

モンゴル半乾燥地に自生する薬用植物カンゾウの 植生回復効果に関する重回帰分析

九州大学工学部 学 ○前田一哉

九州大学大学院工学研究院 正 安福規之 正 石蔵良平 正 古川全太郎

1. 研究の背景と目的

近年、全世界で砂漠化が進行しており、特にアジアは砂漠化の進行面積が最も大きい。よって、アジアの持続可能な砂漠化対策は急務となっている。

上記の問題を改善することを目標として、絶滅危惧種である薬用植物カンゾウ (写真-1) を用いた付加価値の高い持続可能な砂漠化対策技術の確立を目指している。

これらの背景から、アジアで特に砂漠化に対する脆弱性が高いモンゴル半乾燥地の持続可能な砂漠化対策の提案のため、保水性・保肥性に優れた緑化土質材料 (Greening Soil Material, 以下 GSM) (写真-1) の開発に取り組んでいる。

これまでの現地調査や生育実験により、生存率を高める可能性のある地盤の化学的・物理的パラメーターを抽出している²⁾。それらのデータを踏まえ、重回帰分析を採用し、各地盤環境パラメーターを説明変数としたカンゾウの生存率評価式を提案した。



写真-1 カンゾウと緑化土質材料 (GSM)

2. 緑化土質材料 (GSM) の概要と分析条件

緑化土質材料 (GSM) とは、モンゴル半乾燥地の砂質土と培養土、及び乾燥家畜糞を混合したものである。実験に使用した GSM の条件を表-1 に示す。GSM 内の砂質土に乾燥家畜糞を混合させ、その体積に対する乾燥家畜糞の割合を 20% とする。また、地表面の被覆 (マルチング)、生分解性プラスチックによる被覆を施した。実施期間を 1 年 3 ヶ月 (以下 year=1.25)、および 3 ヶ月 (以下 year=0.25) として、GSM 内に植えたカンゾウの種の生存率を計測した。GSM1 つあたりカンゾウの種は 100 個入っており、カンゾウの種 1 つあたりの GSM 体積は 433.33 (cm³) ~ 980 (cm³) である。

表-1 各種パラメーターと単位

| Variable number | Parameter | Unit | Variable number | Parameter | Unit |
|-----------------|-------------------------------|-----------------|---------------------------------|--------------|----------|
| X ₁ | Volume per root | cm ³ | X ₄ | pH | |
| X ₂ | Average water content | % | X ₅ | EC | mS/cm |
| X ₃ | Average CaCO ₃ -Ca | g/kgdry | X ₆ ~X ₁₀ | Various ions | mg/kgdry |

分析に用いた各種パラメーター X₁~X₁₀ の 10 種類を選定した。それぞれの条件の詳細は表-1 の通りである。

X₆~X₁₀ の各種イオンは植物生育に必要な微量元素のうちの大半を占めると推察される水溶性陽イオン 4 種類 (Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, Na⁺) と、この 4 種類の中でも最も植物の生育に影響を与える可能性が高いと推察される要素である交換性陽イオン (Ca²⁺) を選定した。なお、炭酸カルシウムは新庄らが提案した強熱減量法³⁾、水溶性陽イオンは乾燥土 : 水 = 1 : 5、交換性陽イオンは乾燥土 : 酢酸 = 1 : 20 の割合で抽出し、0.22μm ポアフィルターで濾過を行った濾液を原子吸光法⁴⁾により測定した。

3. 生存率評価のための説明変数決定のための単相関分析

2. に示した X₁~X₁₀ を説明変数として重回帰分析を行うにあたり、使用する説明変数の多重共線性⁵⁾を排除するため、また得られる重回帰式を簡略化するために、それぞれの説明変数において単相関分析を行った。

表-2, 表-3 の灰色部分に単相関係数を、白色部分に多重共線性の有無を確認する指標である VIF 統計量を示す。一般に、VIF 統計量が 10 を超えると多重共線性が存在している可能性が示唆される⁶⁾ののだが、10 以上の値を取るものは無かった。従って、多重共線性は存在しないということが明らかになった。また、生存率とそれぞれのパラメーターの単相関係数比較すると、共通して生存率と pH の間に負の相関があることが分かった。

