

牧草の地帯区分に及ぼす地球温暖化の影響(2)

誌名	日本草地学会誌
ISSN	04475933
巻/号	496
掲載ページ	p. 606-610
発行年月	2004年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



牧草の地帯区分に及ぼす地球温暖化の影響

2. バヒアグラスの栽培適地と生産量の変動予測

佐々木寛幸・神山和則・須山哲男・澤井 晃*・福山正隆**

畜産草地研究所 (329-2793 栃木県那須郡西那須野町千本松 768)

*九州沖縄農業研究センター (885-0091 宮崎県都城市横市町 6651-2)

**九州大学大学院農学研究院 (812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1)

National Institute of Livestock and Grassland Science, Nishinasuno, Tochigi 329-2793, Japan

* National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, 6651-2 Yokoichi-machi, Miyakonojo, Miyazaki 885-0091, Japan

** Kyushu University, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka-shi 812-8581, Japan

受付日: 2003年5月14日/受理日: 2003年9月3日

Synopsis

Hiroyuki Sasaki, Kazunori Kohyama, Tetsuo Suyama, Akira Sawai and Masataka Fukuyama (2004): Effects of Global Climate Changes on the Zones of Forage Grass Cultivation in Japan. 2. Estimating Changes in the Cultivation Zone and Productivity of Bahiagrass (*Paspalum notatum* Flüggé). Grassland Science 49, 606-610.

Carbon dioxide (CO₂) is well known to be a "greenhouse gas" capable of causing significant climatic change. The optimum ranges of grass species are likely to shift as a result of climatic change. Accordingly, the optimum range for each species must be determined in order to select grass species that will grow in the new vegetation zones expected to result from climatic change. Changes in the cultivation limit and productivity of bahiagrass (*Paspalum notatum* Flüggé) were estimated.

The monthly dry matter productivity for each secondary grid square (approximately 10×10 km) at the present time, 30 years and 100 years in the future was simulated by applying grid climatic data to the neural network model. The data were adjusted using the relationship between CO₂ concentration and net photosynthesis in order to evaluate the effects of rising temperature and increasing CO₂ concentration simultaneously. Then maps of suitable cultivation zone and productivity were drawn.

These maps show that under present climatic conditions the cultivation zone of bahiagrass is limited to the south-western part of Japan, and dry matter productivity is about 0-3,000 g·m⁻²·year⁻¹. In 100 years, the cultivation zone will extend northwards, and the dry matter productivity is predicted to increase to more than 3,000 g·m⁻²·year⁻¹ in most parts of the cultivation zone.

Key words: Bahiagrass, Cultivation zone, Global climate change, Productivity, Tropical grass.

緒 言

地球温暖化の原因となる温室効果ガスの1つとして知られる大気中の二酸化炭素(CO₂)濃度は近年著しく上昇し、2000年には368 ppmとなり、現在のまま排出を続けていると2100年には540-970 ppmに達すると予想されている(IPCC 2002)。わが国においても、地球の温暖化に伴い、寒地型牧草の適応地域が減少する等、各飼料作物の生育適地が変化し、それに伴い地域区分も変更しなければならない事態も予測され、早急な検討を開始しなければならない(福山1991; 須山1988)。

このためには、各飼料作物の生育適地を予測し、温暖化に対応した適切な草種選定をはかる必要がある。CO₂濃度の上昇が植物に及ぼす影響については、C₃植物ではCO₂濃度の上昇は生産力を増大させる等(Warrick and Gifford 1989)大きな影響があるとされ、多くの研究がなされてきた(Idso 1989; Kimball 1983)。C₄植物では一般的には大きな影響はないとされている(Jones 1985)。これまで多くの植物種について、影響評価がなされてきたが、飼料作物に対する影響を評価した事例は少ない。

前報(佐々木ら2003)では、わが国の草地の主要牧草種のうち、C₃植物の寒地型牧草数種について、地球温暖化に伴う栽培適地と生産量の変動を予測した。その中で、夏枯れによる栽培不適地についてはC₄植物である暖地型牧草の栽培利用の可能性について検討する必要があることが示された。そこで本報では、暖地型牧草の中で採草と放牧のいずれにも用いられるバヒアグラス(*Paspalum notatum* Flüggé)の気象生産力をニューラルネットワーク(佐々木ら1998)によって推定し、この結果を用いて栽培適地と生産量の温暖化による変動を予測した。

