

日本学士院賞 受賞者

堀江

武



専攻学科目 作物学

生年 昭和十七年 八月
略歴 昭和四〇年 三月
同 四〇年 四月
同 五六年十一月
同 五八年十二月
同 五九年 四月
同 六〇年 四月
平成 九年 四月
同 一八年 三月
同 一八年 四月
同 二六年 五月

京都大学農学部農学科卒業

農林省農業技術研究所物理統計部研究員

農学博士

農林水産省農業環境技術研究所環境資源部主任研究官

農林水産省北陸農業試験場環境部研究室長

京都大学農学部教授

京都大学大学院農学研究科教授

京都大学名誉教授

農業・食品産業技術総合研究機構理事長（平成二六年三月まで）

農業・食品産業技術総合研究機構特別顧問（平成二八年三月まで）

農学博士堀江 武氏の「アジア稲作に及

ぼす地球温暖化の影響に関するシステム

農学的研究」に対する授賞審査要旨

大気中の温室効果ガスの濃度上昇に伴う地球温暖化は、アジアの主要食料であるコメの生産に対する影響を介して二一世紀のアジア社会に大きな困難を招くことが憂慮されており、その影響を解明し必要な対策を講じることが農学の喫緊の課題である。堀江 武氏は、日本およびアジアの代表的な水稲品種を環境の大きく異なるアジア各地で統一した方法で栽培して得たデータを基に、工学で発達したシステム解析的手法を導入して環境と水稲の生育・収量の関係をモデル化し、環境が水稲生産に及ぼす影響を予測するシステム農学的手法を開発し、アジアの多様な環境条件下で水稲品種が示す生育・収量の高い精度で予測することに成功した。次いで、大気CO₂濃度と気温の水稲に対する複合影響に関する自身の研究成果をこのモデルに組み込み、予測される地球温暖化がアジア各地の灌漑水稲の生産に及ぼす影響を解明した。最後に、これらの成果を基に、温暖化気候に適応し、近未来の食料需要に対応しうる水稲品種開発の

目標形質とその遺伝資源を探索した。以下に、これら一連の研究業績を概説する。

(1) 水稲の生育・収量を予測するプロセスモデルの開発

堀江氏は、全国ネットワーク試験とアジアネットワーク試験を実施し、水稲の生育関連諸要素の経時的変化に関するデータを収集した。これに既往の文献から収集した遺伝子型と環境の相互作用に関するデータを併せ、各地の主要品種のバイオマス重や収量などに関する「遺伝子型」×「環境」のデータベースを構築した。また、アジアの主要稲作地帯から収集した過去の長年にわたる日別気象のデータベースを構築した。この二つのデータベースを用い、多様な「遺伝子型」×「環境」の組合せについて、水稲の生育・収量の形成プロセスを連立微分方程式で記述し、シンプレックス法の関数最適化アルゴリズムを用いてモデルの構造と各種パラメータを決定し、水稲の生育・収量の動的予測モデルを開発した。これに、データベース化されている対象地域の環境条件と品種特性を示すパラメータ値および移植時の生育初期値を入力することにより、主要水稲品種の潜在的生育・収量を予測するモデル「SMRW」と、これに窒素の吸収・同化と生理機能に関わる過程を組み込んだ生育・収量予測モデル「GEMRICE」を開発し、これらから予測される数値

が上記のネットワーク試験などから得られた生育・収量の実測値によく合致することを示した。

(2) 地球温暖化がアジアの水稲生産に及ぼす潜在的影響の予測

「SMIRW」による大気温暖化の水稲生産に及ぼす影響の予測には、その生育・収量に対するCO₂濃度と温度の複合的影響を知る必要がある。そこで、任意のCO₂濃度下で多段階の温度条件を作出できる温度傾斜型温室を開発して多様な品種の栽培試験を行い、①現行気温条件下での大気CO₂濃度の倍増は水稲の収量を最大で約30%増加させること、②CO₂による増収効果には大きな品種間差異が見られ、インド型品種の中に日本型品種を顕著に上回るものがあること、および、③CO₂の増収効果は温度の上昇とともに減少し、ある温度を超えると減収になることなどを明らかにした。次に、三つの大気大循環モデル、GFDL、GISS および UKMO が予測する大気CO₂濃度倍増時の気候値を「SMIRW」に入力し、アジア各地における温暖化による水稲収量の変化を予測した。その結果は、用いた大気大循環モデルによって異なるが、総じて温暖化が中国東北部などのアジア北部地域と赤道近くのマレーシア、インドネシアなどの熱帯地域で水稲収量を増加させ、逆に、中国やインドの内陸部およびインドシナ半島の諸国では減少させることを示し、地球温暖化