表-2 year=1.25, 単相関分析結果

表-3 year=0.25, 単相関分析結果

| Variable number | | Y | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₆ | X ₇ | X ₈ | X ₉ | X ₁₀ |
|-----------------|--------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|----------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Parameter | Survival rate | Volume per root | Average water content | Average CaCO ₃ -Ca | pH | EC | Water soluble Ca ²⁺ | Exchangeable Ca ²⁺ | Water soluble K ⁺ | Water soluble Mg ²⁺ | Water soluble Na ⁺ | |
| Unit | % | cm ³ | % | g/kgdry | | mS/cm | mg/kgdry | mg/kgdry | mg/kgdry | mg/kgdry | mg/kgdry | |
| Y | Survival rate | % | 0.92 | -0.01 | -0.07 | -0.71 | 0.16 | -0.24 | -0.93 | 0.12 | -0.54 | -0.87 |
| X ₁ | Volume per root | cm ³ | 6.30 | -0.14 | -0.09 | -0.65 | 0.15 | -0.10 | -0.83 | 0.10 | -0.40 | -0.80 |
| X ₂ | Average water content | % | 1.00 | 1.02 | -0.11 | -0.60 | 0.16 | 0.05 | -0.74 | 0.08 | -0.24 | -0.72 |
| X ₃ | Average CaCO ₃ -Ca | g/kgdry | 1.00 | 1.01 | 1.01 | -0.56 | 0.20 | 0.23 | -0.64 | 0.07 | -0.05 | -0.62 |
| X ₄ | pH | | 2.01 | 1.75 | 1.57 | 1.45 | 0.27 | 0.43 | -0.54 | 0.08 | 0.18 | -0.51 |
| X ₅ | EC | mS/cm | 1.03 | 1.02 | 1.03 | 1.04 | 1.08 | 0.69 | -0.42 | 0.17 | 0.49 | -0.38 |
| X ₆ | Water soluble Ca ²⁺ | mg/kgdry | 1.06 | 1.01 | 1.00 | 1.05 | 1.23 | 1.92 | -0.36 | 0.82 | 0.82 | -0.27 |
| X ₇ | Exchangeable Ca ²⁺ | mg/kgdry | 7.00 | 3.28 | 2.20 | 1.69 | 1.40 | 1.21 | 1.15 | 0.54 | 0.68 | -0.11 |
| X ₈ | Water soluble K ⁺ | mg/kgdry | 1.02 | 1.01 | 1.01 | 1.00 | 1.01 | 1.03 | 3.00 | 1.41 | 0.51 | 0.07 |
| X ₉ | Water soluble Mg ²⁺ | mg/kgdry | 1.42 | 1.19 | 1.06 | 1.00 | 1.03 | 1.32 | 3.05 | 1.86 | 1.35 | 0.27 |
| X ₁₀ | Water soluble Na ⁺ | mg/kgdry | 4.24 | 2.78 | 2.06 | 1.64 | 1.36 | 1.16 | 1.08 | 1.01 | 1.00 | 1.08 |

| Variable number | | Y | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₆ | X ₇ | X ₈ | X ₉ | X ₁₀ |
|-----------------|--------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|----------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Parameter | Survival rate | Volume per root | Average water content | Average CaCO ₃ -Ca | pH | EC | Water soluble Ca ²⁺ | Exchangeable Ca ²⁺ | Water soluble K ⁺ | Water soluble Mg ²⁺ | Water soluble Na ⁺ | |
| Unit | % | cm ³ | % | g/kgdry | | mS/cm | mg/kgdry | mg/kgdry | mg/kgdry | mg/kgdry | mg/kgdry | |
| Y | Survival rate | % | 0.33 | 0.30 | -0.24 | -0.46 | -0.15 | 0.46 | -0.04 | 0.24 | 0.50 | 0.35 |
| X ₁ | Volume per root | cm ³ | 1.13 | 0.18 | -0.29 | -0.42 | -0.07 | 0.38 | -0.09 | 0.18 | 0.38 | 0.25 |
| X ₂ | Average water content | % | 1.10 | 1.03 | -0.42 | -0.30 | -0.02 | 0.14 | -0.19 | -0.01 | 0.11 | 0.00 |
| X ₃ | Average CaCO ₃ -Ca | g/kgdry | 1.06 | 1.09 | 1.22 | -0.26 | 0.03 | 0.06 | -0.12 | -0.03 | 0.04 | -0.08 |
| X ₄ | pH | | 1.27 | 1.22 | 1.10 | 1.07 | 0.12 | -0.02 | -0.16 | -0.10 | -0.10 | -0.19 |
| X ₅ | EC | mS/cm | 1.02 | 1.01 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 0.01 | -0.20 | -0.13 | -0.21 | -0.28 |
| X ₆ | Water soluble Ca ²⁺ | mg/kgdry | 1.27 | 1.17 | 1.02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | -0.25 | -0.20 | -0.37 | -0.40 |
| X ₇ | Exchangeable Ca ²⁺ | mg/kgdry | 1.00 | 1.01 | 1.04 | 1.01 | 1.03 | 1.04 | 1.07 | -0.32 | -0.44 | -0.49 |
| X ₈ | Water soluble K ⁺ | mg/kgdry | 1.06 | 1.03 | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.02 | 1.04 | 1.11 | -0.60 | -0.50 |
| X ₉ | Water soluble Mg ²⁺ | mg/kgdry | 1.33 | 1.17 | 1.01 | 1.00 | 1.01 | 1.05 | 1.16 | 1.24 | 1.55 | -0.40 |
| X ₁₀ | Water soluble Na ⁺ | mg/kgdry | 1.14 | 1.06 | 1.00 | 1.01 | 1.04 | 1.09 | 1.19 | 1.32 | 1.33 | 1.19 |

