中国農林分野の温室効果ガス削減と環境対策

理事研究員　阮　蔚（Ruan Wei）

〔要　　旨〕

中国は地球温暖化対策に消極的と見られがちだが、現実は積極的に具体策を実行し、先進国にそん色のない実績を示している。農業分野でもエネルギー分野を追うように温暖化対策を進めている。「退耕還林還草」をスローガンとする植林の拡大、農産物残渣の圃場鋤き込みによる土壌中有機物の増殖、化学肥料施用の削減などが主な施策だが、いずれも温暖化対策とともに深刻な環境破壊に直面する中国自身の環境回復、国土保全の狙いもある。中でも進んでいるのは土壌診断による化学肥料の施用削減などコストの削減につながる施策。水田の中干しによるメタン抑制など人手のかかる対策には零細農家が消極的であり、進んでいない。中国政府は食料安全保障政策として穀物や大豆の国内生産を増強する政策を進めつつあり、温暖化対策とのバランスは微妙な段階である。

目　次

はじめに
1　中国の農業分野の温室効果ガス排出状況
(1)　野心的な排出削減目標
(2)　中国農業分野のGHG排出量
(3)　世界二大農業分野排出国
(4)　生存排出
2　GHG吸収源拡大対策
(1)　大きな成果を見せているGHG吸収源拡大
(2)　森林吸収源対策
(3)　農地土壌の吸収源対策
3　削減を探る農業分野のGHG排出
(1)　土壌診断による化学肥料施用量の削減
(2)　稲作のメタン（CH_4）排出量削減への取組み
(3)　低メタン放出の稲品種
むすびに

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

はじめに

地球温暖化による気候変動は今や、各国での災害多発に止まらず、干ばつ、洪水など農業生産に直接的な影響を及ぼし、人類の生存を左右する脅威となった。主要国を中心に、温暖化ガス削減が本格的に進められるようになって30年が過ぎようとしており、石炭火力発電の削減、再生可能エネルギーの利用急拡大など一部では二酸化炭素排出削減が効果を見せ始めている。1997年の気候変動枠組み条約第３回締約国会議（COP3）で決議された「京都議定書」では欧州、米国、日本など先進国に削減義務が課され、2015年のCOP21で決議された「パリ協定」では中国を含む途上国にも削減努力が課された結果である。その中で、温暖化対策の必要性が深く認識されないまま、進展していない大きな分野が農業であり、「温暖化対策の暗黒大陸」とも呼ばれている。世界の温暖化ガスの約２割を排出している農林業分野を抜きに気候変動対策は成り立たない。中国は世界最大の温室効果ガス排出国であり、農業分野でもインドと並ぶ二大排出国である。本稿はまず中国の農林分野の温室効果ガス排出状況を概観したうえで、中国政府による温室効果ガスの排出削減策としての化学肥料の投入低減策と稲作における土壌対策、さらに温室効果ガスの吸収量拡大を狙った植林と土壌有機物の施策を紹介し、その効果を考察したい。耕種部門と並ぶ主要な温室効果ガス排出源である畜産分野については本稿では簡単な現状説明にとどめ、詳しい分析は稿を改めたい。

1　中国の農業分野の温室効果ガス排出状況

(1)　野心的な排出削減目標

中国は2020年９月の国連総会で、習近平国家主席が「2030年までに二酸化炭素（CO_2）排出量をピークアウトさせ、2060年までにカーボンニュートラルを達成する」と宣言し、世界を驚かせた（注１）。2020年時点で、中国のCO_2排出量は世界の約30％を占める最大の排出国である一方、エネルギー源を石炭に深く依存し、モータリゼーションも続く成長途上の国家であり、地球温暖化対策には積極的にはなれないともいわれていたからである。EU（欧州連合）はじめ先進国は「CO_2排出実質ゼロ」の目標を2050年と定めているが、中国が先進国に10年間の遅れでカーボンニュートラルを達成するのは、極めて野心的な目標と言わざるを得ない。中国は2012年まで地球温暖化問題に対し、先進国の責任だと強調し、「中国など途上国はCO_2排出を増加したとしても経済成長する権利を持つ」と主張していた。それが転換したのは、2013年の習近平政権の誕生だったといえる。それ以降中国は「グローバル・ガバナンス」への関与を打ち出し、地球温暖化対策への参加を「大国としての中国の責任」と対外アピールし始めた。中国は温室効果ガス（GHG）排出量で2004年

