



HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|------------------|---|
| Title | 地ふぶき時の粗度の増加について |
| Author(s) | 菊地, 時夫; KIKUCHI, Tokio; 石田, 完 他 |
| Citation | 低温科学. 物理篇, 34, 87-91 |
| Issue Date | 1977-03-25 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/18301 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 34_p87-91.pdf |



地ふぶき時の粗度の増加について*

菊地時夫

(北海道大学大学院 理学研究科)

石田完

(低温科学研究所)

(昭和51年10月受理)

I. ま え が き

地ふぶきや飛砂の起っている時には、起っていない時と比べて、風速による摩擦応力¹⁾や粘性消散率²⁾の増加の割合が大きくなることが観測されている。これは跳躍運動する粒子の存在によって表面の粗度が増加したためと考えられる。風速の測定より得られる表面粗度 z_0 は空気力学的に粗い面であれば、粗度要素の大きさに比例することが知られている³⁾。また Bagnold⁴⁾によれば、粒子の鉛直方向への初速は摩擦速度 u_* に比例すると考えられる。とすれば、簡単な考察により $z_0 \propto u_*^2/2g$ (g は重力の加速度)という関係が導かれる。ここではこの点に注目して、地ふぶきの起っている時に得られた風速の鉛直分布のデータを解析した。

II. 測 定

測定は、1974年1月24日から2月2日まで江別市野幌の一農場で、また3月13日に本研究科北側の北海道大学農場で行なった。両方の農場とも観測地点から主風向である北西方向に、約500m平坦に広がっている。測定に用いた風速計は三杯型(牧野, AC-750 P)5個で、器差をなくすため測定前に風洞で検定してある。これらの風速計を略対数の間隔で6mの支柱に取り付けて風速分布を測定した。風速測定の際の平均化時間は4分から30分にまでわたっているが、解析にはそのまま使用した。

