

## 現場と研究の接点で生まれるイノベーションが農業の適応力を高める

小林和彦\*

〔キーワード〕: 気候変化, 適応, イノベーション,  
土壌凍結深制御, 有機農法

## 1. 変化する気候と社会への農業の適応

人間活動から放出される温室効果ガスの増加が、気候を変化させつつあり、それは今後一層進むとみられる。それに対して、温室効果ガスの放出量を減らす努力（緩和）がまず必要であるが、同時に気候変化で生じる負の影響を減らし、新たな気候を活かすこと（適応）も大切である。農業とくに土地利用型の農業は、気候に大きく依存するだけでなく、最大の温室効果ガスである二酸化炭素の濃度上昇によっても変化するため、適応の必要性と可能性の両方が高い。

ある地域の農業が気候変化へ適応するには、農家の大多数が適応策を実施する必要があるが、したがって有効な適応策と同じくらいに、農家が受け入れやすい適応策が大切である。ところが、良い対策を立てることと、それを多くの人が採用することが別物であることは、あまりよく理解されていない。「技術者は、良いイノベーションは多くの人に容易に理解されて、速やかに広まっていくと考えるが、そのようなことはめったに無い」と断言したのは、Rogers (2003) である。イノベーション（この場合は気候変化への適応策）が人々に受け入れられるのは、ひとつの社会現象であり、そのため当のイノベーション以外の要素がその広がりや左右するのである。

今変化しつつあるのは気候だけではない。日本では、人口転換 (demographic transition) と食遷移 (dietary transition) という社会の長期的変化が、高齢化、人口減少、食料需要の変化を通して、農業に大きな影響を及ぼしてきた。そこをロシアのウクライナ侵攻などの国際関係の変動が襲い、日本社会と農業の脆弱性が露わになったのが現状であろう。こうした社会変化に対しても、気候変化への対応と同じく緩和と適応の両方が必要であり、適応について

は上記の指摘がそのまま当てはまる。

気候と社会の変化に対して、農家に広く受け入れられる適応策とは、どのようなものだろうか？私は、気候や水文の変化への農業の適応に関心を抱いて研究を進める中で、農家の自発的な適応が他の農家へ受け入れられ、広まっていくこと、そしてその現象が、Rogers の確立した「イノベーションの普及」で、うまくとらえられることを見出した (Fujisawa and Kobayashi, 2013)。以下、変化への適応に有効な技術が農業の現場で編み出された3つの事例を取り上げて、気候と社会の変化への農業の適応に、農業がどう貢献できるのかを考える。

一つ目の事例は、北海道十勝の土壌凍結深制御である。この技術はすでに 2015 年の日本農学会シンポジウムで紹介されたが (広田 2015)、ここではその技術が開発され広まった経過を、イノベーションの普及として示す。野良イモ (次で説明する) 防除技術として、十勝で開発された土壌凍結深制御は、オホーツクへ移転されたところ、同地の主要作目であるタマネギの増収にも有効な技術として新たに展開されるに至った。その経過を二つ目の事例として紹介する。

三つ目は、栃木県野木町の農家館野廣幸氏の有機稲作農法である。日本政府の「みどりの食料システム戦略」は、すでに谷口 (2022) が論じたが、石油に依存した生産性向上から、持続可能性の高い農業へ向かう世界の潮流に、日本も乗り遅れまいとする行政意志の現れであろう。館野氏の農法は、そうした流れへの転換に有望な答えを与える。

2. 北海道十勝地方における  
土壌凍結深制御の開発と普及

北海道十勝地方の農業は、冬季の低温による土壌凍結に長年制約されてきたが、1980 年代後半以降に、土壌凍結深が浅くなり始めた。この原因は気温上昇ではなく、積雪時期が早まった結果、地面が従来よりも早く雪により断熱されるためであった (Hirota

\*東京大学大学院 農学生命科学研究科 (Kazuhiko Kobayashi)

et al., 2006). 土壌凍結が浅くなった結果、ジャガイモを機械収穫した際に取り残した小イモが、地中で凍結死滅することなく越冬し、翌年の夏作圃場に野良イモとして出現するようになった。野良イモは、土壌養分を吸収して成長するため、夏作物の生育を阻害するほか、線虫類の越冬を助けることにもなるので、除去する必要がある。野良イモは、世界的な問題であり、対策として機械的方法や薬剤散布などが行われているが、これで完璧というものは無い (Rahman, 1980)。十勝でも、人手で抜き取らざるを得なくなったが、農繁期の人力での野良イモ除去作業は重労働で、ジャガイモの栽培を止める農家も出てきた。