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

に米国を抜いて世界最大の排出国となっており、中国が温暖化対策を免除される時代は終わったという現実判断とともに京都議定書からの離脱など温暖化対策で世界の潮流から外れ、批判を浴びる米国に対し、グローバル外交で優位に立とうという狙いもあったとみられている。実際、トランプ政権は2017年にパリ協定から離脱（2021年２月にバイデン政権のもとで米国は復帰）するなど身勝手な行動が目立ち、中国は温暖化対策ではポイントを稼いだともいえる。こうした流れが2020年の習主席の「2060年カーボンニュートラル宣言」につながったといえる。

さらに中国は2021年に「2030年のカーボンピークアウトに向けた行程表」を示した。それによると、2025年までに単位GDP（国内総生産）あたりのエネルギー消費量とCO_2排出量は2020年比でそれぞれ13.5%と18.0%削減し、エネルギー消費全体に占める非化石エネルギーの割合を約20%に引上げる。2030年までにGDPあたりのCO_2排出量を2005年比65%超の削減、非化石エネルギーの比率を約25%に引上げる、というものであった（注２）。

中央政府は各地域（省・区）の経済発展水準や資源賦存、生態環境等の状況に基づいて上述のCO_2削減の国家目標を各地域にブレイクダウンし、各省・区にノルマとして示し、その達成を求めた（注３）。2021年は2030年目標に向けての最初の年でもあり、その効果を求めて各地で炭鉱の閉鎖、石炭生産量の削減とともに石炭火力発電所の稼働を次々と停止した。その結果、近年ではほとんど発生していなかった電力の供給不足が全国各地で起きた。電力使用制限が全国的に広がり、製鉄や化学などエネルギー多消費産業に操業制限が課され、国内の化学肥料価格が高騰した。国内の化学肥料需要を満たすために、2021年11月から化学肥料輸出の法定検査が実施され、輸出に急ブレーキが掛けられ、中国からの窒素とリン酸肥料の輸入に頼っていた日本の農家が混乱に陥る場面もあった。

中国は気候変動対策に消極的と見られがちだが、現実は温暖化対策にはかなり積極的であり、具体的な対策も実行し、先進国にそん色のない実績を示している。例えば、中国最大のCO_2排出分野の石炭発電を減らすために、再生可能エネルギー（以下、再エネ）を強力に進めてきた。2022年の中国の再エネ発電設備能力は総発電設備能力の47.3%にあたる12億1,300万キロワットに達し、発電総量も消費電力の31.6%にあたる２兆7,000億キロワット時にのぼっているのである（注４）。これはいずれも世界１位であり、太陽光、風力など世界の再エネの発電能力の３分の１は中国が占めている。中国は共産党体制のもとで、政策の意思決定、実施はきわめて迅速であるという点を見逃すべきではない。

（注１） 中国国家主席習近平国連致辞　争取2060年前実現炭中和
https://news.un.org/zh/story/2020/09/1067222

（注２） 国務院（2021）「2030年前炭達峰行動方案」
https://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

（注３）国家発展改革委員会（2021）「完善能源消費強度和总量双控制度方案」
https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202109/P020210916534038950905.pdf
（注４）2022我国可再生能源発展情況
https://www.ndrc.gov.cn/fggz/hjyzy/jnhnx/202302/t20230215_1348799.html

(2)　中国農業分野のGHG排出量

中国は国連気候変動枠組条約（UNFCCC）の非附属書Ⅰ国（注５）として2004年から国別報告書を提出するようになった。2004年にIPCC（注６）GHGのインベントリーガイドライン（IPCCガイドライン）に基づいて「中国気候変動第一次国別報告書」（中国政府（2004））を提出し、その中で1994年時点の中国のGHGの排出量と吸収量が公表された。その後、2012年に第二次（中国政府（2012））、2018年に第三次（中国政府（2018））、2023年に第四次国別報告書（中国政府（2023））を提出し、それぞれ2005年、2010年、2017年のデータを公開している。

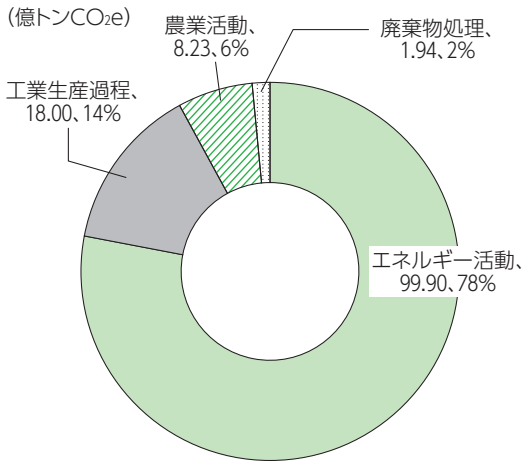
IPCCガイドラインに従い、中国が報告しているGHGは二酸化炭素（CO_2）、メタン（CH_4）、亜酸化窒素（N_2O）、ハイドロフルオロカーボン類（HFCS）、パーフルオロカーボン類（PFCS）、六フッ化硫黄（SF_6）の６種類であり、HFCS、PFCS、SF_6を合わせてフッ素ガス類としている。

