

ホワイトアウトと雪粒子

Snow particles on the whiteout

竹内政夫 (NPO 法人 雪氷ネットワーク)
Masao Takeuchi

1. まえがき

吹雪などで視界が白一色になる状態をホワイトアウトと呼ぶが、最近吹雪時の道路交通の安全や事故に関連してマスコミなどでこの語は頻繁に使われるようになった。

しかしホワイトアウトを物理的に満足に説明したものは見当たらず、その実態は曖昧なままである。また吹雪とは関係なくホワイトアウトという語は古くからある。ホワイトアウトには二つの現象があるが、空中か地表かの違いはあるが双方に共通して雪粒子の存在が重要な役割を果たしている。ここでは二つのホワイトアウトとそれをもたらず雪粒子の関わり、及び視程との関わりについて述べる。

2. 二つのホワイトアウト

(1) 空中に雪粒子がなくても現れるホワイトアウト

語源になっているタイプのホワイトアウトは空中の雪粒子の存在は必須なものではない。幾つかの気象や雪氷の辞典・用語集の中から調べた中で分かりやすかったものを、以下全文を紹介する。A term applied to that condition in which the contours and natural landmarks in a snow-covered region become indistinguishable. The associated meteorological conditions appear to be a uniform layer of relatively low cloud; under such conditions the light which reaches the surface arrives in nearly equal measure from all directions, with a resulting absence of shadows.

若干補足説明すると、空中に吹雪や降雪などの雪粒子が存在しなくても、光が地表の雪粒子や雲によって乱反射（散乱）して、雪で覆われた地物や地形の輪郭がぼやけ識別できなくなる状況を指している。筆者は未経験であるが、視界全体がまぶしいような光に満ちて、高低や方向の感覚が失われ体が浮き上がったような感覚になるといわれる。地物の輪郭が失われるのは鏡面反射とは異なり雪面上の無数の雪粒子が入射光を多方向に乱反射（拡散反射）することで、更に雲に反射した光も混じえて、全方向に光は一様な強さになり陰影が消えるからであるこのタイプのホワイトアウトではもし視界の中に雪以外の人や地物があれば、それらの表面では乱反射せず輪郭がぼやけることは無いので見えることになる。気象学で定義されるように視程板を連続的に配置して測定される視程は大きければ数 km はあると想像される。雪山で凹凸がぼやけ立体感が失われる現象は経験することか、視界全体が雪で覆われていて気象条件が合えば身近なところでも発生している可能性はあることになる。

(2) 吹雪や降雪によってもたらされるホワイトアウト

新旧雪氷辞典(雪氷学会編)ではホワイトアウトの説明の中に、「吹雪などで視界が悪い場合についてもいう」といった付け足し扱いで述べられている²⁾。逆に USA Today のように「Winter weather glossary」では、このタイプのものだけが取り上げられ、次のように述べられている。

A condition caused by falling and/or blowing snow that reduces visibility to nothing or zero miles ; typically only a few feet. Whiteouts can occur rapidly often blinding motorists and creating chain-reaction crashes involving multiple vehicles. Whiteouts are most frequent during blizzards. (US Today Weather Winter weather glossary Winter weather definitions) アメリカらしく道路交通との関わりを重視して、視程0マイルなどのように視程をベースに表現している。特にホワイトアウトが急に発生し多重衝突事故をもたらすという記述は、吹雪時に多重衝突事故を含む視界不良事故が多い北海道の事情と重なる。しかしホワイトアウトを視程だけで表現することには疑問がある。余談であるがホワイトアウトを「白い闇」と訳してきたが、何故か英語表現ではどちらのタイプにも white の語が無い。次節からは、吹雪によって発生する第2のタイプのホワイトアウトについて述べる。