そうした中で 1990 年頃から、一部の農家が冬の最中に圃場を除雪して土壌凍結を促し、野良イモを防除するようになった (図 1)。この方法は、1980 年に十勝更別の農家である吉田豊氏が、自分の畑で地表付近の小イモが凍死することに気づいて始めたものだ (広田ら, 2021)。吉田氏が開発した除雪による土壌凍結促進は、周囲の農家に徐々に広まり、その過程でさらに改良が加えられ、「雪割り」と呼ばれるようになった。

利用者によるイノベーションのこうした自発的広がりには、「分散型普及」と呼ばれ (Rogers 2003)、利用者が使いやすいように改良が加えられるため、受け入れられやすいという特長がある。ただし分散型普及には、利用者の対処能力を超える課題は解決できないという欠点もある。気候は年々異なるため、毎年同じように除雪しても土壌凍結深が一定せず、年により深く凍らせすぎて、春の融雪遅れが農作業の遅延を招いたり、逆に凍結不足で野良イモが発生



図 1 冬季の除雪による土壌凍結促進 (広田知良原図)

したりした。農家は、その年の土壌凍結の進行を的確に知る手段が無いと、経験と勘で対処する他なく、この方法は一部の農家が採用するに止まっていた (Hirota and Kobayashi, 2019)。

雪割りの問題が解決に向けて動き出したのは、2005 年であった。十勝農業改良普及センターの S 氏が、当時農研機構北海道農業研究センターの広田知良氏に、雪割りの問題を提示したのである。それまでに、広田氏は物理則に基づく土壌温度モデル (Hirota et. al., 2002) を開発していた。そのモデルを使うと、気象条件から土壌凍結の進行を予測できるので、年々の気温や積雪の時間経過に合わせて、土壌凍結を野良イモ防除に最適な深さに制御できる。広田氏らは、十勝地方の農協の連合体である十勝農協連の協力を得て研究を進め、その後は道立十勝農業試験場や農業普及センターとも協力して研究と現地実証試験を行って、土壌凍結深制御技術を確認した。2012 年には、農家はその技術を使って、十勝農協連の情報システム上で雪割りのタイミングを決められるまでになった。そうした現地実証試験やウェブ上での利用法の開発により、土壌凍結深制御技術は多くの農家に受け入れられて、十勝での適用面積は、2013 年時点で約 5,000 ha に達した (Hirota and Kobayashi, 2019)。

上記の土壌凍結深制御技術の開発・普及過程は、2005 年以降だけを見れば、研究機関が開発した技術を、普及機関が広めた、典型的な「集中型普及」 (Rogers, 2003) とみなせる。技術をウェブ上で利用できるようにしたことが、この技術の「社会実装」を進めたとも言えよう。しかし、そうした普及のしかたが役立ったのは、1980 年に吉田氏が除雪による野良イモ防除を発明し、それが農家によって改良され、そして S 氏によって広田氏に提示されたからこそである。土壌凍結深制御技術の開発による気候変動適応への貢献により、広田氏と吉田氏は令和 5 年度の文部科学大臣表彰科学技術賞 (科学技術振興部門) を共同受賞した。農家の同賞受賞は初めてと思われるが、農家イノベーターの貢献が正しく認められたのである。

### 3. 北海道オホーツク地方への土壌凍結深制御の技術移転が生んだ新展開

十勝地方で広く普及した土壌凍結深制御技術は、



図2 冬季の圧雪による土壌凍結促進 (広田知良原図)

北海道のもう一つの主要畑作地帯であるオホーツク地方へ広まった。それには、普及センターの役割が大きく、マニュアル等の文書だけでなく、普及センター職員の異動も技術移転に貢献した。このオホーツクでの展開は、土壌凍結促進技術の新たな発展にもつながった。十勝では「雪割り」による部分除雪が多かったが、オホーツクでは「雪踏み」による圧雪が主流となった(図2)。除雪と圧雪では、それぞれ一長一短あるが、圧雪には使用済みタイヤの利用も可能で、費用を抑えられる長所がある。十勝より積雪深が浅いことも、圧雪による土壌凍結促進を容易にした。