中国の第四次国別報告書によると、2017年にCO_2換算で中国は128.08億トンのGHG（LULUCF（土地利用・土地利用変化と林業）を含まない）を排出し、そのうち、エネルギー分野が78.0%と最大、次は工業分野の14.1％、３位が農業分野の6.4％、４位は廃棄物処理の1.5%となっている（第１図）。また、GHGの種類別割合では、CO_2が83.5%と最大であり、CH_4は10.0%、N_2Oは4.6%、フッ素類は2.0%となっている。

中国が報告している農業分野の温室効果ガス・インベントリーは、消化管内発酵（CH_4）、家畜排せつ物の管理（CH_4+N_2O）、稲作（CH_4）、農用地の土壌（N_2O）、農産物残渣の野焼き（CH_4+N_2O）の５類となる（第２図）。ここから分かるように、中国の農業分野の排出は作物・畜産物の農場内でのメタン（CH_4）と一酸化二窒素（N_2O）の排出のみをカウントしており、温室やトラクターなど農機など農業活動のエネルギー使用や有機土壌からのCO_2排出量が含まれていない。これは、FAOの農場内排出量（Farm gate）の定義と異なる点である。

中国の農業活動のGHG排出量はCO_2換算で1994年の6.05億トンから2005年の8.20億トンへと急上昇した後、安定的な動きを示し、

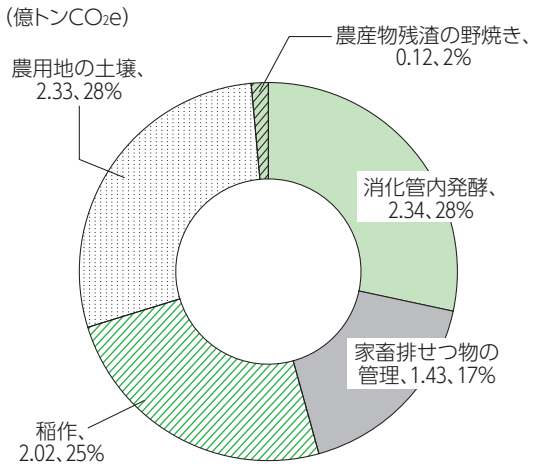
第1図　中国の温室効果ガス排出量（CO_2換算、2017年）



資料　「中国気候変動国別報告書」第4回

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

第2図　中国農業分野の温室効果ガス排出量の内訳（CO_2換算、2017年）



資料　第1図に同じ

ピークを迎えたようにも見える（第１表）。中国ではGHGの算定に必要なデータや検証などのインフラがまだ整備されていないため、現段階の排出量の算定は大きな不確実性を抱えている。農業分野の排出量の不確実性について、2010年は△19.0～20.1%（第３次国別報告書）、2017年は△14.1%～14.1%（第４次国別報告書）と、改善してはいるとはみられるが、数値誤算は依然として大きい。この意味で農業活動のGHG排出量がピークを迎えたかどうかは断定できない。

排出ガスの割合では、CH_4は６割前後、N_2Oは４割前後となっている（第２表参照）。CH_4のうち、排出量が最も大きいのは家畜消化管内発酵であり、２位は稲作、３位は家畜排せつ物の管理となる。N_2Oのうち、排出量がダントツに大きいのは化学肥料施用等起源の「農用地の土壌」であり、次は家畜排せつ物の管理となる。

（注５） 国連気候変動枠組条約（UNFCCC）の附属書Ⅰ国は、主としてEUや日本などの先進国で、GHG削減目標に言及のある国となる。非附属書Ⅰ国は主として途上国で、GHG削減目標に言及のない国となる。中国は非附属書Ⅰ国である。