がアジアの米穀生産に深刻な影響を与えることを明らかにした。

(3) 水稲の温暖化気候適応性の支配形質とその遺伝資源の同定

堀江氏は温暖化気候と近未来の食料需要増への対応策として、遺伝的形質を異にする多様な水稲品種についてのモデル解析と実験研究を進める中で、水稲の高温不稔に対する耐性の強化と、高CO₂濃度下で高い生産性を発揮する品種の開発が重要であることを見出した。まず、高温不稔耐性に関しては、水稲穎果の高温不稔発生の機構解明から、高温不稔耐性の強い品種は葯の裂開腔が大きいことを明らかにし、この形質を品種開発の指標として提示した。次に、高CO₂濃度の大気下で高い生産性を示す品種は、気孔CO₂拡散コンダクタンス(注:CO₂が気孔を通る時の通りやすさ)と単位窒素当たりの穎花分化能が高く、二次枝梗の着生穎花数が多いことを明らかにし、農業生物資源研究所(現:農業・食品産業技術総合研究機構)保有のイネ遺伝資源コアコレクションから、気孔CO₂コンダクタンスの高い遺伝子型としては中国在来型のインド型品種とバンングラデシュ在来の日本型品種を、穎花分化能の高い遺伝子型としてはインド型アウス品種を特定し、これらが今後の品種開発の重要遺伝資源になることを示した。

以上のように、堀江氏はアジア稲作に対する地球温暖化の影響予

測に関するシステム農学的研究に先駆的業績を挙げ、その成果は気候変動に関する政府間パネルの報告書などを通じて温暖化防止の国際世論の形成に貢献することにも、内外の多くの研究機関において地球温暖化と食料問題の解決のための研究に利用されてきた。また、堀江氏はアフリカ稲センターの理事と国際研究プログラム「気候変動と農業及び食料安全保障」の科学委員を歴任し、稲作に関わる国際組織の活動にも貢献した。これら一連の業績により、日本農業気象学会賞、日本農学賞および日本農業研究所賞を受賞している。

主要な著書・論文の目録

I. 著書

- 1) Horie, T. (1994) Crop ontogeny and development. In: Boote, K.J., Bennett, J.M., Sinclair, T.R. and Paulsen, G.M. (Eds.) *Physiology and Determination of Crop Yield*. Amer. Soc. Agronomy, Madison, WI, USA, pp. 153-180.
- 2) Horie, T., Nakagawa, H., Centeno, H.G.S. and Kropff, M.J. (1995) The rice crop simulation model SIMRIW and its testing. In: Matthews, R.B., Kropff, M.J., Bachelet, D. and van Laar, H.H. (Eds.) *Modeling the Impact of Climate Change on Rice Production in Asia*. CAB International, Oxon, UK, pp. 51-66.
- 3) Matthews, R.B., Horie, T., Kropff, M.J., Bachelet, D., Centeno, H.G., Shin, J.C., Mohandass, S., Singh, S., Zhu, D. and Lee, M.H. (1995) A regional evaluation of the effect of future climate change on rice production in Asia. *Ibid.*, pp. 95-139.
- 4) Horie, T., Nakagawa, H., Ohnishi, M. and Nakano, J. (1995) Rice production in Japan under current and future climates. *Ibid.*, pp. 143-164.

- 5) Horie, T., Homma, K. and Yoshida, H. (2007) Physiological and morphological traits associated with high yield potential in rice. In: Aggarwal, P.K., Latha, J.K., Singh, R.K., Devakumar, C. and Hardy, B. (Eds.) *Science, Technology, and Trade for Peace and Prosperity*. International Rice Research Institute (IRRI), Indian Council of Agricultural Research, and National Academy of Agricultural Sciences, New Delhi, India, pp. 149-159.
- 6) 堀江 武・吉田ひろえ (二〇一〇) 地球温暖化が水稻生産に及ぼす影響の予測。小川利紘・及川武久・陽 捷行(編)『地球変動研究の最前線を訪ねる 人間と大気・生物・水・土壌の環境』清水弘文堂書房、東京 三一九-三三四頁。
- 7) 堀江 武 編著 (二〇一五)『アジア・アフリカの稲作 多様な生産生態と持続的発展の道』農山漁村文化協会、東京 全二七六頁。

II. 原著論文

- 1) Horie, T. (1978) Studies on photosynthesis and primary production of rice plants in relation to meteorological environments. I. Gaseous diffusive resistances, photosynthesis and transpiration in the leaves as influenced by radiation intensity and wind speed. *J. Agric. Meteor.* 34: 125-136.
- 2) Horie, T. (1979) Studies on photosynthesis and primary production of rice plants in relation to meteorological environments. II. Gaseous diffusive resistances, photosynthesis and transpiration in the leaves as influenced by atmospheric humidity, and air and soil temperatures. *J. Agric. Meteor.* 35: 1-12.
- 3) Horie, T. (1980) Studies on photosynthesis and primary production of rice plants in relation to meteorological environments. III. A model for the simulation of net photosynthesis, transpiration and temperature of a leaf and a test of its validity. *J. Agric. Meteor.* 35: 201-213.
- 4) 堀江 武 (一九八二) 気象と作物の光合成・蒸散そして生長に関するシステム生態学的研究。農技研報A二八: 一〇一-一八一。