オホーツクではさらに、土壌凍結深制御が野良イモ防除以外に効果のあることが見出された。土壌凍結の促進で、タマネギの収量が増えたのである。このタマネギの増収は、土壌凍結促進によって、融雪水の下方浸透に伴う土壌中無機化窒素の溶脱が減り、土壌に残る窒素量が増え、また土壌凍結により土の物理性が改善した結果であった(小野寺ら, 2022)。オホーツクは、日本最大のタマネギ生産地であるため、こうした効果によって、土壌凍結深制御技術はジャガイモ以外の作目へも適用範囲を拡げた。オホーツクのJAきたみらいでは、農業気象情報をインターネットで配信しているが、そこへ土壌凍結深制御のページが加わり、農家は自分の畑の雪割り・雪踏み作業をモデルに基づいて行っている。土壌凍結深の情報は、さらにオホーツク農協連を通して、オホーツク地域全体に配信されており、この技術の適用面積は、現時点で約3,600 haと推定され

ている。

土壌凍結深制御技術を普及センターがオホーツクへ移転したのは2012年であるが、それ以前の2000年代後半から2010年代前半に、オホーツクでは土壌凍結深が浅くなり、土壌の砕土性低下やタマネギの生産性低下がみられていた。これに対して、先進的な一部のタマネギ農家は、野良イモ対策を応用して圧雪による土壌凍結促進を試みており、そうした動きを受けて、北見農業試験場(当時)の小野寺ら(2022)が2015年に土壌凍結深制御の効果に関する圃場実験を始めたのであった。このようにオホーツクでも、現場の人たちの観察と研究で得られた洞察が組み合わせられて、土壌凍結深制御の新たな展開が生まれた。その際に、土壌凍結深制御の理論がすでに確立されていたことが、新たな用途への展開を速めたものと見られる。

#### 4. 館野氏の「草をとらずして、草を(ほとんど)見ない」有機稲作

栃木県野木町の館野廣幸氏は、1980年代後半から有機農業に取り組み始め、徐々に有機稲作面積を増やしてきた。2014年時点では、自作地2.5 ha、借入地4.3 haの合計6.8 ha全てで有機稲作を行っていた(万木ら, 2018)。その後、基盤整備と区画整理を経て、館野氏の有機稲作面積は2023年現在約15 haに達している。同氏の農法では、化学肥料も農薬も用いず、有機肥料もほとんど投入せずに、慣行よりもやや低い程度の米収量を得ている。除草剤を全く使わないが、イネ栽培期間中の雑草生育を効果的に抑制する一方で、稲収穫後から春先に生育する雑草を、代かき前にすき込んで養分供給に役立てている(涌井・館野, 2008)。

有機農業では、レンゲなどマメ科植物による窒素供給が期待されることが多いが、館野氏の有機稲作では、イネ科雑草スズメノテッポウ(*Alopecurus aequalis*)を主体とする雑草の連年すき込みが水稻の窒素吸収に寄与し、土壌の有機態窒素の維持に役立っている(鳥山ら, 2021)。もし毎年同量の雑草をすき込めば、雑草由来の土壌有機態窒素量は年々増加するが、すき込み開始約10年後に平衡に達する。このことは、館野氏の水田の米収量が、有機栽培継続年数とともに変化する現象を説明できる。有機栽培開始後3ないし4年の水田の米収量は、慣行栽培

収量の約6割に過ぎなかったが、継続年数9ないし10年の水田では慣行と同等かやや低い収量となり、より長い継続年数の水田収量とは差が無かった（今須ら, 2016）。

館野氏の農法の特徴は、上記のように外部からの資源投入の少なさにあるが、もう一つの特徴は、労働投入量の少なさである。私たちは、館野氏の水田の多くにインターバルカメラを設置して、水田内の農作業を計測・記録したが、館野氏は田植え後、収穫まで一度も水田内に立ち入らなかった。追肥も除草も一切しないので、そのための労働時間はゼロである。このように館野氏の農法はきわめて省力的であるため、有機農法としては例外的に大面積に栽培でき、低収量は高販売単価でカバーして、同規模（5-7 ha）の慣行農家の1.5倍強の粗収入を、2014年に得ていた（万木ら, 2018）。

館野氏が除草しないのは、除草しなくても雑草が生えないからで（図3）、たとえ雑草が生えても、翌年は生えないようにできるからでもある。有機稲作農家が共通して最も困っている雑草はコナギ（*Monochoria vaginalis*）である（長谷川, 2008）。館野氏の水田で基盤整備によって表土がかく乱された後に栽培を開始してから、コナギの埋土種子数と残草個体数の経年変化を追った。その結果、埋土種子数はとくに少なくはなかったが、埋土種子数当たりの残草個体数は栽培開始後年々低下し、4年後にはほぼゼロになった（内野ら, 未発表データ）。このように、コナギが生えなくなる現象は確認したが、そのしくみは少しわかり始めたばかりである

