

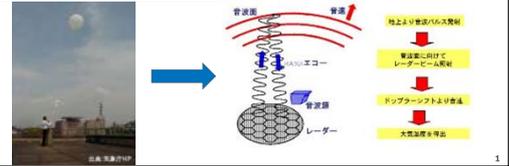
パラメトリックスピーカーを用いた低騒音型RASS 用音源の開発

2018.09.05 14:50-15:10
第12回MURレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム

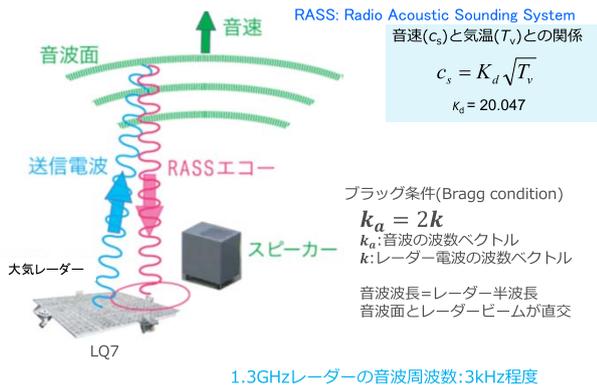
京大大学生存圏研究所 六車 光貴, 橋口 浩之

研究の背景・目的

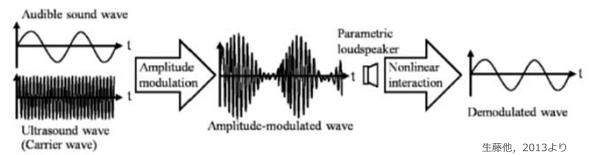
- 上空の気温高度分布を高分解能で観測することは重要である。
→気象現象などの理解が進み、気象の短期予報がより正確となり、ひいては航空機の安全運航などにも寄与すると考えられる。
- RASS(Radio Acoustic Sounding System)を用いた観測はラジオゾンデに比べて高時間分解能で気温の高度分布を測定できるが、騒音問題があり、観測場所が制限される。
- パラメトリックスピーカー（超指向性スピーカー）を使うことで、騒音問題を解決できる。
- 反射型とし、降雨時でも使用できるRASS用音源を開発する。



RASS(電波音波併用)法による気温プロファイルの観測・開発



パラメトリックスピーカー自己復調



超音波の音圧 p_1 [Pa] から放射される二次波 p_s [Pa] は、以下の非同次波動方程式で表される。
AM波 $p_1 = p_0 [1 + mg(t - x/c_0)] e^{-\alpha x} \sin \omega_0 (t - x/c_0)$

$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) p_s = -\frac{\beta}{\rho_0 c_0^3} \frac{\partial^2}{\partial t^2} p_1^2$ (代入)

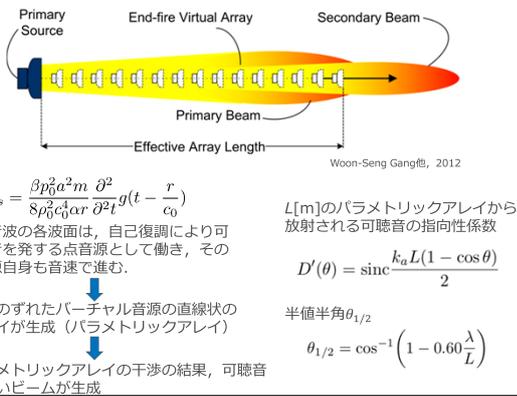
p_0 [Pa]: 超音波初期圧
 x [m]: 音軸距離 $g(t)$: 音響信号
 m : 変調度 α : 吸収係数
 ω_0 [1/s]: 超音波角周波数

β : 非線形パラメーター
 ρ_0 [kg/m³]: 媒質の密度
 c_0 [m/s]: 音速

超音波ビームの断面が半径 a の円形と仮定すると、音軸上距離 x の二次波 p_s は、
$$p_s = \frac{\beta p_0^2 a^2 m}{8 \rho_0^2 c_0^3 \alpha r} \frac{\partial^2}{\partial t^2} g(t - \frac{r}{c_0}) \quad (m \ll 1)$$