- 5) 堀江 武・桜谷哲夫(一九八五) イネの生産の気象的評価・予測法に
関する研究(一) 個体群の吸収日射量と乾物生産の関係. 農業気象四
〇: 三三三―三四二.
- 6) Horie, T. (1987) A model for evaluating climatic productivity and water bal-
ance of irrigated rice and its application to Southeast Asia. Southeast Asian
Stud. 25: 62-74.
- 7) Sinclair, T.R. and Horie, T. (1989) Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop ra-
diation use efficiency: A review. Crop Sci. 29: 90-98.
- 8) 堀江 武・中川博視(一九九〇) イネの發育過程のモデル化と予測に
関する研究 第一報 モデルの基本構造とパラメータの推定法および出穂
予測への適用. 日作紀五九: 六八七―六九五.
- 9) Horie, T., Yajima, M. and Nakagawa, H. (1992) Yield forecasting. Agric. Syst.
40: 211-236.
- 10) Horie, T. (1993) Predicting the effects of climatic variation and elevated CO₂
on rice yield in Japan. J. Agric. Meteor. 48: 567-574.
- 11) Horie, T., Nakagawa, H., Nakano, J., Hamotani, K. and Kim, H.Y. (1995) Tem-
perature gradient chambers for research on global environment change. III. A
system designed for rice in Kyoto, Japan. Plant, Cell Environ. 18: 1064-1069.
- 12) 金 漢龍・堀江 武・中川博視・和田晋征(一九九六) 高温・高CO₂濃
度環境が水稻の生育・収量に及ぼす影響. 第二報 収量および収量構成
要素について. 日作紀六五: 六四四―六五一.
- 13) Hasegawa, T. and Horie, T. (1996) Leaf nitrogen, plant age and crop dry matter
production in rice. Field Crops Res. 47: 107-116.
- 14) Matsui, T., Nannuco, O.S., Ziska, L.H. and Horie, T. (1997) Effects of high
temperature and CO₂ concentration on spikelet sterility in indica rice. Field
Crops Res. 51: 213-219; Erratum (1998) Field Crops Res. 55: 189.
- 15) Mathews, R.B., Kropff, M. J., Horie, T. and Bachelet, D. (1997) Simulating
the impact of climate change on rice production in Asia and evaluating options
for adaptation. Agric. Syst. 54: 399-425.
- 16) Horie, T., Ohnishi, M., Angus, J.F., Lewin, L.G., Tsukaguchi, T. and Matano, T.
(1997) Physiological characteristics of high-yielding rice inferred from
cross-locational experiments. Field Crops Res. 52: 55-67.
- 17) Matsui, T., Omasa, K. and Horie, T. (1999) Mechanism of anther dehiscence in
rice (*Oryza sativa* L.). Ann. Bot. 84: 501-506.
- 18) Nakagawa, H. and Horie, T. (2000) Rice responses to elevated CO₂ and tem-
perature. Global Environ. Res. 3: 101-113.
- 19) Matsui, T., Omasa K. and Horie, T. (2001) Comparison between anthers of two
rice (*Oryza sativa* L.) cultivars with tolerance to high temperatures at flowering
or susceptibility. Plant Prod. Sci. 4: 36-40.
- 20) Horie, T. (2004) Determination of the yield potential and associated traits in
rice. Gamma Field Symp. 43: 1-13.
- 21) Yoshida, H., Horie, T. and Shiraiwa, T. (2006) A model explaining genotypic
and environmental variation of rice spikelet number per unit area measured by
cross-locational experiments in Asia. Field Crops Res. 97: 337-343.
- 22) Horie, T., Matsuura, S., Takai, T., Kuwasaki, K., Ohsumi, A. and Shiraiwa, T.
(2006) Genotypic difference in canopy diffusive conductance measured by a
new remote-sensing method and its association with the difference in rice yield
potential. Plant, Cell Environ. 29: 653-660.
- 23) Kanemura, T., Homma, K., Ohsumi, A., Shiraiwa, T. and Horie, T. (2007)
Evaluation of genotypic variation in leaf photosynthetic rate and its associated
factors by using rice diversity research set of germplasm. Photosynth. Res. 94:
23-30.
- 24) Ohsumi, A., Hamasaki, A., Nakagawa, H., Yoshida, H., Shiraiwa, T. and Horie,
T. (2007) A model explaining genotypic and ontogenetic variation of leaf pho-
tosynthetic rate in rice (*Oryza sativa*) based on leaf nitrogen content and sto-
matal conductance. Ann. Bot. 99: 265-273.

- 25) Yoshida, H. and Horie, T. (2009) A process model for explaining genotypic and environmental variation in growth and yield of rice based on measured plant N accumulation. *Field Crops Res.* 113: 227-237.
- 26) Yoshida, H. and Horie, T. (2010) A model for simulating plant N accumulation, growth and yield of diverse rice genotypes grown under different soil and climatic conditions. *Field Crops Res.* 117: 122-130.
- 27) Yoshida, H., Horie, T., Nakazono, K., Ohno, H. and Nakagawa, H. (2011) Simulation of the effects of genotype and N availability on rice growth and yield response to an elevated atmospheric CO₂ concentration. *Field Crops Res.* 124: 433-440.

上記以外に著書・総説七四編、原著論文一四二編