方 法

1. バヒアグラスの気象生産力と栽培適地の推定

生育モデルは既報(佐々木ら 1998)と同様の手順でニューラルネットワークによるモデルを適用した。ニューラルネットワークの構築に当たっては、1978年-1989年に鹿児島県農業試験場大隅支場で得られた収量データに基づく85データを教師データとし、50,000回の学習によりパラメータを決定した。ネットワークの構造は、入力層を再生期間、再生期間中の平均気温、平均日積算日射量からなる3ニューロン、出力層を平均日乾物生産速度からなる1ニューロンとした。中間層については1層とし、ニューロン数が1から5までの各場合について検討した。

栽培適地の推定にあたっては、バヒアグラスが栽培されている地点を調査し、年平均気温、1月平均気温との関連について検討した。

2. 栽培適地と生産量の予測マップの作成

栽培適地と生産量の変動予測にあたっては、気象庁による「地球温暖化予測情報」に基づき農業環境技術研究所が作成した「局気候シナリオ」を使用した。このデータは日本全土をカバーする2次メッシュ(約10km×10km)ごとの気象値が現在から100年後までの10年ごとに作成されている。本報では現在のもの、30年後のもの、100年後のものを用いた。現在の気候値に関しては3次メッシュレベル(約1km×1km)のデータ((財)気象業務支援センター 2001)も存在するため、詳細な区分図の作成が可能であるが、100年後との比較を同一条件でおこなうため、2次メッシュレベルでの区分図とした。ただし、海岸線や島嶼部は1つの2次メッシュ中に陸地が占める割合がわずかであっても1メッシュとしてカウントされ、地図上で過大表示されてしまうため、3次メッシュレベルで表示するように修正した。

現在、30年後および100年後における各メッシュの年間生産量は、ニューラルネットワークモデルに月別の平均気温と平均日積算日射量を適用して得られた月別の平均日乾物生産速度を積算することにより推定した。100年後の生産量を推定するにあたっては、気温による影響だけでなく、CO₂濃度の上昇の影響も同時に評価するために、バヒアグラスの光合成速度に及ぼすCO₂濃度上昇の影響を示す以下の式(Sasakiら 1998)を用いて生産量を補正した。

$$y = 1.043 + 0.006613x \quad (n=5, R^2=0.94^{**})$$

ここでyはCO₂濃度350ppm時の光合成速度に対する700ppm時の比率であり、xは気温(°C)を示す。この式は、CO₂濃度が350ppmから700ppmになることにより光合成速度が増加し、気温が上昇すれば、その増加の割合がわずかに高くなることを示している。

現在から30年後および100年後への栽培適地と生産量の変動は、それぞれの区分図を重ね合わせ、メッシュごとの変動を集計して求めた。なお、沖縄県に関しては、日射量のデータが得られなかったため、生産量を算出できなかった。

結 果

1. バヒアグラスの気象生産力と栽培適地の推定

ニューラルネットワークによりバヒアグラスの気象生産力の推定モデルを検討した結果、中間層のニューロン数は4で十分であり、このときの85データの推定値と実測値の相関係数は0.95(1%水準で有意)、推定誤差(RMSE)は1.84g・m⁻²・日⁻¹となった。推定値と実測値の関係(図1)および1:1のラインから、このモデルの妥当性が確認された。

構築されたモデルにより、平均気温と日射量を変数とした場合の乾物生産速度の値が再生期間ごとに求められる。再生期間を30日としたときの気象データと乾物生産速度の関係を図2に示した。図中の数値は乾物生産速度(g・m⁻²・日⁻¹)を示す。

栽培適地の推定のための生育地点調査の結果、バヒアグラスが現在栽培されている地点は図3に示す45地点であった。これら45地点の年平均気温と1月平均気温は図4に示すように分布している。この図から、年平均気温15°Cまたは1月平均気温4°Cが栽培北限と考えられた。北限の制約条件としては冬の寒さに関する要因がより影響力が強いと判断し、以下の解析では1月平均気温4°Cを栽培北限として用いた。図3にはこの境界線を示した。

2. 栽培適地と生産量の変動推定

ニューラルネットワーク等により推定されるバヒアグラスの現在の栽培適地と年間乾物生産量(g・m⁻²・年⁻¹)の分布図を図5に示した。高緯度・高標高の気温が低い地域では年間乾物生産量が低くなっている。

次に気温上昇によって変化すると予想される、バヒアグラスの30年後の生育地帯と年間乾物生産量の分布図を図6に示した。また、気温上昇とCO₂濃度の倍増によって変化すると予想される、バヒアグラスの100年後の生育地帯と年間乾物生産量の分布図を求め、図7に示した。これらの図から、

