

農地保全を目的とした風食の発生メカニズムの解明

Elucidation of wind erosion mechanism for the purpose of farmland conservation

鈴木 純

Jun SUZUKI

1. はじめに

砂塵は強風により地表から離脱した土の粒である。風食による砂塵の発生は農業生産の基盤である表土の亡失を意味する。オーストラリアでは風食が発生した地域の生産ポテンシャルは低下する一方、風下で砂塵が沈降すると生産は増えるだろうと予測されることがある。世界規模でみると、水食よりも風食による土砂移動が多いという報告がある。風食に伴う砂嵐で視界不良となったことが原因とされる交通死亡事故が報道され、問題提起されることがある。しかしながら農業側、つまり農家などがこの対応を必ずしも積極的に行ってはいないように見える。その理由としては、例えば日本は作土が比較的厚く、年間数 mm 厚さの作土の亡失はそれほど営農に影響を及ぼさないと考えるからであるとともに、とても手に負えないと考えるからだと思う。

風食をテーマにした研究は比較的進めやすいと筆者は考えている。wind erosionなどで検索すれば容易に最新の研究成果が検索できる。これは、風食にはまだ不明瞭な事柄が少なくないことを表しているからだと思う。一方で、風食を抑制しようとする技術開発に関する成果は多くはない。例えば散水による砂塵の抑制に関しては、降雨後の好天・強風時には当日中に砂塵が飛び始めることもあり、十分に技術が確立しているとはいえない。研究テーマにはよいが技術開発は困難である。この理由は、水食が水流、地形勾配、土質などの条件がそろった「場」で発生するのに対して、風食は、土の粒（以下、土粒と記す）の質量（密度）、風速の条件がそろった広大な「空間」においてどこでも発生する可能性があるという対応の困難さにあると考えられる。

2. 風食の実態

2.1. 砂塵の実態 長野県塩尻市の圃場で地上高さ 1.2m に水平に設置した塩び管で採取した砂塵を水中篩別したデータを示した図-1 によれば、砂塵のうち 0.020mm ふるいを通過する土粒は 12.6%、0.005mm より小さな粒は 0.4%含まれることがわかる。

2.2. 風食のメカニズム-釣り合い 土粒が地表面で移動し、地表面から離脱して、転動、跳躍や浮遊（飛遊）の形態をとるかは、土粒に働く力の釣り合い（図-2）に起因する。この釣り合いには、土の粒の質量（重力）と風の力の影響が大きい。

3. 地表面上の微細な土粒に働く力

3.1. 土粒密度（Suzuki, 投稿中） 砂塵の土粒は微細でも多くが団粒である。内部に間隙を有する団粒の密度を求めるためには団粒の外縁の体積が必要である。Suzuki and Matsuoka (2020)は画分した団粒の粒径別の密度 ρ_p を式(1)で求める土粒密度測定法を提案した。

$$\rho_p = \frac{V_s}{V_s + V_{wi}} \rho_s + \frac{V w_i}{V_s + V_{wi}} \rho_w \quad \dots (1)$$

式(1)の適用により、東日本各地の乾燥土粒密度は 1.1~1.6g/cm³ 程度の値を得ている。なお、単粒である砂の場合、

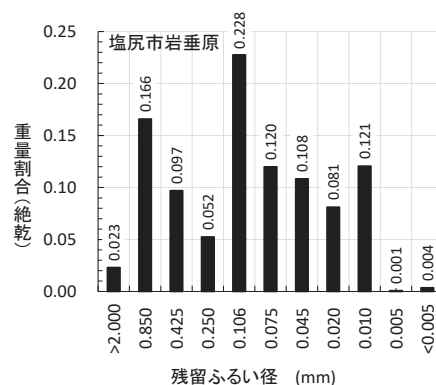


図 1. 砂塵の粒径構成 sand-dust size distribution collected at 1.2m above ground at Shiojiri, Nagano

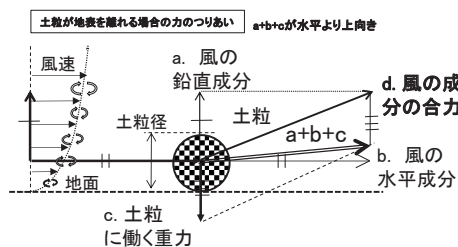


図 2. 微細な土の粒に働く力の釣り合い force balance on finer soil grain

粒状が球であれば土粒密度と土粒子密度は一致すると考えられる。試験の確認のために実施した豊浦砂は土粒子密度が 2.6g/cm^3 に対して土粒密度は $2.78\sim 2.84\text{g/cm}^3$ が得られた。一方、鳥取砂丘は $3.63\sim 3.71\text{g/cm}^3$ となった。豊浦砂は両者がほぼ等しいが、鳥取砂丘砂では過大評価している。これは、土粒を球と仮定したことによる土粒体積の過小評価が原因であると考えられる。

