

二酸化炭素濃度が2倍になると主要穀類栽培適地がこんな に変わる!

誌名	農林水産技術研究ジャーナル
ISSN	03879240
著者	岡本, 勝男 川島, 博之 福原, 道一
巻/号	20巻3号
掲載ページ	p. 41-46
発行年月	1997年3月

二酸化炭素濃度が2倍になると 主要穀類

栽培適地がこんなに変わる！

—新手法で栽培適地・可能地域を予測—

岡本 勝男*・川島 博之*・福原 道一**

現在、主要穀類生産地の位置を正確にしめした地図は、存在していない。したがって、将来の世界の穀物生産量を予測するためには、主要穀類の現在の栽培地域を把握し、将来の変動を予測することが不可欠である。我々は、「栽培適地」という概念を導入した。我々の提案する手法は、人工衛星データから算出した植生量の年変化パターンと気象データ（気温と降水量）、土壌データから、栽培適地を推定するものである。

現在の主要穀類の栽培適地面積は515 Mha (Million ha) と推定された。1993年のFAOの統計値と比較した結果、我々の手法を用いて推定した世界の栽培適地とその面積は、十分な精度をもつと結論づけられた。二酸化炭素濃度2倍時の栽培適地面積は279 Mhaで、46%減と予測された。

1. はじめに

化石燃料の使用や森林伐採など、人間活動によって、大気中の二酸化炭素(CO₂)に代表される温室効果ガス濃度が上昇した。それともなると地球の平均気温は、19世紀後半以降0.3~0.6°C上昇した。近年の温暖化は穀倉地帯のある40°~70°Nの大陸上でもっとも大きく、これからも上昇することが予想されている^{1,2)}。その結果、主要穀類の生産地では、環境が作物栽培に適さなくなる可能性が懸念されている³⁾。

Katsuo OKAMOTO, Hiroyuki KAWASHIMA and Michikazu FUKUHARA: Global prediction of area change of suitable districts for cereal cultivation caused by global warming

IPCC (1996 b) は、気候変動が農業生産に与える影響は正と負の面があり、良くなる地域と悪くなる地域を正確に識別することはきわめて困難である、と報告している⁴⁾。しかし、現在、主要穀類生産地の位置を正確にしめした地図さえも存在していない。したがって、将来の世界の穀物生産量を予測するためには、主要穀類の現在の栽培地域を把握し、将来の変動を予測することが不可欠である。

そこで、この研究では、耕地とその環境が持つ、作物生産能力に注目し、「栽培適地」という概念を導入した。そして、我々は、人工衛星データから農業的土地利用の場所を抽出し、気象データと土壌データを使って、地球規模で主要穀類の栽培適地を抽出し、その面積を推定する手法を開発した。さらに、この手法の応用として、気候変動シナリオを用いて、地球温暖化

によって、主要穀類の栽培適地とその面積がどのように変化するか予測した。なお、この論文では、主要穀類はイネ、コムギ、トウモロコシ、ダイズを指す。

2. 栽培適地の定義

我々は以下のモデルで栽培適地 CPA を定義する。

$$CPA = PA \{BC, Ae(S, At, Sm)\}, \quad (1)$$

ここで、 BC は植生量変動パターン、 S は土壌型、 At は固有の温度要求度、 Sm は水分要求度、 $Ae(x)$ は農業環境条件 x を満たす地域を抽出する関数、 $PA(y)$ は条件 y を満たす地域を抽出する関数である。

この論文では、平年の NDVI (植生指数: Normalized Difference Vegetation Index) の年間変動を植生量変動パターンと呼ぶ。NOAA/GVI (Global Vegetation Index) データを用いて、北半球の代表的な主要穀類生産地の植生量変動パターンの平均を調べると、図1のようになる⁵⁾。李ら (1992) によれば、このパターンを使って、農業的土地利用の場所 (以下、農業地帯) を抽出することができる⁶⁾。

土壌は、その物理的性質と化学的性質も考慮して分類されている⁷⁾。土壌の成因には、気候的要素や地形的要素も含まれている。したがっ

て、土壌型は、栽培適地をきめるうえで、要因の一つになる、と考えるのが合理的である。

固有の温度要求度は、通常、有効積算温度が使われる。水分要求度は、同じ考え方をを使うと、有効積算土壌水分量となる。土壌水分量は、清野 (1990) と Hillel (1971) によれば、降水量と気温、土壌型の関数として記述できる^{8, 9)}。