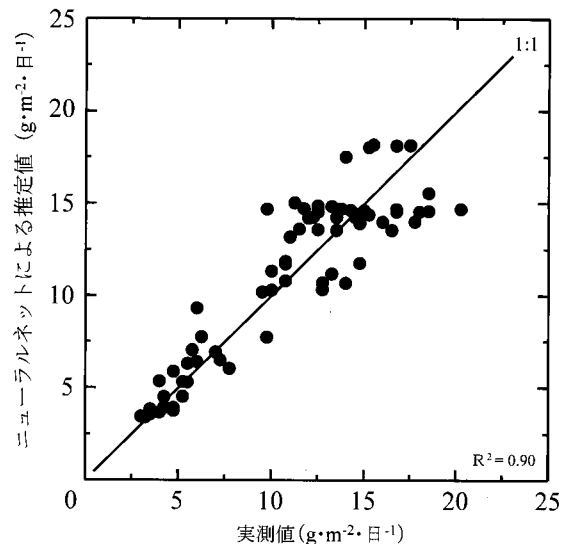


図1. ニューラルネットワークによる乾物生産速度の推定値と実測値の関係。

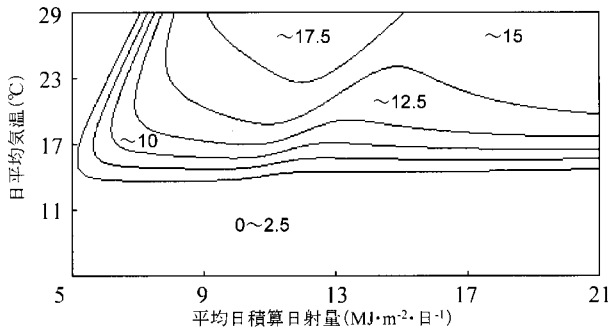


図 2. ニューラルネットワークモデルで生育期間 30 日とした場合のバヒアグラスの乾物生産速度の気温と日射量に対する反応 (図中の数値は乾物生産速度 $g \cdot m^{-2} \cdot 日^{-1}$).



図 3. バヒアグラスの栽培地点 (●) と 1 月平均気温 $4^{\circ}C$ の線 (—).

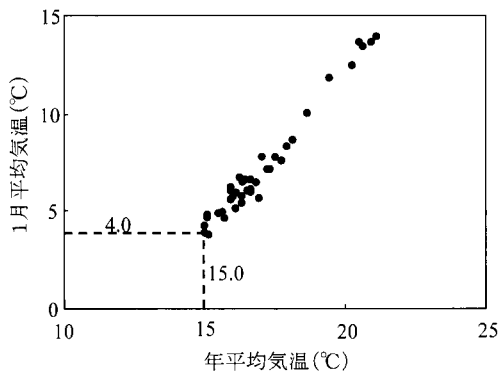


図 4. バヒアグラス栽培地点の年平均気温と 1 月平均気温.

生育可能地帯が北上し、生産量が増加する傾向がわかる。

さらに、年次による変動を集計し、2次メッシュ単位での変動数とその内容をまとめたのが図8である。この図から、栽培不適地帯が栽培可能地帯に変化するメッシュの数は、現在から30年後の間には331メッシュであるのに対し、30年後から100年後の間には1,038メッシュとなることわかる。そ

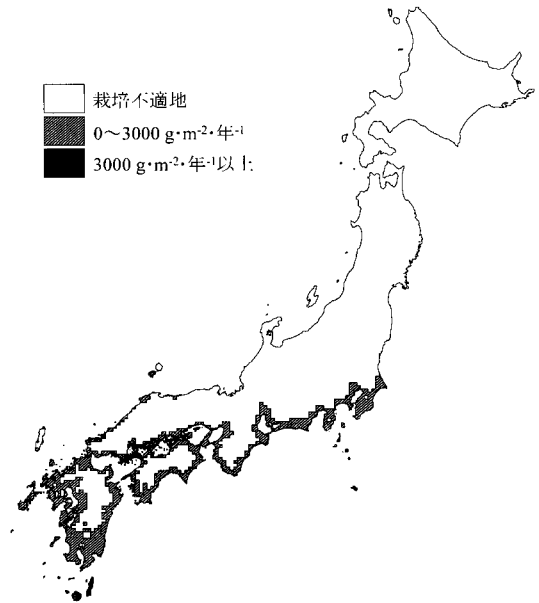


図 5. 現在のバヒアグラス栽培適地と年間乾物生産量.