第1表　温室効果ガス排出量（二酸化炭素換算）

（単位　億トンCO_2e）

	1994	2005	2010	2017
総量（LULUCF含まない）	**40.57**	**74.67**	**105.44**	**128.08**
エネルギー活動	30.08	62.52	82.83	99.90
工業生産過程	2.83	8.65	13.01	18.00
農業活動	6.05	8.20	8.28	8.23
土地利用、土地利用変化と林業（LULUCF）	△4.07	△7.66	△9.93	△12.58
廃棄物処理	1.62	1.10	1.32	1.94
総量（LULUCF含む）	**36.5**	**70.46**	**95.51**	**115.5**
総量（LULUCF含まない）に占める割合（%）				
エネルギー活動	74.1	83.7	78.6	78.0
工業生産過程	7.0	11.6	12.3	14.1
農業活動	14.9	11.0	7.9	6.4
土地利用、土地利用変化と林業	0.0	0.0	0.0	0.0
廃棄物処理	4.0	1.5	1.3	1.5

資料　「中国気候変動国別報告書」第1～4回
（注）1　100年間単位の地球温暖化係数（GWP）として、メタン（CH_4）は21、一酸素二窒素（N_2O）は310となる。
2　LULUCF（Land Use, Land Use Change and Forest）

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

第2表　中国農業分野の温室効果ガス排出量（CO_2換算）

（単位　億トンCO_2e）

	1994	2005	2010	2017
総量（LULUCF含まない）	40.57	74.67	105.44	128.08
CO_2	30.73	59.76	87.07	106.89
CH_4	7.2	9.33	11.27	12.76
N_2O	2.64	3.94	5.47	5.93
農業分野	6.05	8.2	8.28	8.23
CH_4	3.61	5.29	4.71	5.19
N_2O	2.44	2.91	3.58	3.04
①消化管内発酵	2.14	3.02	2.17	2.34
CH_4	2.14	3.02	2.17	2.34
②家畜排せつ物の管理	0.66	1.43	1.37	1.43
CH_4	0.18	0.60	0.64	0.75
N_2O	0.48	0.82	0.73	0.68
③稲作	1.29	1.66	1.83	2.02
CH_4	1.29	1.66	1.83	2.02
④農用地の土壌	1.95	2.08	2.82	2.33
N_2O	1.95	2.08	2.82	2.33
⑤農産物残渣の野焼き			0.09	0.12
CH_4			0.06	0.09
N_2O			0.02	0.03

資料　第1表に同じ
（注）1　100年間単位の地球温暖化係数（GWP）として、メタン（CH_4）は21、一酸素二窒素（N_2O）は310となる。
2　LULUCF（Land Use, Land Use Change and Forest）

（注６）「国連気候変動に関する政府間パネル（IPCC、Intergovernmental Panel on Climate Changeの略）」はUNFCCCに先んじて1988年に世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）によって設立された政府間組織で、2022年３月時点における参加国と地域は195となっている。

(3)　世界二大農業分野排出国

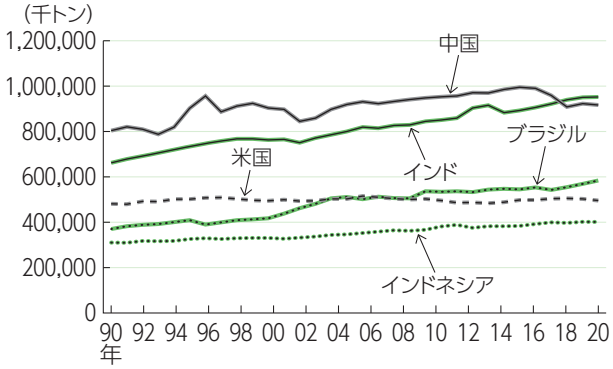
中国の農業分野のGHG排出量は世界においてどうなっているか、FAOの農業分野のエネルギー使用分等を含むFarm gateのデータを使って比較してみる。

中国の排出量は1990年の8.35億トンから2016年の9.95億トンへと23.8%拡大してピークを迎え、2021年には9.17億トンと2016年比で7.8%減少し、ピークアウトしたように見える（第３図）。中国が世界の農業分野GHG排出総量に占める比率は2018年までおおよそ12～13%となっており、一貫して世界最大の排出国だったが、2019年にインドが中国を上回り、世界最大となった。2021年には中国は11.8%とインドの12.2%をやや下回っている。中国とインドの農業分野のGHG排出量合計は近年において、世界の約４分の１を占めており、農業分野において、中印両国の排出削減が温暖化対策のカギを握っていることがわかる。ちなみに、2021年に３位はブラジルの7.5%、４位は米国の6.4%、５位はインドネシアの5.2%となっている。

