

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 4 日現在

機関番号：13701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25610137

研究課題名(和文) 大気境界層内の3次元風速場観測のためのドップラーソーダ観測システムの開発

研究課題名(英文) Doppler SODAR system to observe 3 dimensional wind field in atmospheric boundary layer

研究代表者

玉川 一郎 (Tamagawa, Ichiro)

岐阜大学・流域圏科学研究センター・教授

研究者番号：40273198

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：水平・鉛直の両方向に向きを変えて、音波を発射しその散乱音から上空の風速を計ることのできるドップラーソーダの開発に挑んだ。市販のマイク、スピーカ、PCのサウンドシステムを利用し、音波の送受信にパラボラを用いることで指向性と感度を高めて観測するシステムを目指した。回転台の重量制限により、特にパラボラ部の大きさに強い制約があり、そのため以前観測に成功した大きなパラボラ(1m)を利用できず、パラボラの小型軽量化、電子回路の改良、ソフトウェアの改良を行いつつ、3台の試作を重ねたが、残念ながら期間終了時点では、地面反射の影響が残り、風速の観測はできなかった。今後も開発を続ける所存である。

研究成果の概要(英文)：The Doppler SODAR system with horizontal and vertical rotation for measuring wind field are tried to be developed. SODAR uses sound for measurement. PC and its sound system with commercially available microphone and speaker are used with parabola reflectors to improve directivity and gain. The rotating table has weight limitation, so we can not use 1m parabola, which is used previously in observable system. We tried to improve the system with making 3 sets, as selecting light weight parabola and improving amplifiers, filters and software. But regrettably we can not observe wind field due to the noise caused by ground reflection. We continue the effort to develop the system.

研究分野：気象学

キーワード：観測機器 ドップラーソーダ 風速計測

1. 研究開始当初の背景

大気境界層内の気象場の観測には、適した観測装置がなく観測の空白域になっているが、山岳地などの複雑地形や都市など観測の必要性は高い。大気境界層の風速分布が計測可能な装置として、音波を用いたソーダがあるが、地上の物体からの反射の影響を避けるために、通常上向きで使用され、風速の鉛直分布や上空の逆転層の観測に使われている。また、1000万円オーダーの高価な機器である。

一方、近年 PC は、例えば 24bit 192Hz 2ch といった高度な音声入出力を備えるようになり、この入出力を直接利用し、アンプを通してパラボラを装備したスピーカやマイクを使ってソーダとして機能する機器を、市販の機器を用いて安価に製作できることが、申請者によって示された(気象学会予稿 2007 P402)。その後の研究により、100m 程度先の風速を 15 度という低仰角で観測する装置を作ることができた(図 1)。



図 1 試作機の試験風景 2009 (第 4 号機)

しかし、この試作機は向きを変える機構がなく、人力で送受信 2 台のパラボラを上下左右に動かす必要があり、観測機器としての実用性は乏しかった。

2. 研究の目的

上記のように、低い仰角で観測できるのであれば、方位角と仰角の 2 軸の回転が可能な台上にシステムを配置するにすれば、仰角を変えて、何段階も水平回転を行ういわゆるボリュームスキャンが可能になり、電波を使うドップラーレーダで行われるように、2 台あるいは 3 台のスキャンにより、3 成分の風速場のある領域で求めることができると考えられる。本研究では、そこを目指した。

3. 研究の方法

まずは、適切な回転台を探すことが必要であった。申請時点で想定していたのは、無線アンテナ用の回転台(YAESU G-5500)である。これを用いて、ドップラーソーダシステムを製作した。重量制限はそれほど厳しくないが、それでも、2009 年の試作機にある直径 1m のパラボラは乗らなかったもので、鍋を台にして樹脂のパテで作った直径約 30 cm のパラボラを作った。また、PC からは音波の送受信すなわち再生と録音だけでなく、回転台への移動命令をだして仰角方位角を制御するようにもした。壁などを対象にした実験の結果、台の制御と音響信号の送受信の動作を確認したので、上空へ向けての観測実験を行った。受信信号の周波数解析の結果、非常にノイズが多いが、上空の風によるドップラーシフトの影響を受けてるべき信号もあるようにも思われた。ただし、後の解析により、これはただのノイズであることが判明することとなる。また、この回転台の動作は非常に遅いという問題点も見つかった。さらに、パラボラの重さもあったので、1 年程度の実験ののち回転台も壊れてしまった。

この頃の試作機を図 2 に示す。研究室としては第 5 号機、6 号機になる。6 号機は下のビデオ用回転台、PET 樹脂パラボラを試したものである。



図 2 試作機。左 2013 年度(第 5 号機) 右 2014 年度(第 6 号機)

そこで、動きの速い 2 軸回転台として、ビデオカメラの遠隔制御に用いられる FLIR PTU-46 を導入した。ただし、これにより更に重量制限は厳しくなった。パラボラに関しては、自作を繰り返してきたが、形状精度が十分でなく計算通りの指向性がでないことや、制作に時間がかかり試作が進まないから、PET 樹脂製の市販のパラボラ(Pro-Hobby PBR-5 直径 40 cm)を使用することにした。これは鉄道模型店で集音マイク用に販売されているものである。この時点で以下の問題が見つかった。