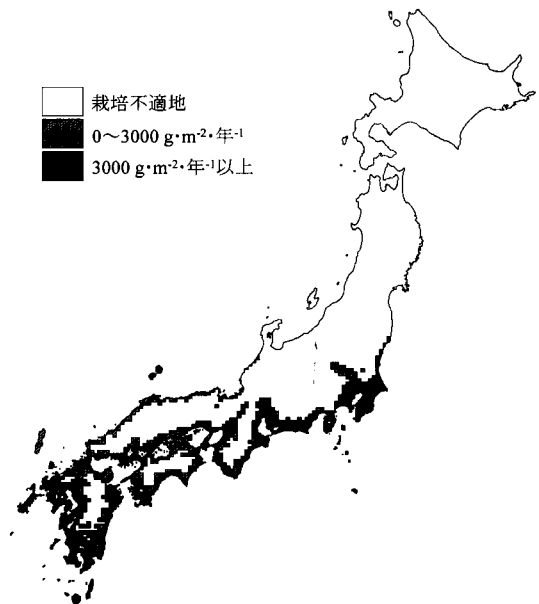


図 6. 30 年後のバヒアグラス栽培適地と年間乾物生産量.

して100年後には全国のメッシュ数の過半数が栽培可能地帯となる。また、生育可能地帯での生産量の変動に関しては、西南暖地に分布している現在栽培可能な地帯の大部分は、生産量 $3,000 g \cdot m^{-2} \cdot 年^{-1}$ 未満となっているが、30年後にはその4分の3が $3,000 g \cdot m^{-2} \cdot 年^{-1}$ 以上となる。また、30年後の栽培可能地帯のすべてと栽培不適地帯の約4分の1は、100年後には $3,000 g \cdot m^{-2} \cdot 年^{-1}$ 以上の生産量となる。

考 察

1. 気象生産力と栽培適地の推定

気象生産力の推定にあたっては、既報(佐々木ら1998)と同様にニューラルネットワークを用いた。この推定手法は既

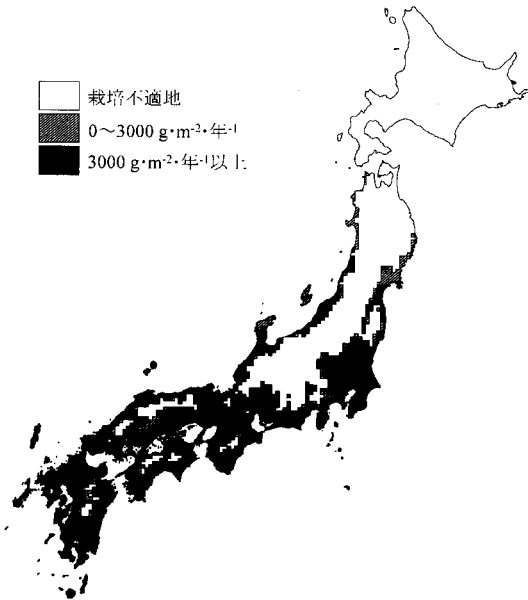


図 7. 100年後のパヒアグラス栽培適地と年間乾物生産量。

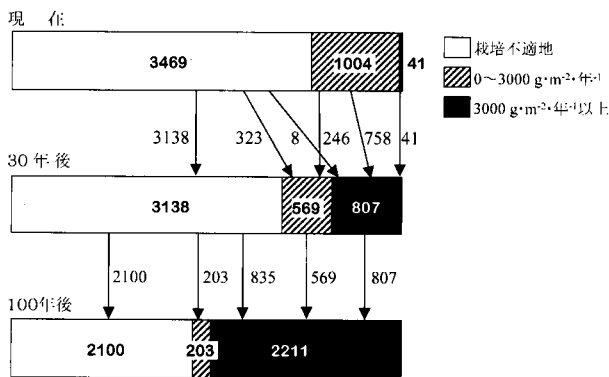


図 8. パヒアグラスの適地区分のメッシュ単位での変動。

存のデータを学習する過程で回帰式を変形していくことによって、誤差を少なくするモデルであるため、学習データに強く影響される。図2から、気温が高くなれば生産速度も上昇するという全体的な傾向は、現状を反映しており妥当であると考えられる。しかし、気温 20℃ 以上、日射量 15 MJ 以上では予想に反して乾物生産速度の値が上昇していない。日射量が高いことは、降水量が少なく蒸発散が多いことと関係があり、場合によっては土壌水分が不足して生産速度が減少する可能性がある。すなわち、この周辺のデータにはばらつきがあり、ニューラルネットワークによる学習の際に平均化されて低い値になっていると推定される。したがって、今後は水分条件を表す指標を説明変数に加えることを検討するとともに、さらにデータを蓄積してニューラルネットワークの構造を改良していく必要がある。

