

水資源制約時代のための穀物生産指標 CPI のモデリング

松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 金子大二郎
○ 松江工業高等専門学校 生産建設システム工学専攻 糸原俊広

1. はじめに

本研究は、気象データと衛星データを用いて、水資源制約の時代に対応可能な光合成型の穀物生産指標をモデリングし、現地の作物統計データを用いて指標の適用性を検討する。近年、温暖化の進展によって、日本を含むアジアの降水の年変動が拡大し、洪水と旱魃が顕著になって来ている。人口に対する食糧と水資源の不足が懸念される時代を背景に、水資源制約を考慮した穀物生産量の監視法を開発する目的を持っている。

2. 従来の研究

従来からの穀物生産量の監視方法は、積算有効気温 GDD と積算植生指標 iNDVI による生育の追跡法が知られている。本研究では、Rasmussen(1998)による衛星を利用した純一次生産量 NPP の推定式を拡張し、光合成型の穀物生産指標を開発しようとしている。光合成速度のモデリングに際しては、日射・気温、出穂期における温度障害、作物の茂りの程度を表す植生現存量、そして、水ストレスによる気孔開度等の要因を指標の中に取り込んでいる。

$$PSN = \frac{a \cdot APAR}{b + APAR} \cdot f_{syn}(T_c) \cdot \beta_s \cdot eLAI \quad (1)$$

ここに PSN : 光合成速度, $APAR$: 吸収光合成有効放射

f_{syn} : 温度影響関数, β_s : 気孔開度,

a, b : Michaelis-Menten 定数, T_c : 葉温,

$eLAI$: 有効葉面積指数

積算型の光合成型穀物生産指標 CPI は、穀物への温度障害を組み入れながら光合成速度を播種 t_s から収穫 t_h までの期間について積分した次式により定義する。

$$CPI = \int_{t_s}^{t_h} PSN \cdot F_{Ster}(T_c) \cdot dt \quad (2)$$

3. 使用データ

光合成型の穀物生産指標 CPI の作成に使用したデータは、気象庁の AMeDAS データによる気温と測候所による全天日射量、および気象衛星 NOAA による植生指標 NDVI である。図-1 に久喜における気温の季節変化を示した。穀物生産指標のモデリングを検証する地点は、利根川中流域の久喜と北上川の下流の仙台平野にある古川地点、および低温不稔の限界条件を探るための函館地点である。いずれも AMeDAS 測定地点でもある。対象とした推定年と水稻の作況指数を表-1 に示した。1993 年の凶作を含む 8 年間の作況データを農林水産省の農林統計事務所から提供を受けた。

4. 積算気温と植生指標の特性

図-2 に示した積算気温によれば、水稻の作況指数と気温との関係を見ると、年によっては高温であっても不作となる場合もあれば、低温気味であっても平年作であったケースが存在し、必ずしも作況が光合成に依存していないことが分かる。その原因は次のように推察される。出穂・開花期における不稔の影響が大きいことは、冷害時の作況指数の急減から知ることができる。また、作況指数の値から、低温であっても開花期に好条件であれば作況が平年作に持ち直すことが考えられる。図-3 に示した日射についても同様であって、穀物生産量や作況指数には、光合成速度と開花期における受精という二つの機構が影響しているためと考えている。植生の生育量を代表する植生指標 NDVI については、地点が異なると NDVI の値に同じ水田という土地利用であっても季節的な相違が認められる。衛星の可視・赤外センサーである AVHRR の測定画素内に水田が占める植被率が関係していると考えられる。このため、作況指数が平年作であった年の植生指標 $NDVI_{100}$ で割った植生指標比 ($NDVI/NDVI_{100}$) を用いて地点毎の相違に対する標準化を施した。図-4 に植生指標比の季節変化を示した。月ごとの気象を反映して植生指標比が変動しているが、地点ごとの相対的な植生指標の平

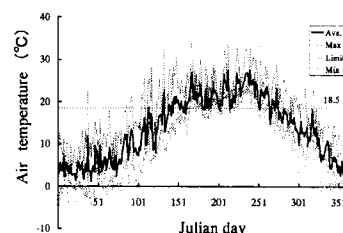


図-1 久喜における気温の季節変化(1993)

表-1 監視地点の作況指数一覧

A.D.	Crop Situation Index		
	Hakodate	Furukawa	Kuki
1993	3	37	74
1994	109	106	109
1995	102	99	102
1996	96	103	105
1997	104	104	102
1998	100	96	98
1999	106	102	101
2000	109	105	104

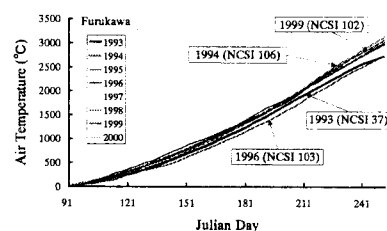


図-2 古川における積算気温

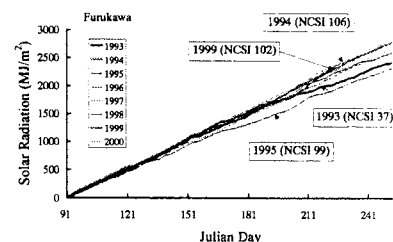


図-3 古川における積算日射

均的な相違が穀物生産指標に及ぼす影響を除くことができ、植生現存量としてのNDVIを植生指標比($NDVI/NDVI_{100}$)によって汎用化することができた。

