

三重県の標高が異なる水田圃場における地温の推定

土壌圏システム学研究室 519342 富田大吾

(指導教員: 渡辺晋生)

1. はじめに 近年、三重県産コシヒカリの一等米比率が低下している。この原因として、登熟期の高温による外観品質の低下に加え、作期の気温上昇に誘起された土壌有機物分解によるコメの窒素含有量の増加が示唆されている。ところで、土壌有機物分解に由来する無機態窒素溶出量の測定には、多大な時間と労力を要する。一方、地温や土壌水分の変化と初期の土壌有機物量が分かれば、任意の期間の窒素溶出量を一次分解モデルから推定できる。しかし、不特定多点の地温を常時観測することは難しい。そこで本研究では、県内数点の気温観測に基づき任意の水田の地温とそのばらつきを推定することを目的とした。また、気温や降水量データは測候所や気象モデルから、10 分値、60 分値、日値などで提供される。そこで、水田の窒素動態の把握に適したデータ間隔についても検討を試みた。

2. 試料と方法 伊賀市霧生、森寺(農業研究所)、津市榊原、高野尾(附属農場)、安濃、雲出、上浜(学内農場)の 7 つのコシヒカリ栽培圃場を対象とした。標高は各々 405、161、90、54、21、2、1 m だった。2022 年 4 月、代かき前の各圃場で無作為に 5 地点以上から 0~15 cm 深の土を採取、混合し試料とした。30°C 4 週間湛水静置前後の試料の無機態窒素の差を可給態窒素量とした。また、700°C 1 時間の強熱減量を土壌有機物量とした。5 月の田植え前後に気象観測装置 ATMOS-41 を各圃場の端に設置し、2 m 高の気温、日射、降水量、湿度、風向、風速を 10 分または 1 時間間隔でモニターした。活着後、支柱に取り付けた UA001 地温計を各圃場内の株間 4~6 点の 5 cm 深に設置し、地温を 1 時間間隔で収穫前の 8/23 まで測定した。水田土中の有機物分解に起因する無機態窒素溶出量 C は、一次分解反応式 $C = C_0 [1 - \exp(-kt)] + C'$ で表される。ここで、 C' は初期の土中の無機態窒素量である。分解前の土壌有機物に含まれる窒素量 C_0 は、土壌有機物中の炭素含量を 30%、C/N を 11 とみなし強熱減量から求めた。また、 C_0 は易分解性、中分解性、難分解性と分解速度の異なる 3 種類からなると仮定し、30°C 湛水静置で 98.5% 分解するのに要する時間をそれぞれ、1 月、3 年半、100 年以上として、30°C における分解速度定数 k を決定した。また、30°C 非湛水の k を湛水時の 4 倍とした。任意の地温 T_s の分解速度定数は、 $k = \alpha \exp(\beta T_s)$ で求められるとした。ここで、易分解性と中分解性で α は 1.6×10^{-4} と 4.5×10^{-5} 、 β は湛水で 0.215 と 0.14、非湛水で 0.24 と 0.163 とし、難分解性の作付け期中の分解は無視できるとした。

3. 結果 図 1 に水田の 5 cm 深地温と気温の日変化を霧生の 6/30~7/5 を例に示す。出穂期前の水田の日平均地温は日平均気温より高かった。地温の日変動は気温より小さく、地表からの熱拡散により、気温に遅れて推移した。霧生では 7/3~5 に 6 mm の断続的な降水があった。降水時には地温が低下しにくく、気温より常に高くなった。これらの傾向は、イネ作期で標高によらずいずれの圃場でも同様だった。また、気温の日較差は内陸ほど大きかった。原因の一つに海と陸の比熱の違いがあげられる。圃場内複数点の地温は、森寺と雲出では作期を通してほぼ一致したが、榊原と安濃、上浜では日平均地温が 0.5°C 以上異なる日が、それぞれ 14、35、36 日間で見られた。榊原は圃場が林と隣接しており均等な日射が得られないため、上浜は圃場が分画されており田面水の水位が異なったため、安濃は畦からの距離や圃場内での水位の違いがあったためと考えられる。図 2 に各標高の圃場における、5/23~8/23 の積算気温と圃場内で代表的な地温を示す地点の積算地温、代かき前の土壌有機物量を示す。標高が高いほど積算気温と積算地温は低く、積算地温は積算気温より高かった。また、標高が高いほど土壌有機物量は増加した。これは、温度が低いほど土壌微生物の活性が低く、より多くの有機物が土中に残留しやすいためだと考えられる。図 3 に、作期各日

の全圃場の日平均気温 \bar{T}_A と地温 \bar{T}_S を示す。日平均地温は標高や季節によらず、日平均気温に比例し、 $\bar{T}_S = 0.62\bar{T}_A + 10.3$ で表せた。また、任意の標高差 ΔEL の圃場間の日平均気温差は $\Delta\bar{T}_A = 0.0065 \Delta EL$ と遞減率で概ね表せた。ここで、月毎に各時間の気温と地温の平均値を正弦波で表せると 仮定して $T = \bar{T} + A \sin(\pi t/12 + \phi)$ で近似し、気温の振幅 A_A と、気温と地温の位相定数 ϕ_A, ϕ_S を求めた。ただし、 \bar{T} は日平均温度、 t は時刻である。そして、地温の振幅 A_S を、気温と地温の位相定数の差 $\Delta\phi$ を用い、熱伝導方程式の解析解に従い $A_S = A_A \exp(\Delta\phi)$ から求めた。図4に6~8月の 気温と地温の位相差 $\Delta\phi$ を示す。位相差 $\Delta\phi$ は 標高が高いほど大きく、 $\Delta\phi = p \ln(EL) + q$ の式で 表せた。ここで、6、7、8月の p はそれぞれ、0.119、0.074、0.027、 q は0.428、0.943、1.31であった。そこで、任意の標高の地温を気温に基づき式(1) で表した。

$$T_s = 0.62\bar{T}_A + A_A \exp(\Delta\phi) \sin(\pi t/12 + \phi_A + \Delta\phi) + 10.3$$