4. 重回帰分析の結果と説明変数選定方法の関係

3. に示した 2 つの条件で重回帰分析を行い、説明変数が複数の場合に用いる相関性を表す指標である自由度調整済み決定係数 R² を求める。R² の値が 1 に近いほど相関が高いといえる。

図-1 に、生存率の実測値と 3. で記した 2 種類の回帰式を用いた予測式の関係と、自由度調整済み決定係数 R² を記す。この結果から、2 つの回帰式共に実測値と相関があることがあり、特に year=1.25 に関してはかなり高い相関があることから、実施期間が長いほど正確な重回帰式が得られることが明らかになった。

これら 2 つの条件での回帰式は、year=1.25 が (1)、year=0.25 が (2) である。

$$Y = 4.88 \times 10^{-4}X_1 - 0.49X_2 - 1.32 \times 10^{-7}X_3 - 10X_4 - 4.69 \times 10^{-2}X_6 - 5.19 \times 10^{-4}X_7 + 7.81 \times 10^{-3}X_8 + 9.77 \times 10^{-4}X_9 - 4.49 \times 10^{-2}X_{10} + 117.96 \dots (1)$$

$$Y = 2.30 \times 10^{-3}X_1 + 0.46X_2 - 1.72 \times 10^{-3}X_3 - 61.60X_4 - 15.38X_5 - 3.35 \times 10^{-2}X_6 - 7.41 \times 10^{-3}X_7 - 3.25 \times 10^{-2}X_8 - 2.84 \times 10^{-2}X_9 + 8.53 \times 10^{-2}X_{10} + 559.62 \dots (2)$$

これらの重回帰式は条件設定の際にコントロールが用意な指標を用いて計算したものである。今後より正確な生存率に関する評価式を作成するためにも、説明変数が独立した新たな変数を用いる主成分分析を行い、統計式の精度を高めていく必要がある。

5. 結論

本文はモンゴル半乾燥地での GSM を用いたカンゾウの生存実験の結果に基づいて、GSM 内の水分や塩類、イオン量などと生存率の関係を予測するための重回帰分析を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 各種パラメーターの多重共線性がないため、各説明変数が生存率に及ぼす影響が異なることが分かった。
- 2) 実施期間を長くするほど重回帰式の精度が向上することが明らかになり、year=1.25 では自由度調整済み決定係数 R² が 0.998 なのでかなり実用的な重回帰式であることが分かった。

参考文献：1) UNEP: Status of Desertification and Implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification, 1997. 2) 古川全太郎：緑化土質材料の地盤環境がモンゴル乾燥地における薬用植物「カンゾウ」の生存に与える影響の重回帰分析, 2017 3) 新城俊也：強熱減量試験による石灰背質土のカルシウム含有量の測定, 土と基礎, Vol.51, No.4, pp.32-34, 2003. 4) 土壌養分測定法委員会編：土壌養分分析法, pp.34-38, 184-192, 239-245, 養賢堂, 1957. 5) 管民朗, Excel で学ぶ多変量解析入門, オーム社, pp.26, 2013. 6) 決定係数と重相関係数, 統計学の時間, 統計 Web, <https://bellcurve.jp/statistics/course/9706.html>, 2019/01/07 閲覧

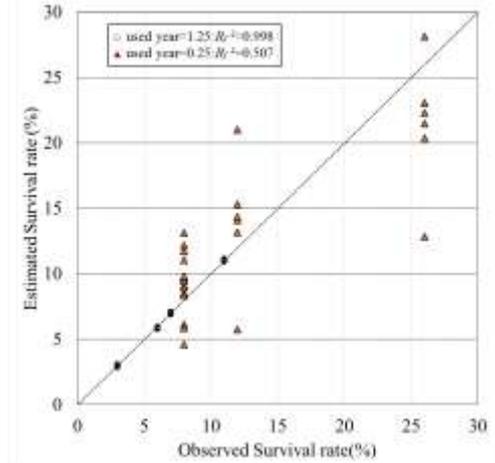


図-1 生存率の実測値と予測値の関係