

# 2021年3月2日に新千歳空港のドップラーレーダー で観測された低層内部重力波の解析

中村 誠吾・児玉裕樹（気象庁新千歳航空測候所）

## 1. はじめに

新千歳空港（以下、新千歳）では2021年3月2日未明から昼前にかけて空港気象ドップラーレーダー（DRAW）で強い速度シアーが断続的に観測され、シアーラインやマイクロバーストの検知が見られた。特に2日0015UTCではこれらが最も多発しドップラー速度の水平発散・収束が顕著に見られ、新千歳の南北約20 km圏内に広がった（図1）。過去には成田空港で観測・解析された低層内部重力波があり（Kusunoki et al. 2000）、本事例は温暖前線北側や鉛直シアーを伴った安定層の存在といった気象場や、DRAWの観測結果に特徴に類似する点があることから、低層内部重力波が発生した可能性がある。内部重力波は強い水平ウィンドシアーを伴い、航空機の運航に大きな影響を与えることから注目すべき気象である。そ

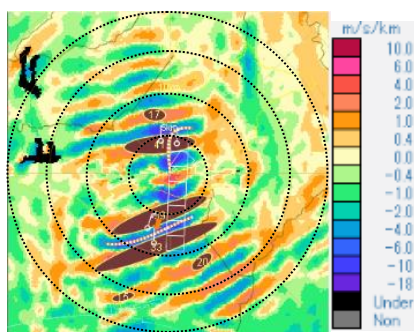


図1：2日0015UTCのDRAW観測による距離方向速度シアー。暖色系は水平発散、寒色系は水平収束。マイクロバースト検知は茶色域で、数値は発散量（水平風速差）、シアーラインは赤白線で示す。また、同心円はDRAWからの距離を表し、5 km毎である。

ここで、本研究では観測された低層内部重力波の特徴や発生・持続要因を調査した。

## 2. 観測された内部重力波の特徴

波の水平構造に着目すると、振幅が最大となった2日00UTCから01UTCを中心に発散・収束の位置がほぼ変わっていなかったことから、波の位相も同様にほとんど停滞していたと考えられる。これは地上の背景風（北風）と波の位相速度（北向き）が相殺していたためと推察される。次に、波の鉛直構造に着目する。振幅がピークを迎えた時刻におけるドップラー速度の分布から、地上から概ね高度0.4 km付近に見られる波の位相に注目すると、鉛直方向に直立、すなわち鉛直方向の波面の傾きがほとんどなかったことが分かる。小倉（2004）によれば、同じ振幅を持って上方に伝播する波と下方に伝播する波が重なった場合は波面の傾きがないことから、本事例においても波の重ね合わせが発生し、その結果波面の傾きがほとんどなくなったと考えられる。

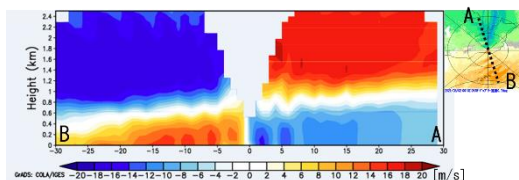


図2：2日0010UTCにおけるドップラー速度の水平・鉛直断面図（中心は新千歳）  
右図のようにAB断面で切っている。暖色系が新千歳から遠ざかる方向、寒色系が近づく方向を表す。横軸はDRAWからの距離で正が北側、負が南側。

### 3. 発生・持続要因

まず、発生要因（波源）について気象庁メソ解析（水平解像度 5km）を用いて考察した。波が観測され始めた 2 日未明から温暖前線に伴う上昇流が北海道の南海上にあり、波の振幅のピークとなった昼前には上昇流が強まり、かつ位置が新千歳に近づいていた。温暖前線の北側には安定層が形成されていたことから、この上昇流が波源となって励起された内部重力波が下層の安定層中を伝播したと考えられる。次に、持続・顕在化要因について考察した。本事例では 2 日未明から昼前に渡って内部重力波が観測された。これに加えて波の重ね合わせが発生していたと考えられることを踏まえると、地上付近にウェーブダクトが形成され、そこに波がトラップされることで、波が顕在化・持続した可能性が高い。このウェーブダクトの形成メカニズムについて議論した。Lindzen and Tung (1976) は、地上付近に内部重力波のウェーブダクトが形成される条件として、①地上付近に安定層が存在、②安定層の厚さが鉛直波長の少なくとも 1/4、③低層の安定層の直上に不安定層もしくは中立に近い層が存在、④中立層や不安定層の中、もしくは上に臨界高度 (Ralph et al. 1993) がある、の 4 つを挙げている。臨界高度とは背景場の風速と波の対地位相速度が一致する高度のことであり、本事例の波は概ね停滞していたことから、南北風速が 0m/s の高度がこれに該当する。また、臨界高度

付近の波の振る舞いは環境場のリチャードソン数 ( $Ri$ ) に依存するとされ、 $Ri < 0.25$  を満たした場合は臨界高度付近で反射される (Lindzen and Ronsenthal 1983)。本発表では①、③、④に合致していたかを局地モデル (LFM: 水平解像度 2km) や札幌高層気象観測データを用いて議論する (図 3)。

温位の鉛直分布から、地上から高度 900m 付近までは鉛直勾配が大きく、安定層が形成されている。また、900m 付近よりも上層は鉛直勾配が小さくなり、比較的中立に近い層が形成されている。したがって、条件①および③は満たしていたといえる。次に条件④について考察する。新千歳周辺での臨界高度は 600m から 900m 付近に形成されていた。また、札幌高層データから臨界高度付近の  $Ri$  を求めると、2 日 00UTC では  $Ri < 0.25$  であり、臨界高度付近での波の反射条件を満たしていた。しかし、臨界高度は安定層の中に存在していたため、臨界高度の位置は条件④と一致するとはいいにくい。

以上より、地上付近においてウェーブダクトが形成され、内部重力波がダクト内にトラップされることで、顕在化および持続した可能性はあるが、臨界高度の位置は先行研究と一致しない点もあるため、鉛直解像度がより高いデータを使用した解析等が必要と考える。

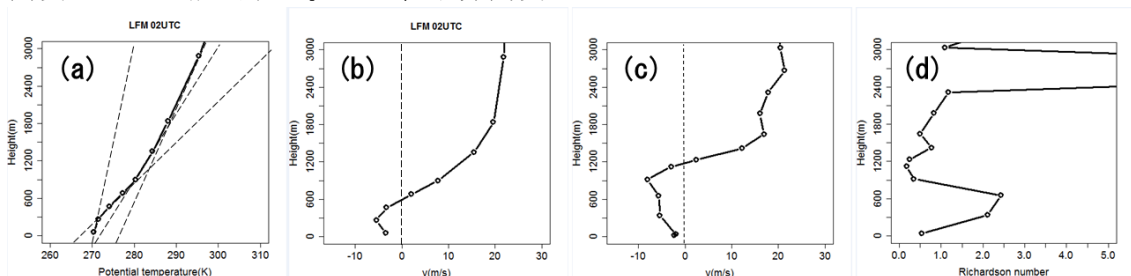


図 3 : 2 日 00UTC における各物理量の鉛直分布 (a) 温位、(b) 南北風速、(c) 札幌の南北風速、(d) 札幌のリチャードソン数 (a)、(b) は新千歳を中心とした半径 10km の格子平均値 (LFM)、(c)、(d) は札幌高層気象観測データ。縦軸は高度 (m)。破線は温位の鉛直勾配や南北風速 0m/s を示す。