(4)　生存排出

中国は主な用途が飼料で、輸入依存度が高い大豆を除けば、主食のコメや小麦、飼料穀物のトウモロコシ及び食肉の自給率はいずれも90%以上と高い。2021年に中国の農業分野のGHG排出量は世界全体の11.8%を占めてはいるが、人口では世界の17.8%

第3図　世界の農業分野GHG排出量の上位5か国（FAOのFarm gate）



資料　FAOSTAT

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

（2022年、世界銀行統計）であり、１人あたりでみれば世界平均を大きく下回る。しかも中国の耕地面積は世界の約９％に過ぎない。つまり、きわめて効率的に農地を利用し、温暖化ガス排出も低く抑えていると指摘できるだろう。国民１人当たりの農業GHG排出量（2021年）で、中国は0.64トンと米国の1.47トンの43.5%に過ぎず、世界平均の0.99トンより35.4%少なく、インドの0.68トンをもわずかながら下回っている。こうしたデータからみれば、中国の農業分野のGHG排出は人が生きるために最低限の「生存排出」といっていい。

2　GHG吸収源拡大対策

(1)　大きな成果を見せているGHG吸収源拡大

世界のGHGの70％以上はCO_2であり、その最大の理由は、人間活動や産業活動のために石炭や石油など化石燃料を大量に使用しているためであるが、CO_2を吸収する森林や土壌中の有機物が減少していることも大気中のCO_2濃度の上昇の大きな要因となっている。地球温暖化の防止には、GHGの排出削減と、大気中に放出され、蓄積されたGHGの吸収という両面の対策が必要となる。温暖化への影響が最も大きいCO_2の吸収源としての森林の維持、拡大と土壌中の有機物の増加が求められている。

中国は今世紀に入って経済成長とともにGHGの排出量も急増し、2004年以降米国を上回り世界最大の排出国となったが、中国は比較的早い段階からGHGの吸収源拡大にも力を入れてきた。2017年に中国はCO_2換算で128.08億トンのGHGを排出したが、同時にLULUCFは12.58億トンのCO_2を吸収したため、このLULUCFを相殺したネットのGHG排出量は実排出量より9.8%少ない115.5億トンとなっており、大きな成果を見せている（第１表参照）。

(2)　森林吸収源対策

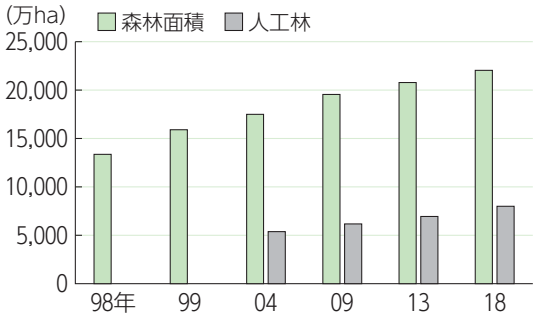
地球上のCO_2循環の中では、森林などの植物が吸収源として大きな役割を果たしている。森林を構成している樹木は、光のエネルギーを利用して水（H_2O）を分解し、酸素を放出するとともに大気中のCO_2を吸収し、有機物の炭素として蓄え、成長する。光合成である。植物はCO_2を炭素化合物として固定、蓄積することで、大気中のCO_2量を減らすことができる。今のところ光合成に勝るCO_2の固定化の方法は明らかにされていない。

中国は今世紀に入って、大規模な植林活動を行い、森林面積を大きく増やしてきた（注７）。中国の森林面積は2018年に２億2,045万haと1998年比で64.9%も拡大したのである。そのうち人工林の比率は2018年には36.3%にまで高まった（2004年には30.7%）（第４図）。

FAOの「世界森林資源評価2020」（FAO Global Forest Resource Assessment 2020）によると、2010～20年の10年間に、世界の森林面積は42.4億haから40.6億haと減少しているが、中国は193.7万ha増え、森林面積

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

第4図　中国の森林面積



資料　中国国家統計局

が最も純増した国となった。森林面積増加の大部分は植林による人工林であり、年平均113.7万haの人工林が増加している。2020年に中国の人工林面積は38.5%とドイツの50.0%、スウェーデンの49.7%に及ばないものの、日本の40.8%に近い。