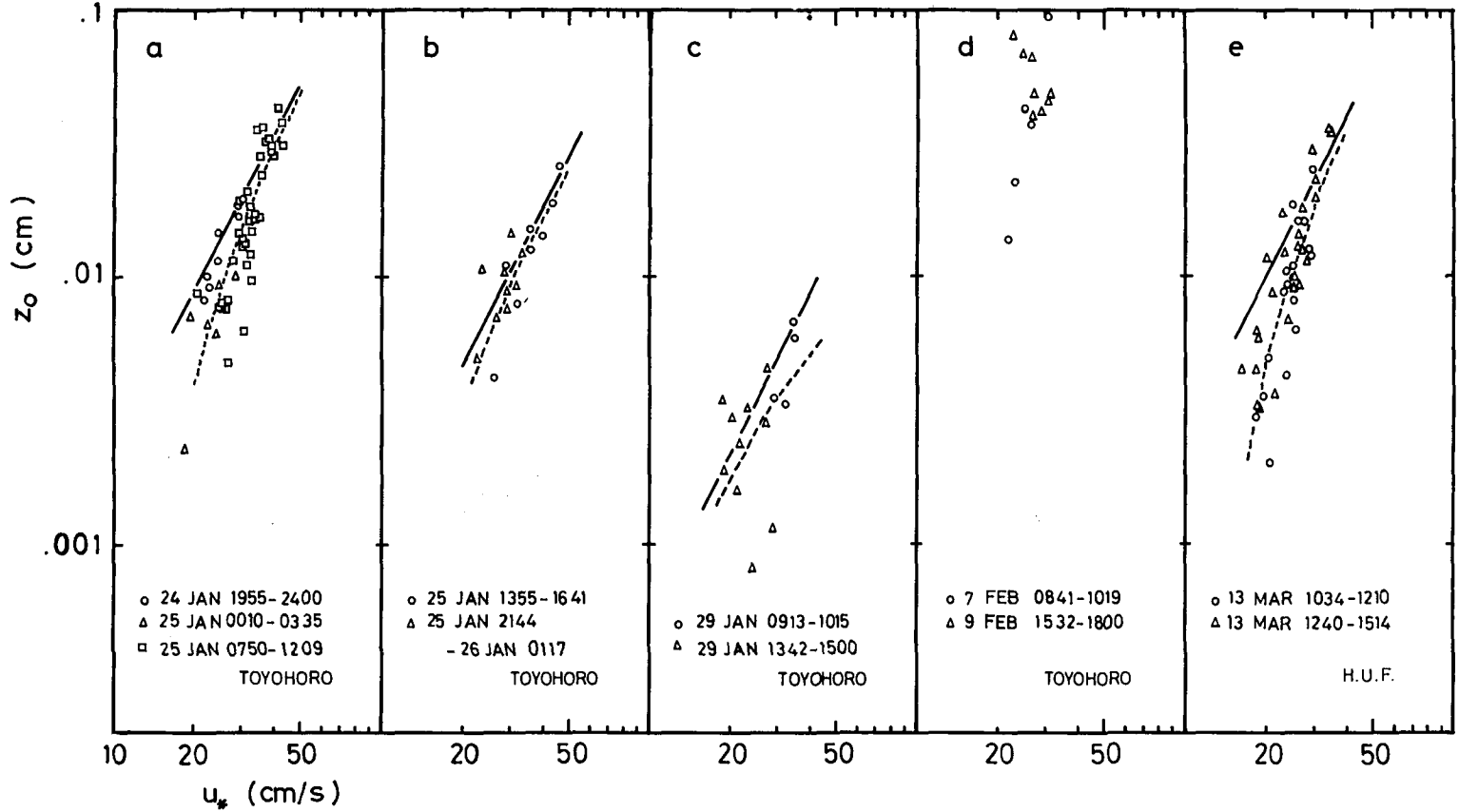
III. 解析及び結果

大気の安定度が中立状態の時、風速分布 $U(z)$ は対数法則

$$U(z) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0} \quad (1)$$

に従うことが知られている。但し k はカルマン定数(=0.4)である。摩擦速度 u_* は $\sqrt{\tau/\rho}$ (τ は摩擦応力, ρ は空気の密度)で定義されるが、地ふぶき時のような強風時には、 τ をレイノルズ応力から求めたもの(渦相関法)と一致することが確かめられている⁵⁾。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1783号



第1図 粗度定数 z_0 と摩擦速度 u_* の関係, 実線は $z_0 \propto u_*^2$, 破線は (3) 式

各々の風速分布測定から、最小自乗法によって u_* と z_0 を求め、両対数紙にプロットしたのが第1図である。得られたデータ全部をひとつの図にするとばらつきが大きくなるが、ひと続きの地ふぶきについてのデータをまとめるとかなりまとまって変化のようすがわかるようになった。これは地ふぶきの様相が、雪面の状態によって微妙に影響されるためと考えられる。第1図には5つのグループに分けて示してある。(a)は1月24日晚から25日朝にかけて、(b)は25日午後から晩にかけて、(c)は地ふぶきが続いて固くなった雪面で1月29日に起ったもの、(d)はサスツルギが侵蝕されて凹凸の激しい雪面で2月7日と9日に起ったもの、(e)は3月13日に新雪の積った翌朝に地ふぶきが起ったものである。(d)を除いた図には、比較のため $z_0 \propto u_*^2$ の関係を実線で示してある。

ところで、Bagnold⁴⁾ は飛砂のあるときの速度分布を

$$\dot{U}(z) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_i} + U_i \tag{2}$$

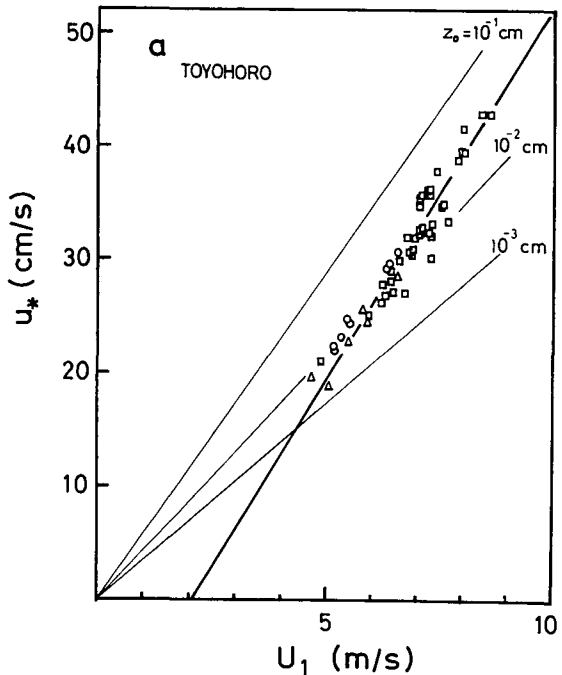
の形に表わしている。これはある一定の高さ z_i での風速 U_i が一定であることを示し、彼の測定では、 $z_i = 3 \text{ mm}$ 、 $U_i = 2.5 \text{ m/s}$ であった。(2)式と(1)式を比べると、これは z_0 の増加を