（Nozoe et al., 2016）。もし、有機農法を4年続けるだけでコナギが生えなくなるのであれば、長谷川（2008）が調査対象とした、有機栽培継続7年以上の農家がコナギで困るはずはない。それらの農家の稲作と、館野氏の稲作では何が違うのか。館野氏の基盤整備の水田で、コナギが生えなくなるのに約4年間かかったが、その4年間に何が起こったのか？他の農家も、館野氏の農法を採用すれば、同様に4年間前後でコナギが生えなくなるのか？

日本各地で、「みどりの食料システム戦略」への対応が始まって、有機稲作農法が広がりつつある中、館野氏も各地での指導に極めて多忙となった。今後、館野氏の農法の適用が進むとみられるが、上記のような疑問に答えることは、科学的に興味深いだけでなく、この農法を多くの農家が採用するために役立つと期待される。

## 5. 農業の現場で生まれるイノベーションと農学研究の接点

以上紹介したイノベーションには、現場での発見から出発したという共通の特徴がある。畑や田での発見をもとにして、現場の人たちが試行錯誤した結果から、独創的な技術が生まれたのである。かりに、吉田さんが発明し、農家が改良した雪割りが無かったとして、野良イモ多発への対策を迫られた研究機関で、冬の畑を除雪して夏作の野良イモを防ぐ方法を思いつけたであろうか。除草剤散布など既存の方法（Rahman, 1980）による解決に、まず取り組んだのではないかと。館野氏の農法開発の道筋は今後明らか



図3 水張減反部分の雑草生育状況  
館野氏水田（右側正面）は水面がよく見えているが、除草剤施用の慣行農法水田（左側）は、雑草が田面を覆う。畦畔の雑草は、逆に館野氏側（左手前）で繁茂し、慣行側（左手奥）では抑えられている。

かにしたいが、育苗、代かき、田植えから収穫まで、それぞれの作業に工夫をこらした、20年以上にわたる試行錯誤の結果、「草を取らずして草を見ない」という驚くべき農法にたどり着いたのであろう。こうした、現場で生まれるイノベーションでは、自分の田や畑について究極のプロフェッショナルである農家が有利であるが、現場のイノベーターは農家だけではない。今回紹介した土壌凍結深制御のオホーツクでの新展開では、普及センターやJAの技術者が大きな役割を果たした。

現場で生まれたイノベーションには、多くの農家が受け入れやすいという利点がある。分散型普及の過程で加わる改良または「再発明」(Rogers, 2003)は、利用者自身の使い勝手をよくすることで、イノベーションをより広まりやすくする。最初に述べたとおり、変化する気候や社会への農業の適応では、農家が受け入れやすい対策がとても重要である。その意味で、十勝の土壌凍結深制御の開発において、分散型普及で農家間に広まった除雪による土壌凍結促進を、研究によって安定した土壌凍結深制御技術へと進化させ、それを組織的な「集中型普及」で効率的に広めた事例に学ぶことは多い。例えば館野氏の有機稲作農法について、そのしくみを解明することで、より効率的な普及が可能になるだろう。

土壌凍結深制御技術の事例について、イノベーションの時間的展開と主なアクターの役割は、すでにHirota and Kobayashi (2019)が概要を報告しているが、事実経過をより詳細に検討する必要がある。とくに、分散型普及と集中型普及では、アクターの特性も普及の仕組みも大きく異なっており、両者をつなげるのは容易でない。この点について、うまくいった事例だけでなく、うまくいかなかった事例も取り上げた比較検討が必要であろう。

現場イノベーターが起点となった農業技術開発は、日本では珍しくない。敗戦後の日本の米生産を飛躍的に増加させた保温折衷苗代の開発(近藤・岡村, 1947)は、著名な一例である。今回紹介した北海道における土壌凍結深制御の開発も、そうした伝統に連なるものであり、館野氏の有機稲作農法も同様の道を今後歩むと期待される。なお、ユーザーがイノベーションに重要な役割を果たすことは広く知られており(Rogers, 2003)、科学研究用機器の開発や電子機器の製造装置の開発では、ユーザーこそ