森林の面積当たりの「蓄積量」（森林の立ち木の延べ体積）では、2020年に中国は87㎥/haでコンゴ民主共和国、ブラジル、米国、カナダ、ロシアに次いで世界６位となっている。すなわち、中国の森林は痩せた疎林ではなく、樹木が密生した比較的豊かな森林であることがうかがえる。世界の森林の延べ炭素蓄積量は、1990年の668Gtから2020年には662Gtまで減少したが、それは南米やアフリカにおける不法伐採、農地化や山火事による森林面積の減少によるものである。これを打ち消す形で、中国を含む東アジアや欧州及び北米では、森林の炭素蓄積量は大きく増加した。植林などによって最もCO_2吸収量を増やしたのは中国なのである。

ただ、中国は当初からCO_2の吸収源拡大のために植林に力を入れたわけではない。植林が政策的に行われるようになったきっかけは江沢民政権時代の1998年７～８月に中部の長江流域と北部の松花江流域で発生した歴史的な大洪水であった。洪水で冠水など被害を受けた面積は21.2万㎢と日本の国土面積の半分以上に及び、被災人口は日本の人口の約２倍の2.33億人にのぼった。同年８月に予定されていた江主席の訪日が３カ月延期されるほどの被害であった。長江の中下流域は中国の人口集積地であり、経済の中心となる武漢や南京、上海などの巨大都市があることから、政府としては洪水対策が喫緊の課題となった。

大洪水の原因として当初から指摘されたのは、食料増産のための長江上流域などにおける農地開拓であり、行き過ぎた森林伐採や湿地の開墾であった。そこで中国政府はすぐに「退耕還林還草」（耕地を森林や草地に戻す）対策を実施した（注８）。中国の政策実施の常用手段である試験弁法（試行方式）によって、1999年から長江上流の四川省、黄河上流の陝西と甘粛の三省で地元へインセンティブを付与したうえで「退耕還林還草」を試行し、問題点を修正しながら2002年から全国展開されるようになった（注９）。植林が全国的に広がったのは、農地に適していない山間地等も開拓しすぎて、もう一本の大河である黄河流域を含めて、土砂流失や砂漠化などの環境問題が全国の多くの地域で深刻化し、大洪水などのリスクが高まっていたからである。

別の背景要因には大人口の中国を長年、悩ませてきた食料不足からの基本的な解放

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

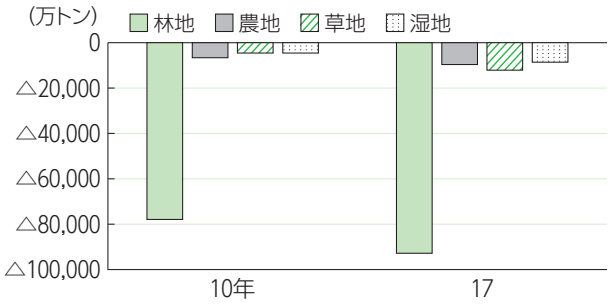
がある。1978年末に宣言された「改革開放」政策によって、1980年代から90年代にかけ、中国の農地の食糧単収が大幅に上昇し、1990年代後半になると、食糧問題は量としてはほぼ解決に到った。そのため、もともと食糧生産に不向きだった山間地などを森林や草原に戻した方が、国土保全、環境改善のためにも有効という判断が政府内で広がり、中国は史上初めて大規模な「退耕還林還草」政策を展開できたのである。1999年から2019年までの20年間に中央財政は累計で5,000億元以上を支出し、3,330万ha（５億ムー）以上の農地を林地や草地に戻した（注８）。もちろん、耕地を戻しただけではなく、荒れた山や荒廃地への植林も全国的に実施されるようになった。その結果、CO_2吸収量では、林地は2010年に7.79億トン、2017年にさらに9.28億トンへと拡大し、草地は2010年に0.45億トン、2017年に1.21億トン、湿地は2010年に0.45億トン、2017年に0.86億トンへといずれも大きく拡大した（第５図）。

（注７） 中国の森林面積の定義は樹高５m以上の樹木が生育し、樹冠率20％以上または樹冠幅10m以上の林地を指す。天然林、人工林、竹林を含むが、灌木林地と疎林地が含まれない。

（注８） 国家林業和草原局（2020）「中国退耕還林還草二十年（1999-2019）」
http://www.forestry.gov.cn/html/main/main_195/20200630085813736477881/file/20200630090428999877621.pdf

（注９） 国務院「关于进一步完善退耕還林政策措施的若干意见」
https://www.gov.cn/gongbao/content/2002/content_61463.htm

第5図　中国の林地、農地、草地、湿地のCO_2吸収量（排出量からみてマイナスと表す）



資料　「中国気候変動国別報告書」第3と4回

(3)　農地土壌の吸収源対策

見落とされがちだが、森林だけではなく、農地などの土壌もCO_2の吸収源として期待できる。IPCC AR6の特別報告によると、地球上の土壌には約1,500Gtの有機炭素が含まれている。これは、大気中の炭素の約1.8倍、世界の陸上植物の2.3～3.3倍に当たる莫大な量である。