3 . ホワイトアウトと視程

(1) 視程と雪粒子

光を乱反射する雪粒子の光学的性質が第1のタイプのホワイトアウトをもたらしているが、視程にも雪粒子が係わっている。気象分野で扱う視程の多くは空中浮遊物が霧や雲の場合である。そこでは視程は空中浮遊物による光の消散係数（空中浮遊物の濃度に比例）に反比例する。吹雪時の視程の研究では、雪粒子が目に見える大きさであることが視程に大きな影響を与えていることが知られている³⁾。霧などの粒子は光の波長より大きい粒子が識別できる程ではなく、光は Mie 散乱によって消散される。光学的にはサイズの大きい雪粒子では幾何光学である光の反射（遮蔽）によって光は消散する。雪による視程も光の消散（雪の空間濃度）に反比例するが、この関係は図1のように視程が悪くなるにつれてより視程が悪化するほうに外れる傾向がある。雪粒子が知覚され残像となって尾を引いて見えることが視程をより悪くしていきと考えた³⁾。残像の影響は、雪の空間濃度と眼の高さでの風速の積をフラックスとして視程との関係を示したのが図2である。雪の動きが影響しない空間濃度と視程の図と比べると、降雪、吹雪のように現象の違いを超えて良い関係になる。間接的ではあるが残像の影響を示唆している。このように視程は光の物理だけでなく目の生理・心理的機能が係わるため、雪粒子が目に見えるサイズであることの視程におよぼす影響は小さくない。

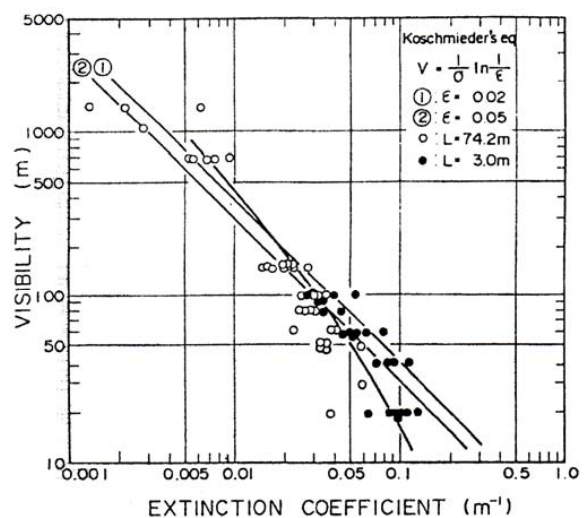


図1. 視程と光の消散係数

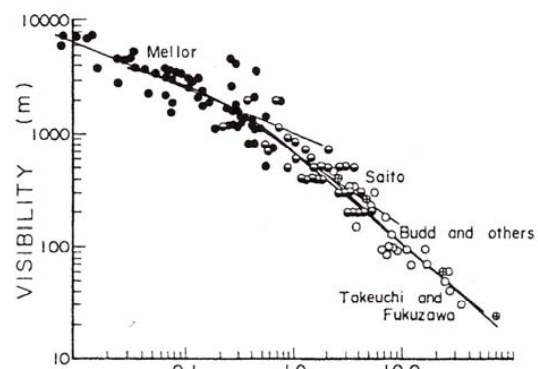


図2. 視程と雪の移動量³⁾

(2) ホワイトアウトの実体は？

前方の見通し距離は視程 (m) で表され、US Today はホワイトアウトを *nothing* ~ 0 mile や数フィートというように視程で表している。そこで視程計による実測と写真観測によってホワイトアウトと視程との関係について調べた。歩行者から見たホワイトアウトは北海道警察、車両の中から見たものは寒地土木研究所から提供された写真と視程観測データによった。

(イ) 歩行者が見たホワイトアウト

屋外で撮影中にホワイトアウトに遭遇した時の状況を撮影したのが写真 1 である。撮影者米田和広氏 (北海道警察交通企画課) のコメントは以下の通りである。「動画撮影中に徐々に視界が悪くなり、悪いときは視界が殆どない状況でした。写真は 1 分間撮影した動画からの切取写真です。写真で見ると状況は思った程ではありません」。路面近くの高さは識別し難いのは吹雪の特徴であるが、目線の高さでは約 50 ~ 60 m 先の家屋などが写っている。眼とカメラの性能の違いもあるが、少なくとも被写体からの光は十分に届いているが目はそれを識別していないことになる。吹雪の中では顔をあげて前を向くことも難しくなるが、激しく舞う間近な雪粒子に焦点が合うことでその先の地物は見えなくなることも考えられる。夜のドライブでは間近な雪粒子の影響が特に強調される。前照灯の光を反射してできる強く輝く雪粒子の幕に目がくらまされ、その先の地物が見えなくなり、光を消すと意外に遠くまで良く見えることもある。