式(1)

ただし、 \bar{T}_A と $\Delta\phi$ は標高 EL の関数である。式(1)は各圃場の地温を良く再現した。式(1)により任意の地点の気温から、県内の様々な標高の水田の日変動を考慮した地温を推定できると考えられる。ここで、1時間毎に測定した地温と日平均地温を用い式(1)と一次分解反応式で各圃場のイネ作期の窒素溶出量を計算した。日平均地温を用いると1時間毎地温で計算した場合より、窒素溶出量を、上浜で4.8%、安濃と榊原で3.4%、その他の圃場で約2%過小評価した。こうした過小評価は、気温の日較差の大きい春先に主として生じ、日較差の小さな7、8月には、ほとんどみられなかった。コメの食味に関わる登熟期の窒素溶出量の推定には、日平均の気温データを使用できると見なせる。次に、式(1)を用いて、津市と伊賀市のイネ作期の積算地温の1970年からの変化を計算した(図5)。積算温度は両地域共に、気温で220°C日、地温で40°C日上昇していた。また、水田土中の作期の窒素溶出量は、両地域共約1kg/10a増加したと推定された。今後の気温上昇は、土壌

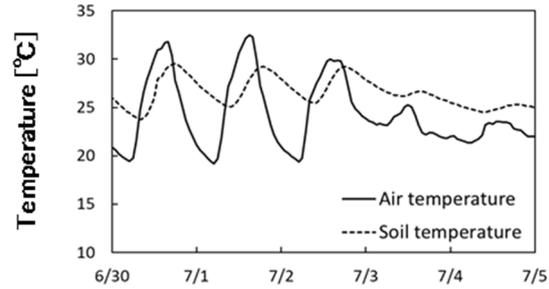


図1 伊賀市霧生の気温と地温

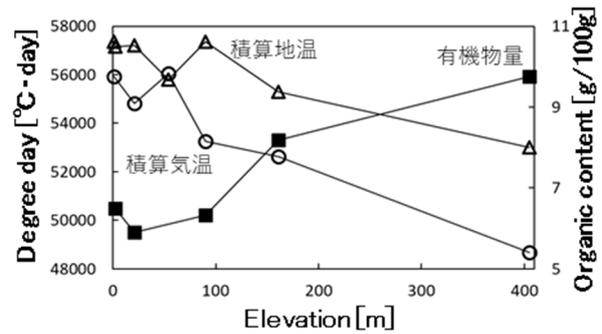


図2 各標高の温度と代かき前の水田土中の有機物量

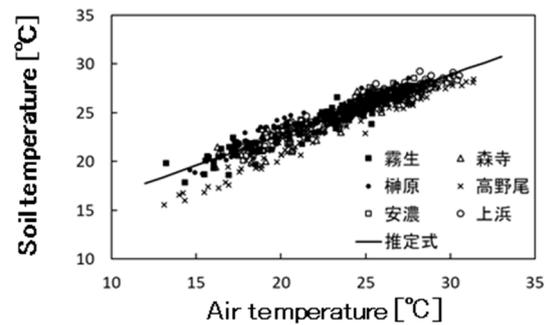


図3 イネ作期の各圃場の日平均気温と日平均地温

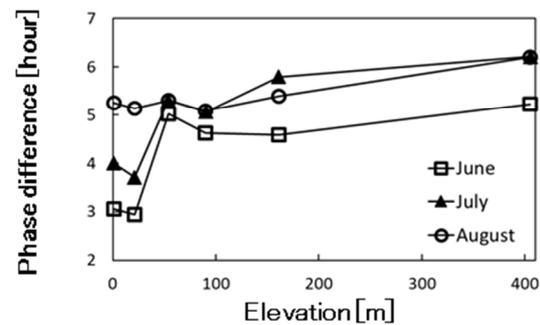


図4 標高および気温と地温の位相差 $\Delta\phi$

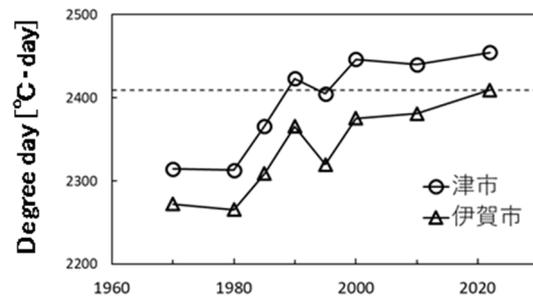


図5 近年50年の津市と伊賀市のイネ作期の積算地温

有機物量が多い標高の高い水田ほど、イネ作期の窒素溶出量に影響を及ぼすと考えられる。