土壌中の有機物量を増やすと、土壌の肥沃度や保水力が改善され、干ばつ被害の軽減や作物の増収などの効果がある。また、有機物中の炭素を土壌中に貯えることとなるため、農地が炭素の貯蔵庫になり、大気中のCO_2濃度の減少として換算され、温暖化緩和にも役立つ。

農業関連で土壌中の有機物を増やす方法として、農産物残渣の圃場への鋤き込み、家畜糞尿起源の堆肥の施用、不耕起栽培、カバークロップの施用などが世界で奨励されている。中国もこれらの措置を試しているが、そのうち、農産物残渣の圃場鋤き込みは中国の環境汚染解決策として強力に進められてきた。

中国の稲わら、麦わら、トウモロコシわらなどの農産物残渣は年間８億トン以上発

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

生しているが、1990年代半ばまでは大部分が農地でそのまま燃やされていた。その煙が大気汚染の原因となり、都市住民の不満が強まったほか、中国全体の環境問題にもなっていた。こうした農産物残渣を燃やさない方法の一つとして圃場への鋤き込みが進められた。政府が、わらの粉砕鋤き込み機や収集梱包機、不耕起播種機など関連の農機購入に高額の補助金を支出したり、農産物残渣の燃焼に罰金が課されたりするなど、様々な措置が取られた。

2021年になると、農産物残渣の圃場鋤き込みは約４億トンと収集可能量7.34億トンの54.5%に達した。そのうち、稲わらは1.13億トン、小麦は1.04億トン、トウモロコシは1.26億トンとそれぞれその収集可能量の66.5%、73.7%、42.6%を占めるようになった（注10）。その結果、農地のCO_2吸収量は2010年に0.66億トン、2017年に0.96億トンへと拡大したのである（第５図参照）。

(注10) 農業農村部HP「全国農作物秸秆総合利用情況報告」
https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/10/content_5717116.htm

3　削減を探る農業分野のGHG排出

上述のようにGHGの削減のため、中国政府は吸収源の拡大に力を入れてきたが、一方でGHGの発生段階での削減策も模索してきた。農業分野のGHG排出は、主として農用地の土壌、稲作と畜産からなるが、ここでは農用地の土壌と稲作における削減措置を考察する。

(1)　土壌診断による化学肥料施用量の削減

IPCCガイドラインに基づいて報告した中国の農業分野のGHG排出はガス種別でみればCH_4とN_2Oの２種類のみであり、CH_4は約６割、N_2Oは約４割となる。

N_2Oは100年あたりの地球温暖化係数（同じ質量の二酸化炭素を１とした場合の温暖化への寄与を表す係数）がCO_2の約300倍という強力な温室効果を持っており、オゾン層の破壊物質でもある。現在の温室効果への寄与はCO_2、CH_4についで３番目に大きい。N_2Oの人為的発生源のうち、最大のものは農業活動であり、過剰な施肥、作物が必要としている時季と施肥の不一致などを含む非効率な化学肥料の施用が最大の要因である。特に窒素肥料の多投により作物に吸収されなかった分が大気中や河川などに拡散し、地球温暖化および水質汚染を引き起こしている。化学肥料特に窒素肥料の使用削減と使用効率の向上が求められている所以である。

中国の農業分野のN_2O排出量が中国全体のN_2O排出量に占める割合は、2005年まで７～９割にのぼり、その後低下したものの、2017年でも依然として半分以上を占めている（第３表）。農業起源のN_2Oの最大の排出分野は非効率な化学肥料の施用による「農用地の土壌」からであり、７割以上を占めている。

中国の化学肥料施用量は1970年代末から

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

第3表　中国農業分野の温室効果ガス排出量

（単位　万トン）

	1994	2005	2010	2017
農業分野CH_4計	**1719.6**	**2515.9**	**2241.4**	**2470.8**
①消化管内発酵	1018.2	1437.9	1032.9	1112.3
②家畜排せつ物の管理	86.7	286.4	304.8	354.8
③稲作	614.7	792.6	872.9	962.8
④農産物残渣の野焼き			30.7	41.0
農業分野N_2O計	**78.6**	**93.8**	**115.4**	**98.2**
①農用地の土壌	62.8	67.2	91.1	75.2
②家畜排せつ物の管理	15.5	26.6	23.6	22.0
③農産物残渣の野焼き			0.7	1.1