5. 積算光合成速度

積算光合成速度PSNに及ぼす要因は日射・気温・植生現存量(植生指標比で近似)・水ストレスである。光合成速度に及ぼす日射と気温の影響は、多くの研究があり他の要因に比べて精度よく影響を関数化することができる。これに反し、低温不稔と植生指標NDVIの影響は大きく関数形が不明確である。その内の植生指標について、NDVIの標準化が光合成速度PSNに推定に及ぼす影響を検討した。図-5に各年の積算光合成速度iPSNの季節変化を示した。宮城県古川地点において著しい不作となった1993年、豊作であった1994年についてはその傾向を良く表しているといえる。しかし、年間を通して低温であったにも拘わらず平年作となった1996年、逆に高温であったにも拘わらず平年作に終わった1999年については、やはり不稔による影響を考慮する必要がある。

6. 穀物生産指標の特性

光合成の過程を忠実に表わすために新たに定義した光合成型の穀物生産指標CPIの変化特性を図-6に示した。対象地域は埼玉県久喜のAMeDAS地点である。穀物生産指標CPIと作況指数との関係を見ると、1993年の冷害による水稻の凶作(作況指数74)の場合において最も指標CPIの値が低く、1998年の高温であるけれども日射不足の気象条件によるやや不作(作況指数NCSI=98)を表わし、同時にやや豊作な1997(作況指数102)の傾向も表わし得ている。即ち、1993年の低温による不作と1998年の日照不足による作況指数の減少をいずれも穀物生産指標CPIの低減として表現し、豊作・凶作の識別性能が高いことがわかる。次に監視地点を変えて、日照を中心とした光合成ばかりでなく低温不稔の影響の大きい宮城県古川や北海道函館を含む地域について、穀物生産指標の季節変化を図-7に示した。古川においても日照の不足していた1995年、低温を受けた1993年、好天に恵まれ豊作となった1994年に関しては、その傾向を良く表しているといえるが、気温・日射共に十分であったにも拘わらず平年作となった1999年については他の要因を考慮する必要がある。

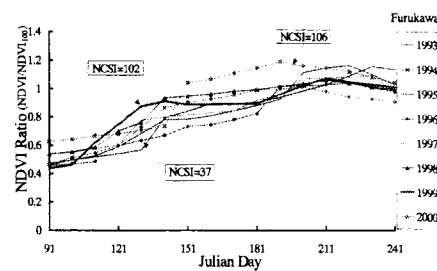
7. おわりに

水資源制約時代に対応可能な光合成型穀物生産指標について、任意の地点について予測的に監視可能な指標の開発を進めてきた。複数地点の場合に、植生指標NDVIが水田の占める植被率の相違に左右される問題に対し植生指標比を定義する標準化によって対応可能とした。次の課題は、水稻の穀物生産量への影響が大きい低温不稔について、穀物不稔関数を正確に定式化することである。

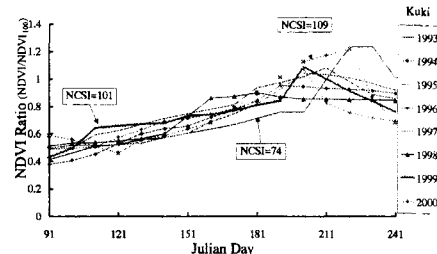
謝辞： 本研究は文部科学省科学研究費補助金基盤研究(B)(1)(課題番号14390055, 研究代表者 金子大二郎)の補助を受けている。記して謝意を表わします。

参考文献

- 1) Rasmussen, M. S.: Developing simple, operational, consistent NDVI-vegetation models by applying environmental and climatic information: Part II. Crop yield assessment, International Journal of Remote Sensing, Vol.19, No.1, pp.119-137, 1998.
- 2) Idso, S. B., Pinter, Jr. P.J., Hatfield, J. L., Jackson, R. D., and Reginato, R. J. (1979): A remote sensing model for the prediction of wheat yields prior to harvest, Journal of Theoretical Biology, Vol.77, pp.217-228.
- 3) Labus, M. P., Nielsen, G. A., Lawrence, R. L., R. Enges, and Long, D. S. (2002): Wheat yield estimates using multi-temporal NDVI satellite imagery, International Journal of Remote Sensing, Vol.23, No.20, pp.4169-4180.



(a) 宮城県古川地点



(b) 埼玉県久喜地点

図-4 標準化された植生指標の季節変化

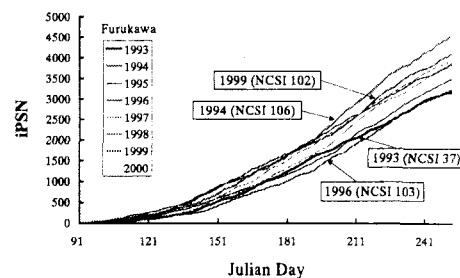


図-5 積算光合成速度の季節変化

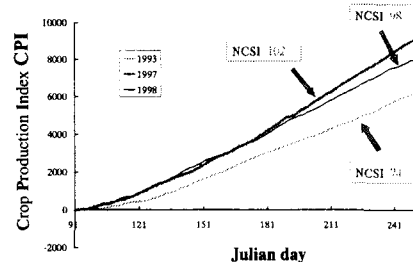


図-6 久喜における穀物生産指標CPI

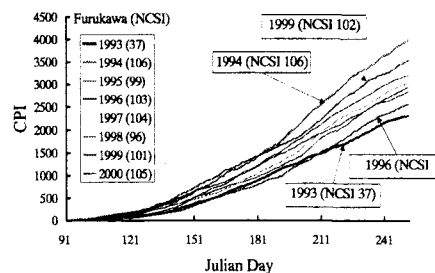


図-7 穀物生産指標CPIの季節変化