3. データと解析

(1) 使用データ

農業地帯の候補を抽出するための植生量変動パターン・データ BC には、NOAA/GVI データから作成された世界植生地図^{10, 11)} を用いた。

土壌型のデータ S には、FAO 世界土壌図^{7, 11)} を用いた。

栽培作物固有の温度要求量のデータ At は、IIASA (International Institute for Applied System Analysis) の気候データ・月間平均気温¹¹⁾ を用いて、計算した。

水分要求度 Sm は、IIASA の気候データ・月間平均降水量¹¹⁾ を用いて、計算した。

二酸化炭素濃度倍増 (以下、 $2 \times CO_2$) 時の気候変動シナリオには、Geophysical Fluids Dynamics Laboratory (GFDL) のモデルを採用し、その地表面気温および降水量変化予測図¹²⁾ を用いた。このモデルによれば、 $2 \times CO_2$ 時に、

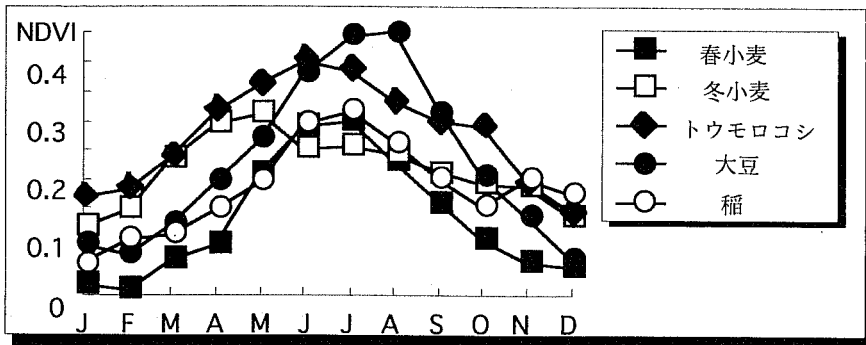


図1 北半球の主要穀類等 (コムギ、イネ、ダイズ、トウモロコシ) の生産地域の植生指数 (NDVI) 年間変動パターン⁵⁾

中緯度では2~4℃上昇する。

民共和国国家農業地図集¹⁴⁾を参照し、22地域を
選んだ(表1)。

各穀類の代表的生産地域には、THE TIMES
ATLAS の世界食料生産地分布図¹³⁾と中華人

表1 代表的な主要穀類生産地の中心座標と土壌、積算気温、積算降水量

No.	種類	生産地	経度	緯度	主な土壌型	積算気温 (°C)	積算降水量 (mm)
1	冬コムギ	米国	99 00' W	37 20' N	Kastanozems, Phaeozems, Regosols	2223~2614	219~266
2	春コムギ	カナダ	103 00' W	48 00' N	Kastanozems, Regosols	1623~2029	156~232
3	コムギ	東ヨーロッパ (ロシア)	45 00' E	52 00' N	Chernozems	1731~1928	120~155
4	コムギ	ロシア	65 00' E	54 00' N	Chernozems, Solonetz	1569~1844	118~175
5	コムギ	中国	116 00' E	37 30' N	Gleysols, Fluvisols	2462~2660	375~477
6	コムギ	アルゼンチン	65 00' W	37 00' S	Xerosols, Kastanozems	1986~2081	111~231
7	コムギ	オーストラリア (西海岸)	118 00' E	32 00' S	Planosols, Solonetz, Solonchaks	2054~2140	31~46
8	コムギ	オーストラリア (東海岸)	143 00' E	36 30' S	Planosols, Vertisols, Luvisols	1755~2061	58~92
9	イネ	中国1	115 25' E	27 30' N	Acrisols, Vertisols	2257~2611	445~656
10	イネ	中国2	118 00' E	31 30' N	Gleysols, Lithosols	2253~2479	397~491
11	イネ	バングラデシュ	88 00' E	25 00' N	Gleysols, Luvisols, Cambisols	2511~2751	536~1481
12	イネ	ミャンマー	95 00' E	16 30' N	Gleysols	2451~2579	1258~1870
13	ダイズ	米国	88 00' W	39 00' N	Planosols, Phaeozems, Luvisols	2226~2373	261~292
14	ダイズ	中国	115 00' E	34 08' N	Gleysols	2449~2644	266~355
15	トウモロコシ	米国1	94 00' W	34 00' N	Acrisols, Phaeozems, Planosols	2444~2624	215~270
16	トウモロコシ	米国2	80 00' W	35 00' N	Acrisols	2297~2501	294~453
17	トウモロコシ	ロシア	36 00' E	48 00' N	Chernozems	1842	111~136
18	コムギ, トウモロ コシ	米国	92 00' W	42 00' N	Phaeozems, Luvisols	1933~2246	278~325
19	コムギ, トウモロ コシ	東ヨーロッパ	27 00' E	44 00' N	Chernozems, Phaeozems, Luvisols	1853~1914	105~177
20	コムギ, ダイズ, トウモロコシ	中国	116 00' E	34 00' N	Gleysols	2416~2553	330~386
21	コムギ	オーストラリア (東海岸)	149 00' E	32 00' S	Luvisols, Planosols, Acrisols, Nitosols, Kastanozems	1942~2143	126~265
22	コムギ	ブラジル	54 04' W	28 00' S	Ferralsols	2035~2259	395~478