栽培適地に関しては、1月平均気温 4℃ を北限とし、この値は将来にわたって変化しないと仮定して栽培適地を推定した。しかし、植物種によっては CO₂ 濃度の増加にともない耐寒性が高まる (Loik ら 2000 ; Wayne ら 1998) ことが報告さ

れているため、パヒアグラスについても北限とする指標値が変化する可能性も残されている。したがって、今後は CO₂ 濃度と耐寒性の関係についても検討する必要がある。

2. 現在の気象生産区分図

現在の気象生産区分図で栽培可能地帯として示される領域に関しては、概ね妥当であると考えられる。今回の調査からは、九州・四国以外での栽培地点は見つからなかったが、現在では関東地方北部で暖地型牧草のパーミューダグラスの永続性が認められ (菅野ら 1995)、センチピードグラスやカーペットグラスの栽培が可能であった (山本ら 2003)。耐寒性の順序は耐寒性の強い順に、パーミューダグラス > パヒアグラス ≥ センチピードグラス > カーペットグラスであると推定される (Higgins 1998 ; Trenholm 2000) ので、関東北部よりも温暖であれば、九州・四国以外であっても暖地での栽培は可能であると推測される。

年間乾物生産量に関しては、気温と日射量という限られた変数により得られる値であり、これら以外の要因については考慮していない気象生産量である。このため、値そのものが現実の値と一致する保証はない。しかし、現実の 85 データを用いてモデル化しているため、概ね妥当な範囲の値となっていると考えられる。

3. 温暖化時の区分図とメッシュによる集計

温暖化に伴い、栽培可能地帯は北上し、そこでの生産量は増加するという結果になった。具体的には、30年後には栽培可能地帯は海岸線に沿って北上し、一部の平野では内陸に広がっている。100年後には、栽培可能地帯は大きく広がり、東北地方の多くの海岸まで北上し、関東平野、新潟平野のほとんどの地域で 3,000 g · m⁻² · 年⁻¹ 以上となる。また仙台平野、庄内平野でも栽培可能となる。CO₂ 濃度の倍増によって、同一気温であれば生産量は増加するが、回帰式から判断するとその影響は低く、寒地型牧草 3 種 (Sasaki ら 2001 a ; Sasaki ら 2001 b ; Sasaki ら 2002) に比べてもわずかである。CO₂ 濃度の倍増よりも気温の上昇の方が大きな影響を及ぼしていると考えられる。

以上の結果を地図としてだけでなく、メッシュ数で集計した結果、図8にみられるように、100年後には過半数のメッシュでパヒアグラスが栽培可能になると予想される。現在栽培可能なメッシュ数は全国の 4,514 メッシュのうち 23% にあたる 1,045 メッシュであるが、30年後には 30% の 1,376 メッシュとなり、100年後には 53% にあたる 2,414 メッシュとなる。ただし、これはあくまでもメッシュ数による集計結果である。実際には、面積の小さい島や入り組んだ海岸線もメッシュの一部にかかっていたら 1 メッシュとカウントする。また、緯度が高くなればなるほど、1 メッシュあたりの面積は小さくなる。さらに、今回の集計には現実に草地が存在しない都市部も含まれている。以上の点からすると、今後は草地の実面積による集計が必要となるであろう。また、寒地型牧草が夏の暑さのため生育できない、いわゆる夏枯れ地帯と暖地型牧草の生育可能な地帯の関係およびその温暖化による変動についても検討する必要がある。