$$z_0 = z_i \exp \left[-\frac{kU_i}{u_*} \right] \tag{3}$$

の形で表わしたことに相当することがわかる。(2)式は、高さ z を固定すれば、 U と u_* の間の関係式と見ることができる。(2)式を用いて、 U_1 (高さ1 mの風速) と u_* の関係を最小自乗近似し(例：第2図)、各々のグループについて U_1 と z_0 を求め、(3)式に従って第1図に破線で示した。第1図を見ると、雪面が硬い時を除いて、 z_0 は u_* とともに増大するが、その傾きは2よりも大きく、どちらかといえば(3)式でよく表わされている。

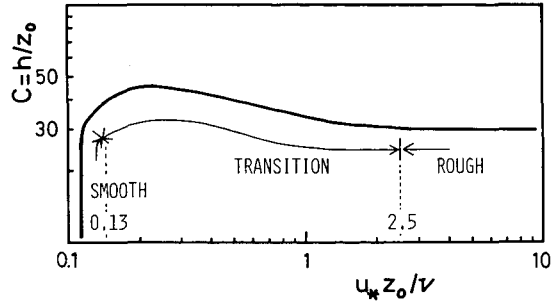
傾きが2よりも大きくなる点について、二、三の観点から考察を加えてみた。第一に、測定の誤差であるが、このような解析に影響を与えるのは風速計の高さの系統的な誤差である。特に風速の小さい時の z_0 の計算では誤差が大きくなる。しかし、全部の風速計の高さが仮に5 cmの誤差をもっていたとして試算してみたが、 u_* につく指数は5%程度影響されるにすぎなかった。従って測定の誤差は除外して考えられるだろう。

次に、地ふぶきを起している雪面が



第2図 摩擦速度 u_* と高さ1 mの風速 U_1 の関係。記号は第1図(a)に同じ。実線は(2)式による回帰直線

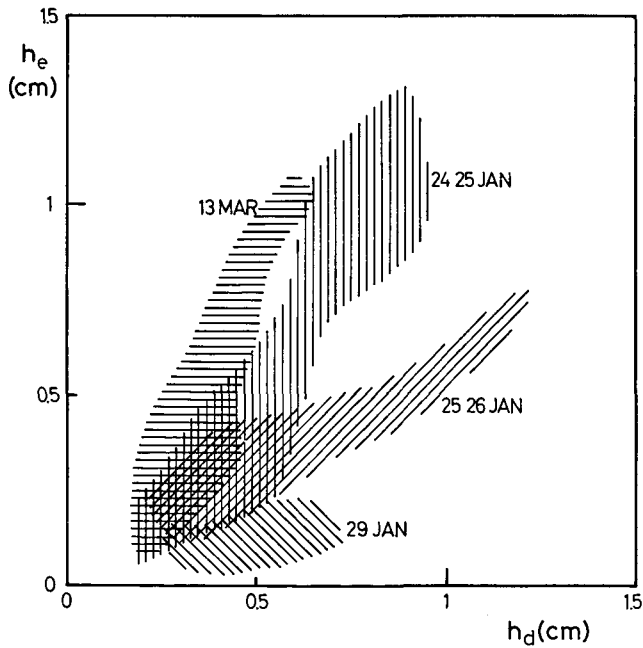
空気力学的に粗面であるかどうかを検討してみた。Nikuradse (Monin and Yaglon³⁾ 参照) によれば, u_*z_0/ν (ν は空気の動粘性係数) が 2.5 以上であれば, 表面は空気力学的に粗であり, z_0 は粗度要素の高さ h に比例するとしている。しかし, 第 3 図に示すように, u_*z_0/ν が 1 以上であれば, 10% 程度の範囲で比例していると見てさしつかえないだろう。今, 得られたデータを検討してみると, (c) の



