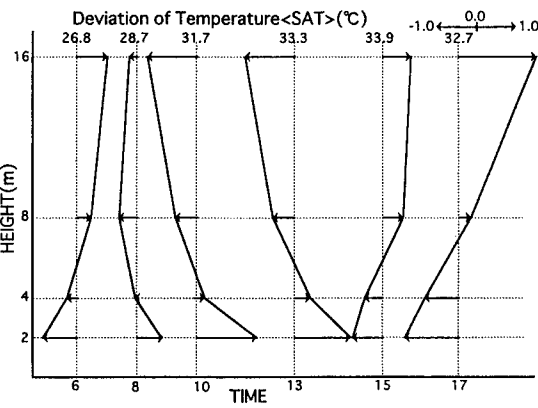


図 2: 気温の各観測時間の平均値からの偏差の鉛直プロファイルの日変化

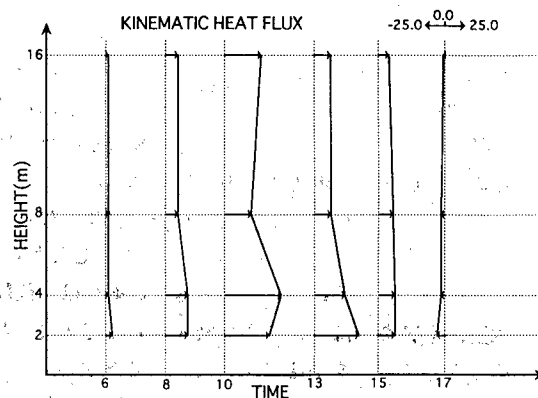


図 3: 運動量熱フラックスの鉛直分布の日変化

	8:00	10:00	13:00
2-4m	0.0042	0.0310	0.0386
4-8m	0.0009	0.1859	0.0062

単位:(m²/s)

表 1: 乱流拡散係数の解析結果