注) 積算気温と積算降水量は、北半球では6~8月、南半球では12~1月のものである。表には、平均値±2σの範囲をしめた。

(2) 栽培適地の推定と環境変化にともなう変動予測の方法

主要穀類（夏作物）の栽培適地を、以下の手順で推定した。

1) 植生量変動パターン BC の決定

世界植生地図から、落葉樹林帯と草地を農業地帯の候補として選んだ。

2) 土壌型 S の決定

代表的な生産地域の主要土壌群 main soil grouping⁷⁾ を、占有面積の多い順に、90%以上を占めるように選び、その穀類の栽培に適する土壌型とした。

3) 固有の温度要求量 At の決定

代表的な生産地域の積算気温（北半球は6～8月、南半球は12～1月）の平均値±2σを、その作物固有の温度要求度とした。

4) 土壌水分 Sm の決定

同じく積算降水量（北半球は6～8月、南半球は12～1月）の平均値±2σを、その作物固有の水分要求度とした。

5) 関数 $Ae(x)$ の適用

穀類ごとに、条件2)～4)を満たす地域を、主要穀類の栽培に適した農業環境条件の地域として抽出した。

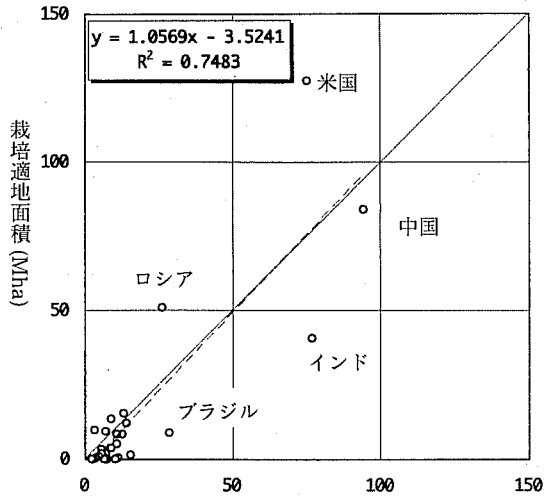
6) 関数 $PA(y)$ の適用（栽培適地 CPA の決定）

条件1)と5)から現在の主要穀類栽培適地を抽出し、同じ場所を複数回カウントしないようにして面積を集計した。

同様にして、地球温暖化後の主要穀類の栽培適地面積を予測した。

4. 現在の主要穀類等栽培適地

栽培適地全体の面積は、515 Mha (Million ha) であった(表2)。これは、全耕地面積1,342 Mha の38.4%にあたり、主要穀類延べ収穫面積558 Mha にほぼ匹敵する値である〔統計値は、いずれもFAO(1995)の1993年の値¹⁵⁾〕。上位30カ国の主要穀類延べ収穫面積と栽培適地面積をプロットすると、回帰直線の傾きはほぼ1に