がイノベーションの源だという(Hippel, 1991)。このように、現場イノベーターの大切さは日本の農業技術開発に限ったことではない。

日本の農業は、今後さらに激化する気候と社会の大きな変化への適応を迫られる。それに対して農学が貢献するためには、農学者と現場イノベーターの接点をもっと必要である。現場イノベーターを含む多様なメンバーが、組織や分野を超えてフラットにつながり、農業の現場の状況とそれへの対応を議論しあうことが、イノベーションの誕生を促し、変化する気候と社会への農業の適応力を高めるであろう。日本農学会が、分野を超えた農学者間の交流のさらに先に、農業の現場イノベーターたちとのつながりを構想するよう提案したい。

## 引用文献

- Fujisawa, M. and K. Kobayashi 2013. Shifting from apple to peach farming in Kazuno, Northern Japan: Perceptions of and responses to climatic and non-climatic impacts. *Regional Environmental Change* 13:1211-1222. DOI.10.1007/s10113-013-0434-6.
- 長谷川浩 2008. 有機水稲栽培におけるシードバンクとコナギ優占の実態. *有機農業研究年報* 8: 94-108.
- Hippel, E. von 1991. イノベーションの源泉—真のイノベーターは誰か. 榊原清則訳, ダイアモンド社, 東京.
- 広田知良 2015. 北海道発の気候変動適応策, シリーズ 21世紀の農学 ここまで進んだ! 飛躍する農学. 日本農学会編, pp.71-83, 養賢堂, 東京.
- Hirota, T., Y. Iwata, M. Hayashi, S. Suzuki, T. Hamasaki, R. Sameshima and I. Takayabu 2006. Decreasing soil-frost depth and its relation to climate change in Tokachi, Hokkaido, Japan. *Journal of Meteorological Society of Japan* 84: 821-833.
- Hirota, T. and K. Kobayashi 2019. The Roles of farmers, scientists, and extension staff in technology development for soil frost control as an adaptation to climate change in Tokachi, Hokkaido, Japan. In *Adaptation to Climate Change in Agriculture: Research and Practices*. Eds. T. Iizumi, R. Hirata, and R. Matsuda, pp.211-228. Springer Nature Singapore, Singapore.
- 広田知良・中辻敏朗・小南靖弘 2021. 北海道の最新農業気象. 北海道協同組合通信社, 札幌.
- Hirota, T., J.W. Pomeroy, R.J. Granger, and C.P. Maule 2002. An extension of the force-restore method to estimating soil temperature at depth and evaluation for frozen soils under snow. *Journal of Geophysical Research* 107, D24, ACL: 11-1 to 10 (4767, 10. 1029/2001JD001280).
- 今須宏美・山岸順子・小林和彦 2016. 栃木県野木町の農家圃場における有機栽培水稲の生育と収量形成および養分吸収の特徴. 第 242 回日本作物学会講演会 [https://doi.org/10.14829/jcsproc.242.0\\_120](https://doi.org/10.14829/jcsproc.242.0_120)
- 近藤頼己・岡村勝政 1947. 水稲の保温折衷苗代による寒地育苗の改善. *農業と園芸* 22: 561-564.

- Nozoe, T., D. Aoki, H. Matsuoka, K. Matsushima, S. Miura, A. Uchino, and X.-C. Wan 2016. Relationship between physical property of soil and growth of *Monochoria vaginalis* under paddy condition of organic farming-analysis using settled soil volume in water of superficial layer. *Plant Production Science*, 19: 238-245.
- 小野寺政行・中辻敏朗・広田知良 2022. 冬季の土壤凍結深制御による寒地タマネギ畑の土壤理化学性改善と生産性向上効果. *日本土壤肥科学雑誌* 93 : 121-130.
- Rahman, A. 1980. Biology and control of volunteer potatoes-a review. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, 8: 313-319.
- Rogers, E.M. 2003. *Diffusion of Innovations* Fifth edition. Free Press, New York, USA. (三藤利雄訳, 2007年, イノベーションの普及, 翔泳社, 東京)
- 谷口吉光 2022. 「みどりの食料システム戦略」にどう対応すべきか. *農業および園芸* 97 (1) : 39-43.
- 鳥山和伸・網野拓・小林和彦 2021. 有機稲作における休閑期雑草のすき込みは水稻への土壤窒素供給力を高める. *日本土壤肥科学会雑誌* 92 : 356-365.
- 涌井義郎・館野廣幸 2008. *日本の有機農法*. 筑波書房, 東京.
- 万木孝雄・安島悠・小林和彦 2018. 北関東における有機稲作優良経営にみる収益構造の事例分析. *農村研究* 126 : 1-15.