写真 1 歩行者が遭遇したホワイトアウト

吹雪時のドライブでは長時間連続してホワイトアウトが続くことは稀であるが、短時間・瞬間的に視界が白一色になることは少なくない。しかし歩行者の場合と同様、写真に撮ると意外に車や地物が写っていることが多い。視程が 0 であればホワイトアウトになるのは分かるが、実体はどうなのかを知りたいと思っていた。移動する車中から視程の測定と写真を同時連続測定している⁴⁾ 寒地土木研究所から提供されたデータで調べた。視程計には 111 m と記録されていたときの写真 2 にはスノーポール以外は何も見えていない。ドライバーは雪粒子の影響を受けるので、スノーポールを探しながら走れる状態ではほぼホワイトアウトの状態であった。



写真 2 車中から見たホワイトアウト

(3) ホワイトアウトと顕在視程

歩行者やドライバーが視程と感じているのは、雪と識別できる最も近い地物までの距離で、本来見えるべき気象学上の視程と比べると小さい。気象できる気象学上の視程と、ドライバー等の感ずる視程は異なり地物の有無や性状など周囲の視環境に大きく依存する。前者を潜在視程とし後者を顕在視程と呼ぶことができる⁵⁾。特に吹雪時には跳び出す飛雪粒子で雪の凹凸輪郭がぼけるため、視程は数百 m あっても、白い雪や全天雲の空の下ではホワイトアウトになりやすい。吹雪の中のドライブではフロントガラスに吹き付ける雪粒子に目が奪われ瞬間的に先を注視できなくなることや、急に森林を抜けて広い牧草地に入るなどのように視環境の急な悪化がホワイトアウトをもたらす。ホワイトアウトは顕在視程 0 で現れるのはタイプ 1 でも同様である。

4. まとめ

ホワイトアウトを対象とした研究は殆どなく、その実体は不明のままであった。この報告は、写真と視程からその実体を研究したもので緻密さには欠けるがあるが、以下のように視程と雪粒子の関わりなどホワイトアウトの一旦を示すことができた。

- 1) 視程は対象物からの光が減衰し目を刺激しなくなるか、周囲の明るさと区別がつかなくなるまでの距離であり数値単位 (m) で表現できる物理量である。
- 2) ホワイトアウトは視程に加えて、物理量では表されない雪粒子の大きさや動きに人間の目が受ける心理・生理的影響や周囲の視環境が大きく影響する。
- 3) ホワイトアウトは顕在視程が 0 の状態である。

ここでは、「ホワイトアウトは視界が白一色になる現象であり、吹雪や降雪時に視程より近い距離に雪と識別できる地物が無い（顕在視程 0）ときに発生する。」と定義したい。

5. あとがき

視界不良事故防止や交通の視程障害対策には、スノーポール等の視線誘導のように視程を顕在化することや、ホワイトアウトの発生要因や実体を把握し発生しやすい危険箇所を検知・抽出しすることが重要であり、今後の本格的な研究が望まれる。ホワイトアウトは吹雪の中で短時間に発生するため、遭遇し観測することはもとよりデータ取得は非常に難しい。この研究は北海道警察交通企画課米田和広氏および寒地土木研究所雪氷チーム武知洋太氏から借用したデータを使って初めて可能になった。記して感謝する。

【参考・引用文献】

- 1) D. H. McIntosh, 1972, white-out, *Meteorological Glossary*, 314-315.
- 2) USA Today, 1997: Whiteout, *Winter weather definitions*.
- 3) 竹内政夫・福澤義文, 1976: 吹雪時における光の減衰と視程, *雪氷*, **38**, 9-13.
- 4) 武知洋太, 松澤勝, 伊東靖彦, 國分徹哉, 2015, 吹雪時の視程低下に及ぼす沿道環境条件の影響について - 吹雪時の移動気象観測事例より -, *北海道の雪氷*, **34**.
- 5) 竹内政夫, 1980, 吹雪時の視程に関する研究, *土木試験所報告*, **74**, 31pp.