

氏名	光 田 寧 みつ た やすし
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	論理博第218号
学位授与の日付	昭和42年9月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	<b>Development of sonic anemometer-thermometer and its application to the studies of vertical eddy transport processes in the atmospheric boundary layer</b> (超音波風速温度計による接地気層内の乱流輸送の研究)
論文調査委員	(主査) 教授 山元龍三郎 教授 田村雄一 教授 国司秀明

### 論 文 内 容 の 要 旨

運動している空気中での音波の見かけの速度測定を利用した超音波風速計は、在来の風速計に比し、次のような点について格段の優秀性を持っている。すなわち、特別の検定が不必要であること；数 cm/sec という低風速も測定可能であること；任意の方向の風速分値を直接観測できること；高周波変動にも十分に追従すること；温度測定も同時に可能であること。このような超音波風速計は、約20年前に米国において試験的に作られ、その後米国やソ連邦において開発が続けられて来た。そして室内実験では一応作動するものが得られたが、野外での実地観測に供するためには、一層の改良が必要とされていた。

申請者は、1963年に、わが国ではじめて超音波風速温度計を開発し、更に改良を重ねて実地観測に供し得るものを作製した。それについて、主論文第1部で詳細に述べている。見かけの音速の測定法として、申請者は、パルス時間差法を採用し、他の方式に比して、雑音の影響を少なくして、又広い測定範囲を得る事が出来た。その際、パルスの受信強度によっては、音波の到達時刻決定に誤差を生ずるという難点を、高性能の送受波器と増幅器の利用により受信波形の立ち上り特性を良くすることによって解決した。強風時に風向が音響経路とほぼ平行になると、送受波器による気流の乱れのために、信号対雑音比が減少し測定困難となる懸念がある。申請者は、送受波器の外形などについて研究を行ない、30m/sec 以下の風速に対しては、野外においても満足に作動する超音波風速温度計を作製する事ができたのである。

超音波風速計による垂直速度変動の実測が可能となったので、湿度・温度または水平風速などの変動の同時測定を行なえば、渦相関法に基づいて水蒸気・顕熱または運動量・運動エネルギーなどの垂直乱流輸送が得られる事となった。それについて、主論文第2部で詳細に論じられている。申請者は、3台の超音波風速計の感部を垂直面に三角形に配置する事により、うず度およびその垂直輸送を直接求め得る事を述べ、その実地観測結果を、運動量・運動エネルギー・顕熱・水蒸気の垂直輸送に関する結果と共に例示して、この問題に対する超音波風速計の有用性を確立した。その際、超音波風速計による測定値は、音響経路上の平均値であるための影響を詳細に検討し、一般に測定高度が地上 40cm の時には、音響経

路が 5cm 以下の測器を用いる必要があるが、高度 4m での測定に対しては、50cm の音響経路でもよいと述べている。また湿度計など、併用する他の測器の変動応答特性に調和させて超音波風速計記録を解析する必要があるとしている。更に、顕熱輸送における水蒸気の役割を、超音波風速温度計の温度指示に対する湿度の影響とあわせ考えて、海面上のような湿潤な空気中でも、一般に特別の補正することなく、顕熱輸送量が、直接評価できると述べている。

主論文第 3 部において、申請者は、特に運動量輸送をとりあげ、その実地観測結果を詳細に論じている。地上高度 1.5 ないし 3.0m での輸送量の他に、地表面摩擦応力の変動を特別設計のドラグメーターで同時に測定した。運動量輸送の高度分布は一様でなく、かなりの収束が存在する事を確認し、一般に非発散を仮定している在来の理論の再検討の必要を述べている。申請者は、また、スペクトル解析を行ない、水平速度変動  $u'$  と垂直速度変動  $w'$  は、0.2 ないし 0.3cps より、高周波領域では  $-\frac{5}{3}$  乗則に従っていて、慣性小領域に属する事を示しているが、 $(uw)$  は、理論的に予期される  $-\frac{7}{3}$  乗則に従わない事を述べ、今後の研究の必要性を示している。更に、 $u'$ 、 $w'$  のコスペクトルを求めて、全輸送量の 95% は、慣性小領域の低周波側の端すなわち 0.4 ないし 0.9cps よりも低周波側の変動によって果たされている事を見出している。その他、地表面応力の変動と各高度での変動とのコヒーレンスや位相差を求め、運動量輸送の詳細な機構に関する幾多の興味ある結果を得ている。申請者は、風速シャーの大きい場合に地表面応力が約 1 秒間唐突に増加する現象を見出し、その時、地上高度 1.5 ないし 3.0m でかなり強い下降気流の発現している事に注目している。これは不安定成層時の自由対流に対応して、シャーの大きい時に発現する現象として、その重要性を強調している。