二次波の振幅がその周波数の二乗に比例する

パラメトリックスピーカーパラメトリックアレイ



研究内容-使用したスピーカー



防水性なし

スイッチサイエンス社製 超指向性スピーカーキット

搬送波周波数: 41kHz
電気的な変調は周波数変調 (FM)
エネルギー変換素子の超音波送波器との組み合わせにより最終的な超音波出力は単側帯振幅変調 (SSB)

統一条件
入力信号: 正弦波チャープ信号 2.9-3.1kHz, Vpp=1V

予備実験－反射板なし(1458素子)

素子数：1458素子 (650×650×160mm)
 防水性：IPX3相当 (スピーカー表面に撥水メッシュ、スピーカー面を下に向けた場合)



6

反射板材質



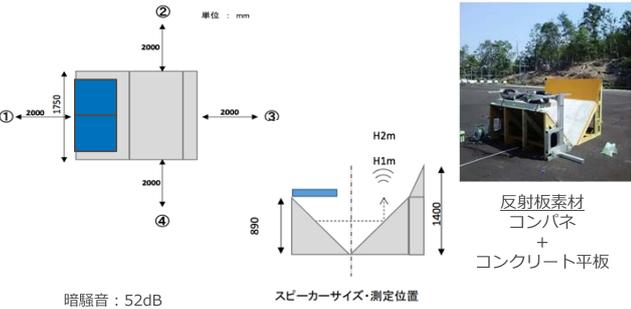
合板のみ



コンクリート平板

7

予備実験－反射板あり(1458素子×2=2916素子)

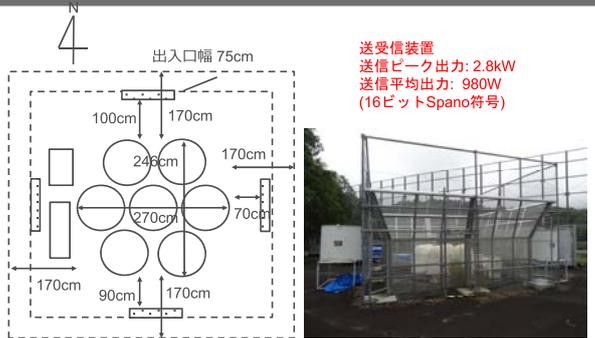


暗騒音：52dB

測定位置	測定位置					
	①	②	③	④	H1m	H2m
音圧[dB]	60	56	64	57	106	106

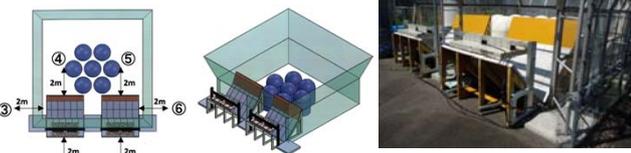
8

ルネベルグレンズ下部対流圏レーダー(LQ-7)



騒音測定－LQ7に設置

1458素子×2=2916素子×2=5832素子



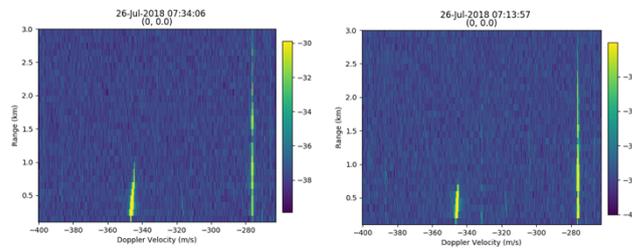
暗騒音：52dB

測定位置	測定位置						
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
音圧[dB]	68	61	66	67	66	65	44

10

RASS観測結果例

7/26 ; ほぼ無風



- 音波周波数のスイープ範囲を狭めて、今考えられる一番S/Nを稼げるパラメータでの観測
- 音圧的には1kmまで届いているようだが、安定的に取れるのは500~600m
- 風の状態によって直交条件が崩れているため風が吹くと観測は厳しいものとなる。

今後の課題・まとめ

- 反射板により防水性のないパラメトリックスピーカーに防水性を持たせることができた。
- 実際にLQ7にスピーカーを設置したところ、音漏れが大きくなった。
←フェンスに音が反射している可能性大。
- 好条件だと高度1kmまでエコーが観測できる。
←気温による適切なスイープ範囲を定める必要あり。

- 風速・気温・スイープ範囲とRASSエコー観測最大高度の関係を調べる。
- スピーカーの最適配置を考える必要もある。
- スピーカーセルの数を減らして、観測高度がどう変わるか見る。
- コントロールとして反射板なしでのRASS観測を行う。

12