引用文献

- 福山正隆 (1991) CO₂ 気候変化と草地・飼料作. 農業および園芸 66 (1) : 166-170
- Higgins JM (1998) Selection turfgrasses for home lawns. Alabama cooperative extension system. ANR-92 : 1-6
- Idso SB (1989) Carbon Dioxide and Global Change. IBR Press, Arizona, p 67-92
- Jones CA (1985) C4 Grasses and Cereals. John Wiley & Sons, New York, p 163-178
- 菅野 勉・福山正隆・佐藤節郎・中西直人 (1995) パーミューダグラス草地と数種寒地型イネ科草地及びシロクロバ草地との組合せ利用下における放牧去勢牛の増体量. 日草誌 41 : 133-139
- Kimball BA (1983) Carbon dioxide and agricultural yield: An assemblage and analysis of 430 prior observations. Agron. J. 75 : 779-787
- Loik ME, Huxman TE, Hamerlynck EP, Smith SD (2000) Low temperature tolerance and cold acclimation for seedlings of three Mojave Desert Yucca species exposed to elevated CO₂. Journal of Arid Environments 46 : 43-56
- Sasaki H, Fukuyama M, Suyama T, Onoue T, Shoji A (1998) Photosynthesis of bahiagrass (*Paspalum notatum* Flügge) in a high concentration of CO₂. Grassland Science 44 : 93-95
- 佐々木寛幸・畠中哲哉・柴田昇平 (1998) ニューラルネットワークによる牧草生産力の推定手法. 日草誌 44 : 138-141
- Sasaki H, Fukuyama M, Onoue T (2001 a) Effects of increasing CO₂ concentration and leaf temperature on the photosynthesis of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). Bull. Natl. Grassl. Res. Inst. 60 : 1-8
- Sasaki H, Fukuyama M, Suyama T, Onoue T, Shoji A (2001 b) Photosynthesis of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) in a high concentration of CO₂. Grassland Science 47 : 412-414
- Sasaki H, Fukuyama M, Onoue T, Suyama T, Shoji A (2002) Effects of increasing CO₂ concentration and leaf temperature on the photosynthesis of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). Grassland Science 48 : 12-16
- 佐々木寛幸・神山和則・須山哲男・福山正隆 (2003) 牧草の地帯区分に及ぼす地球温暖化の影響. 1. 寒地型牧草の栽培適地と生産量の変動予測. 日草誌 49 : 23-27
- 須山哲男 (1988) 草地・畜産と気候変化. 気象研究ノート 162 : 123-129
- Trenholm LE (2000) Low temperature damage to turf. A series of the environmental horticulture dept., Univ. Florida. Fact sheet ENH-80 : 1-3
- Warrick RA, Gifford RM (1989) CO₂, Climatic Change and Agriculture. In : The Greenhouse Effect, Climatic Change and Ecosystems, John Wiley & Sons, Chichester, p 393-473
- Wayne PM, Reekie EG, Bazzaz FA (1998) Elevated CO₂ ameliorates birch response to high temperature and frost stress : Implications for modeling climate-induced geographic range shifts. Oecologia 114 : 335-342
- 山本嘉人・北川美弥・西田智子・梨木 守 (2003) センチビードグラス等の放牧地向けシバ型草種の発芽・定着. 日草誌 49 (別) : 118-119
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2002) Climate Change 2001 : Synthesis Report. Cambridge University Press, Cambridge, p 1-398
- (財)気象業務支援センター (2001). 平年値 (1971~2000 年), 気象庁編, CD-ROM

要 旨

佐々木寛幸・神山和則・須山哲男・澤井 晃・福山正隆 (2004) : 牧草の地帯区分に及ぼす地球温暖化の影響. 2. パヒアグラスの栽培適地と生産量の変動予測. 日草誌 49, 606-610.

地球温暖化の原因となる大気中の二酸化炭素 (CO₂) 濃度は, 近年著しく上昇している。わが国においても, 地球の温暖化に伴い, 暖地型牧草の適応地域が拡大する等, 各飼料作物の生育適地が変化し, それに伴い地帯区分も変更しなければならない事態が予測される。そこで, わが国の草地で利用される暖地型牧草としてパヒアグラスを取り上げ, 栽培適地と生産量の変動を予測した。

気象生産量を推定するために, 圃場試験で得られた 85 データを用いて再生期間, 平均気温, 日射量を説明変数とするニューラルネットワークモデルを構築した。また栽培適地については, 1 月平均気温 4°C の線が北限として推定された。

現在, 30 年後, 100 年後の 2 次メッシュレベルの平均気温と日射量のデータを, ニューラルネットワークモデルにあてはめて月別生産量を算出した。100 年後の生産量を算出する際には CO₂ 濃度の影響を示す式で補正した。これを積算することにより, 各年代の年間乾燥物生産量と栽培可能地帯を示す地帯区分図を作成した。

現在の地帯区分図を 30 年後, 100 年後に推定される地帯区分図と比較すると, 栽培可能地帯が徐々に北上・拡大し, 生産量が大幅に増加することなどが明らかになった。

キーワード : 生産量, 暖地型牧草, 地球温暖化, 地帯区分, パヒアグラス.