3.2. 土粒密度と地表で動き始める風速 (Suzuki and al. 投稿中) 上述したように、東日本各地の乾燥土粒密度は $1.1\sim 1.6\text{g/cm}^3$ 程度の値を得ている。これに対して、和歌山県田辺市のミカン畑で採取した土粒密度は $1.68\sim 2.46\text{g/cm}^3$ が得られた。鈴木ら(2021)は、この密度の違いが、砂塵の発生は関東地方をはじめとする東日本の各地で顕著である一方、西日本ではあまり聞かれることはない理由であると結論付けている。

3.3. 土粒に働く風の要素—限界摩擦速度 u_{*crit} 地表面で土の粒が動き始める駆動力は風によるせん断力であることは明らかである。風の基本的理論と上述の土粒密度から、土粒が動き始める限界摩擦速度と土の密度の関係について検討する。地表面を土粒が動き始めるときの風の影響として、式(2)で表される Bagnold (1941) の限界摩擦速度 u_{*crit} で評価する。

$$u_{*crit} = A \sqrt{\frac{(\rho_p - \rho_a)gD_p}{\rho_a}} \quad \dots (2)$$

一般に大気が中立状態の時の滑らかな地表面上を吹く風のプロファイルは式(3)で表される。

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_M} \quad \dots (3)$$

式(3)を摩擦速度 u_* について解くと、 u_* に等しい平均風速 $u(z)$ の高さ z は、粗度 z_M の 1.5 倍と一致することがわかる。この関係から土粒が動き始めるときの風速を評価する。図3は土粒の密度、粒径と限界摩擦速度の関係を表したもので、図中に摩擦速度 u_* が 0.4 までを拡大した。破線は高さ 1.8m の平均風速 $u(1.8)$ に対する裸地の u_* で、この線の下位に位置する土粒は動き始めると考える。図3によると、 $u(1.8)$ が 2m/s では粒径が $0.05\sim 1.0\text{mm}$ の土粒のいずれも動かないが、 2.5m/s を超えると 0.05mm の土粒は密度が $1.1\sim 2.5\text{g/cm}^3$ のいずれも動き始め、 0.1mm の土粒は風乾時で密度が 1.1g/cm^3 の場合だけが動く。これらの結果のとおり同一粒径の土粒に同一の風が作用するとき、土粒が動き始めるかは密度に左右されることがわかる。これは、乾燥土粒密度の差異(地域性)とともに含水状態による土粒密度の差異(乾燥状態)も土粒が動き始めるかにかかわっていることを表している。

4. 風食の解決に向けた工学的対応

3.で検討した地域の土粒密度と土粒子密度の関係から土粒内部には土粒体積の 50%を超える空隙を有していることがわかる。筆者らは現在、この土粒内部の空隙に鉱物質の微粒子を含侵して空隙の一部に充填することによって土粒密度を高めることに挑戦している。鉱物質の微粒子を採用する理由は、土粒の密度を大きく改良した効果の、長期間の持続を期待するからである。土粒内部空隙の一部を充填する資材としては、長野県諏訪地方の伝統産業である寒天の搾りかす-主な原料はパーライトや、北海道の主要産業である甜菜製糖業で排出されるライムケーキ-主な原料は炭酸カルシウム、などの食品系廃棄物を中心に検討している。広大な空間から発生する砂塵の抑制には、ほかに草生、散水などの多様な技術を組み合わせなければならない。

本研究の一部は科研費 18K05877(2018-20, 代表:鈴木)ならびに A-Step JPMJTM20DX(2020-21, 代表:鈴木)によって遂行された

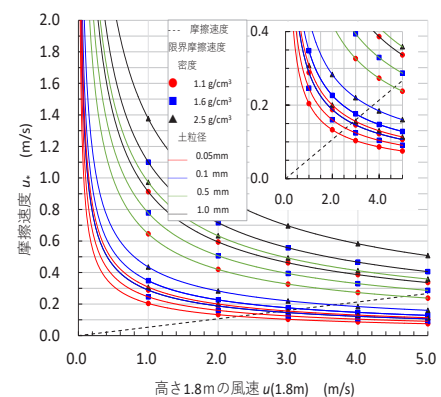


図3. 風速と土粒密度、粒径と限界摩擦速度 Wind velocity and critical friction velocity with soil grain density and size

*信州大学農学部 Faculty of Agriculture, Shinshu University
キーワード: 限界摩擦速度, 砂塵, 微細な土の粒, 密度,