第 3 図 u_*z_0/ν と h/z_0 の関係。Nikuradse の結果³⁾ より横軸を u_*h/ν から u_*z_0/ν に直したもの

場合を除いて, 1 以上であった。また h/z_0 の変化の割合は滑面から粗面への転移状態でも非常にゆっくりしているので, 第 1 図に示したような大きなずれは起きないと考えられる。

最後に, 第 3 図に示す $C(u_*z_0/\nu) = h/z_0$ を用いて, 観測された z_0 に相当する粗度要素の高さ h_e を求めてみた。これを, 粒子の初速が u_* に等しいと仮定した時の地ふぶきの高さ $h_d = u_*^2/2g$ と比べたのが第 4 図である。 h_e と h_d はかなり値がばらつくが, それぞれ 1~2 mm から 1.5 cm 以下に入っている。「実際, 飛雪粒子はほとんど 1 cm 以内のところに集中し」ていることが大浦ら⁶⁾ によって報告されており, これらの値は実際の地ふぶきの高さとかかなりよく対応しているものと思われる。定義から考えて, h_d は地ふぶきの平均的な高さに近いと思われる。一方, 地ふぶきの高さが同じであっても, 飛雪粒子の空間密度や雪面と粒子との摩擦係数によって粗度は変わってくるだろう。 z_0 から求めた h_e はこのような効果を含んでいる。したがっ



第 4 図 $h_d = u_*^2/2g$ と $h_e = C(u_*z_0/\nu) \cdot z_0$ の関係

て、各々のグループについて h_e と h_d が単なる比例関係でなしに、むしろ $h_e \propto (h_d - \text{定数})$ の関係になっているのは、地ふぶきがある風速にならなければ起こらないことに対応していると思われる。また、これは第1図の(a)や(e)が2乗からずれていて、Bagnoldの式(3)の方が有効であることに対応している。

IV. あとがき

地ふぶき時の z_0 は u_*^2 に比例しているのではないかという考えから出発して、風速分布の解析をおこなった。結果はやや否定的であったが、その原因は地ふぶきがある風速に達しなければ起きないことに関連している。 h_e と h_d の関係はばらつきが大きい、直線的な関係にあった。雪面の状態に対応して、第4図の各グループの傾きが違っているが、この問題に関しては、雪面の物理的性質、履歴効果あるいは飛雪の空間密度等についての知識を必要とする。今後風洞実験をまじえて、この問題を追求していきたい。

この研究に際し、前野紀一助教授、小林俊一助手をはじめ多くの方々から有益な助言をいただいたこと、また観測に際して国立極地研究所西尾文彦氏の援助を受けたことを記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) 大浦浩文・小林大二・小林俊一 1967 地ふぶき時における風速の垂直分布特性 I. 低温科学, 物理篇, 25, 78-88.
- 2) 西尾文彦・石田 完 1973 地ふぶきにおける乱れのエネルギー消散率. 低温科学, 物理篇, 31, 69-85.
- 3) Monin, A. S. and Yaglom, A. M. 1971 Statistical fluid mechanics. Vol. 1, MIT Press, 769 pp.
- 4) Bagnold, R. A. 1954 The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. Methuen, 265 pp.
- 5) 菊地時夫・石田 完 1976 雪面上でのレイノルズ応力の測定. 低温科学, 物理篇, 34,
- 6) 大浦浩文・小林大二・小林俊一 1968 地ふぶき時における風速の垂直分布特性. II. 低温科学, 物理篇, 26, 315-328.

Summary

This paper describes the observed relations between roughness length z_0 and friction velocity u_* during drifting snow. A rather simplified consideration leads to the relation $z_0 \propto u_*^2/2g$, but present data supported Bagnold's empirical relation (2) or relation (3) which was derived by transforming (2) into the $z_0 - u_*$ relation. It is possible that this discrepancy is relevant to the onset of drifting snow, which was inferred from the relations between the effective roughness height $h_e = C(u_* z_0 / \nu) z_0$, and the height of drifting snow h_d calculated on the assumption that the initial upward velocity of snow particles is equal to the friction velocity. Variations in the slope of h_e are, possibly, caused by the snow surface conditions.