FAOの統計(1993)値にもとづく
主要穀類全収穫面積 (Mha)

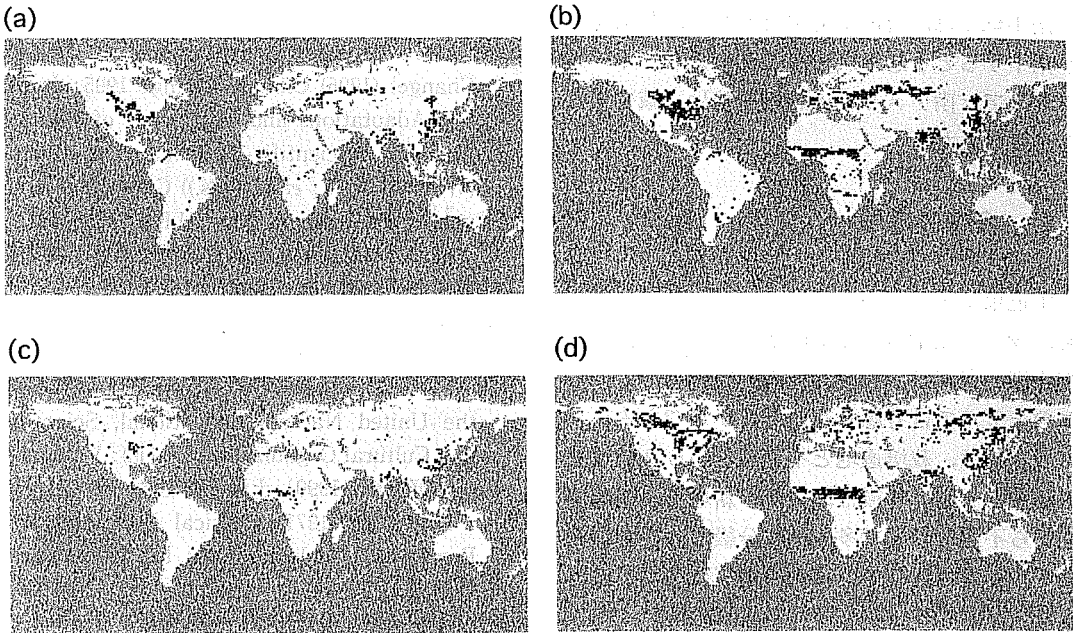
図2 上位30カ国の主要穀類延べ収穫面積 (FAO(1995)の1993年の値¹⁵⁾) と栽培適地面積の関係

表2 我々の手法で推定した主要穀類の栽培適地面積と統計上の収穫面積の比較

(単位はMha (Million ha)。統計値はFAO(1995)より引用した¹⁵⁾)

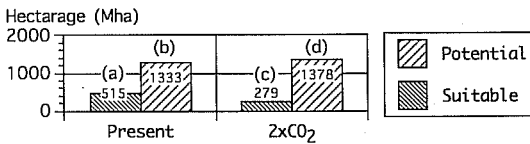
大陸	栽培適地面積	主要穀類の収穫面積	全穀類の収穫面積
北アメリカ	146.467	100.630	92.777
南アメリカ	28.414	46.974	33.176
アフリカ	78.949	37.549	79.862
オセアニア	13.475	9.141	14.459
ユーラシア (ヨーロッパ&アジア)	247.276	363.845	469.138
World Total	514.582	558.139	689.412

* コムギ、イネ、ダイズ、トウモロコシの合計 (延べ面積)



(a)現在の栽培適地, (b)現在の栽培可能地域,
 (c)地球温暖化後(2×CO₂時)の栽培適地,
 (d)地球温暖化後(2×CO₂時)の栽培可能地域

図3 主要穀類(コムギ, イネ, ダイズ, トウモロコシ)栽培適地・可能地域



(a)~(d)は図3に対応する。

図4 主要穀類栽培適地・可能地域面積

なり、重相関係数 R^2 は0.75と高い(図2)。アメリカ合衆国の栽培適地面積が、統計値より46%ほど多く見積もられている。この差は、耕地になっていない原野と休耕地によるものと推察され、主要穀類の生産余力があるといえる。