参考論文その 1 は、超音波風速計試作に関するもので、その 2 は、うず度の直接測定を述べた速報である。その 3 ないし 10 は、風速変動に関する研究成果である。その 11 ないし 16 は、台風域内の風速分布に関するものである。その 17 は、局地的小旋風に関する研究速報である。その 18 および 19 は、山岳地方における水理気象学的研究成果で、その 20 は、融雪機構に関する観測結果である。その 21 および 22 は気象測器の開発に関するもので、その 23 は、強風下の雨滴の破壊作用を論じたものである。

### 論文審査の結果の要旨

微細気象学においては、研究の進展と共に、在来の風速計では果たせないような精度の高い風速観測が強く要望されるようになった。申請者の取り上げた超音波風速温度計は、このような要望にこたえるものである。音波の見かけの伝波速度が風速によって変わる事を利用した超音波風速計では、特別の検定を必要としない事、在来の風速計では困難であった低風速も正確に測定出来る事、変動に対する応答特性が極めて良い事、任意の方向の風速分値の測定が可能である事、および温度測定も同時に行なえる事など、在来の風速計に比して画期的な優秀さをもっている。このような超音波風速計は、20 年程前に米国で試作され、その後米国やソ連邦において改良が試みられてきた。室内実験では一応作働するが、野外での実地観測に供し得るようなものはなかなか実現しなかった。

申請者は、1963 年、わが国ではじめて超音波風速計を試作し、そして改良に努めた。実地観測の際に問題となる雑音の影響を軽減するために、見かけの音速の測定において、高性能の送受波器や増幅器を用い

たパルス時間差方式を採用すると共に、送受波器による気流の乱れをなるべく少なくするようその外形を検討した。更に、出力回路として新しくアナログ回路を考案するなどして、30m/sec以下の風速に対して十分実地観測に供し得るものを作り上げた。

申請者は、このような超音波風速温度計により、接地気層内の垂直乱流輸送の直接測定を行なった。乱流輸送は、微細気象学における古くからの重要課題の一つであったが、直接測定の困難さのために、種々の仮定に立脚して間接的にしか算定されていなかったものである。超音波風速計を用いて垂直速度変動が直接観測できるので、温度・湿度または水平風速などの変動の同時観測を行えば、それぞれ顕熱・水蒸気・運動量などの輸送量が得られるのである。申請者は、超音波風速計の3台の感部を垂直面内で三角形状に配置すると、うず度とその輸送量とを直接測定できる事を指摘し、その実地観測結果を、顕熱・水蒸気・運動量・運動エネルギーに関する結果と共に示している。その際、超音波風速温度計の測定値が音響経路上の平均値であるための影響など、測定上の諸問題を詳細に検討し、この測器を用いた垂直乱流輸送の直接測定法を確立した。

申請者は、特に運動量の垂直輸送に関する入念な実地観測を行ない、その結果について詳細に論じている。接地気層内の運動量輸送が高度と共に増加している事実を確認したが、これは一般に輸送量の非発散を仮定している在来の理論の再検討をうながす重要な観測事実である。また、観測データの種々のスペクトル解析を行ない、全輸送量の95%は慣性小領域よりも低周波の変動によって果たされている事を確認するなど、乱流輸送の機構に関する重要な知見を得ている。更に申請者は、風速シャーの大きい場合に、地上高度1.5ないし3.0mでのかなり強い下降気流を伴って、地表面応力が約1秒間唐突に増加する現象を発見している。これは、不安定成層の時の自由対流に対応して、強いシャーの時に発現する現象で、運動量輸送に対して重要な役割を演ずるものと考えられ、この種の問題の解決に対して重要な手がかりを与えるものである。

以上、要するに、申請者は、微細気象学の重要課題に対する有力な測器および研究方法を確立すると共に、運動量の乱流輸送に関する幾多の重要知見を得、微細気象学に貢献する所が少なくない。気象学の広い分野にわたる研究成果の示されている参考論文と併せて、気象学について深い学識と十分な研究能力もっている事が判る。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。