- * 当初の 1m のパラボラでは問題にならなかったスピーカ自体による音の反射の影響があり、十分に指向性を出すことができていない。
- * PET 樹脂だけでは音が透過してしまう。
- * バッテリーから AC インバータを通して

て供給される電源系からのノイズが信号に混入している

これらの問題を1つ1つ解決していった。スピーカ自身により音の反射に対しては、まずスピーカを斜めに設置してパラボラの主に半分を使うオフセット法を試したが、パラボラの有効利用面積が減る影響もあり、十分な指向性が得られず、最終的には、スピーカをパラボラ正面からどけて横に配置し、音響パルスを導波管で繋ぐことにより、十分な正面方向の指向性を確保した。PET樹脂製パラボラの音響透過に関しては、パラボラ裏面に最小限の樹脂パテを塗ることで対策した。さらに、電源ノイズに対しては、ACインバータを良質のものに変えるとともに、マイクの出力を通すアンプに、フィルタリング回路を導入し電気的にも遮断するようにした。さらに、必要帯域外の信号が減ったことから、より大きくマイク信号を増幅することができるようになったので、そのための低ノイズアンプも製作した。マイクも手で持つタイプの指向性マイクから、マイク素子だけのものへと変更し、パラボラの障害になりにくいようにした。

このような変更により、指向性は以前の試作機に匹敵するものとなり、電気的なノイズはかなり減少した。システム自体の計測結果からは、十分な感度とノイズの少なさを、必要な指向性を持つことが示され、その上、高速に回転する回転台に何とか搭載できるシステムとなった。図3にパラボラ部分の写真を掲載する。また、この開発の過程で、音響機器を無響室のない環境で計測するための方法も検討した。機器の特性の計測は、壁面等の反射が届く以前のデータだけを取り出して解析し、各アンプ類のゲインや信号の絶対値を計っておくことにより、スピーカとマイクのゲインのみカタログ値を使うことにより、音響信号の絶対値を求めることができた。

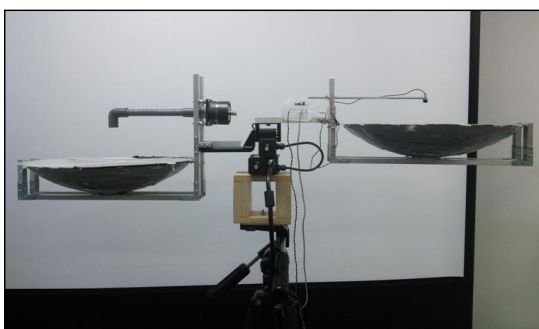


図3 2015年度の試作機(第7号機)

当初予定よりはかなり遅れたが、それなりの機器を製作することができたので、屋外での風速計測に挑んだ。多岐にわたる改良により、ノイズが非常に小さく、受信信号のパワースペクトルはきれいなピークを見せるものになっていたが、残念ながら受

信されたのは発信周波数と同じ周波数を持つ信号であり、その逆2乗で距離減衰する減衰特性と、既往論文の情報を用いて求めた今回の条件で計算される散乱音波の強さに比してかなり大きい値を持つ受信信号であることから、地面または、地上物体による反射音が混入していることが分かった。今回のパラボラは十分な指向性を正面方向では持つが、正面以外の方向、とくに側方での音波の遮断が十分ではなかったのが原因だと考えられる。これに対しては、防音壁の設置や、第4号機、5号機のような非常に深い形状のパラボラにして、無用な方向の音を遮断するなどの対策が必要であると考えられる。今回採用したPET樹脂のパラボラは集音マイク用であり、通常集音マイクでは側方からの弱い音の混入は問題にならないことから浅いパラボラになっていたことが、最終的に問題であった。

4. 研究成果

今回、申請時点での目標であった3次元風速分布を計測するドップラーソーダシステムを開発するところまでは到達できなかった。しかし、その基本となる2軸回転して、いわゆるボリュームスキャン計測の可能な小型ソーダについては、3年間、それなりの予算を用いて開発に取り組んだことにより、ほとんどの問題点を把握し解決することができたと思う。今後も開発を続け、近い将来研究成果を学会等で報告する。

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0件)

〔学会発表〕(計2件)

1. 未松透、玉川一郎「ボリュームスキャン可能なドップラーソーダの開発に向けて」日本気象学会 2015年度秋季大会、2015年10月28日～30日、京都
2. 未松透、玉川一郎「ボリュームスキャン可能なドップラーソーダの開発中間報告」日本気象学会中部支部研究発表会、2014年11月27日～28日、名古屋

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称：
発明者：

権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

玉川 一郎 (Tamagawa Ichiro)
岐阜大学・流域圏科学研究センター・教授
研究者番号：40273198

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：