5. 地球温暖化後(2×CO₂時)の主要穀類等栽培適地と栽培可能地域

地球温暖化(2×CO₂)時の主要穀類の栽培適地面積の予測結果を、図3と4にしめす。現在の主要穀類の栽培適地面積515 Mhaに対し、2×CO₂時には、栽培適地面積は279 Mhaで、46%減と予測された(図3(a)と(c), 図4)。裁

培適地の条件のうち、気象の条件を人工的に制御するのは、不可能であるが、土壌は、不可能ではない。そこで、主要穀類の栽培に適した農業環境条件から土壌の条件を除いた地域(栽培可能地域)を推定した。すると、現在の栽培可能地域面積1,333 Mhaに対し、2×CO₂時は1,378Mhaで、3%増と予測された(図3(b)と(d), 図4)。

温暖化にともない、北アメリカでは、コムギ栽培に適した気象条件の地域は北上し、土壌肥沃度の低い地帯、たとえば、ポドゾルビゾルやポドゾル地帯へ移動することが予想された。その結果、栽培適地が大幅に減少すると予測される。気候変動シナリオによると、北半球の中緯度の小雨地帯では、土壌水分が減少することになる。その結果、ヨーロッパではコムギ・トウモロコシ栽培適地が消滅し、中国では内陸部の栽培適地が減少すると予測された。しかし、中緯度の多雨地帯や低緯度地帯は、温暖化の影響を受けないか、むしろ良くなると予測された。

南半球では、温度上昇にともない、栽培適地が南下すると予想される。これにより、オーストラリアと南アメリカの栽培適地は、減少すると予測された。

6. 今後の課題

中近東やアメリカ合衆国の(半)乾燥地帯でも、少なく見積られる傾向がある。これは、灌漑設備の有無は、社会的経済的要因なので、我々のモデルでは考慮しなかったからである。この研究では、栽培適地と不適地という2値状態のみを扱った。今後は、実際の耕地を、栽培適地から不適地の間で多段階に分級し、社会経済モデルと連動させて、耕地の増減について検討したい。

(*農業環境技術研究所 地球環境研究チーム)

(**農業環境技術研究所 環境管理部長)

引用文献

- 1) CGER (Center for Global Environmental Research) (1996) CGER-REPORT: Data Book of Sea-Level Rise., (Mimura, N. (ed.)), National Institute for Environmental Studies, Environment Agency of Japan (Tsukuba): 87 p.
- 2) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996) Climate Change 1995: The Science of Climate Change. (Houghton, J. T. *et al.* (eds.)) Cambridge University Press (Cambridge, U.K.): 137~139
- 3) Parry, M. L. (1990) Climate Change and World Agriculture., Earthscan Publications Ltd., (London, U.K.): 157 p.
- 4) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996) Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses., (Watson, R. T. *et al.* (eds.)) Cambridge University Press (Cambridge, U.K.): 429~467
- 5) 岡本勝男 (1995) 日本写真測量学会年次学術講演会発表論文集 (東京): 155~158
- 6) 李 雲慶 他 (1992) 写真測量とリモートセンシング, 31 (4): 4~14
- 7) FAO-Unesco (1974) Soil Map of the World., the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Paris): Volume I
- 8) 清野 裕 (1990) 土壌の物理性, 61: 11~18
- 9) Hillel, D. (1971) Physical Principles and Processes., Academic Press, Inc. (New York, U.S.A.): 7~14
- 10) 本多嘉明 他 (1992) 写真測量とリモートセンシング, 31 (1): 4~14
- 11) CGER (Center for Global Environmental Research) (1994) GRID Global Data Sets: Documentation Summaries., (Harasawa, H. (ed.)) National Institute for Environmental Studies, Environment Agency of Japan (Tsukuba): 65 p.
- 12) Houghton, J. T. *et al.* (1990) Climate Change The IPCC Scientific Assessment., CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS (Cambridge): 165~168
- 13) Geelan, P. J. M. and Lewis OBE, H. A. G. (1992) THE TIMES ATLAS OF THE WORLD., TIMES BOOKS (London): Plate 6
- 14) 国家地図編集委員会編 (1989) 中華人民共和国国家農業地図集, 中国出版社 (北京): 165 p.
- 15) FAO (1995) FAO Yearbook Production, FAO Statistics Series No. 125, 48: 3~107