資料　第1表に同じ

急速に増加し、2000年に化学肥料使用量は4,146万トンと1980年の1,269万トンの3.3倍にも拡大した（第６図）。2005年になると、農地１ha当たりの窒素施用量は200kgと米国の3.9倍、日本の2.5倍、フランスの２倍という非常に高い水準にまで上昇した（第７図）。

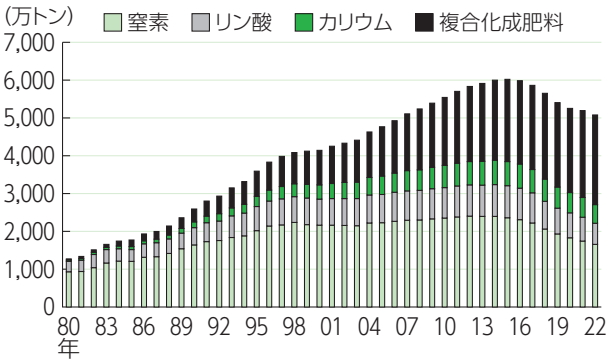
中国では化学肥料、特に窒素の多投が単収の増加につながると信じる農業者が多く、窒素肥料使用量の急増につながっている。窒素肥料の使用量は1979年の826万トンから1998年の2,233万トンへと20年間に2.7倍に増加した。化学肥料の大量使用により、収穫量が大幅に増えたものの、土壌中の有機質の大幅低下等土壌の劣化をもたらし、農業の持続的な発展を脅かし、さらに地下水汚染など環境問題も深刻化していた。

環境問題の解決と農業の持続的発展のために、中国は今世紀に入ってから化学肥料の使用量削減と使用効率の向上を追求するようになった。土壌診断、家畜堆肥の投入、カリや微量元素肥料の増加、水溶性肥料（灌漑と施肥の一体化）や緩効性肥料の使用拡大などの措置を試しているが、そのうち、土壌診断による適切な量の施肥は現段階まで化学肥料削減で最大の効果を生んだとされる。

土壌診断による施肥は、2002年の「全国生態環境保護第十次五か年計画」（注11）の中で初めて提唱され、そして2005年に補助金付きで1,000万世帯の農家から始まり、その後徐々に全国に広げていった。2005年から2013年までの９年間に、中央財政は71億元を投入して、全国で累計1,798万枚の土壌サンプルの採集、１億2,441万回以上に上る土壌診断、圃場実験、植物測定など各種データの分析を実施した。こうした全面的な土壌診断を通して、初めて国全体の耕地の土壌栄養成分等の状況を把握し、土壌成分による適切な量の施肥を行う根拠を手に入れた。また、表土層が薄くなっていること、土壌酸性化、リンの富栄養化、土壌栄養のアンバランス等重大な共通課題が明らかになった。

土壌診断による施肥を行った試験区での

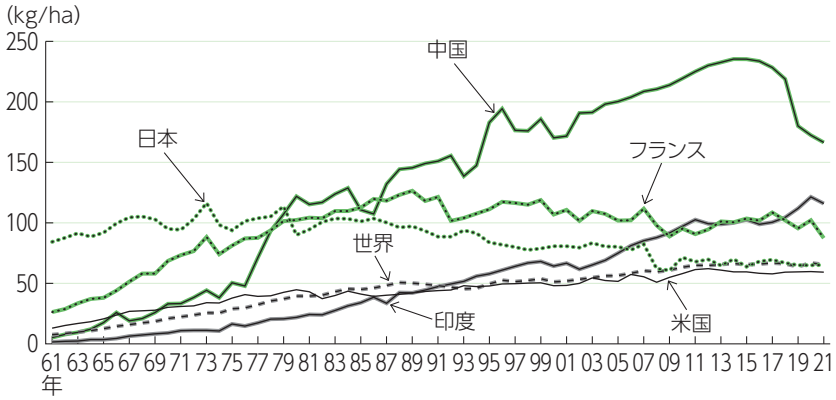
第6図　中国の農業分野の化学肥料使用量



資料　第4図に同じ

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

第7図　中国の窒素肥料使用と他の国との比較
単位面積当たり



資料　第3図に同じ

調査結果によると、コメ、小麦とトウモロコシ等主要食料作物の単収は慣習施肥に比べて６～10%高く、ムー（１/15ha）当たりの生産コストが30元以上低下し、さらに換金作物では80元以上低くなるというコスト面の効果も生んだ。

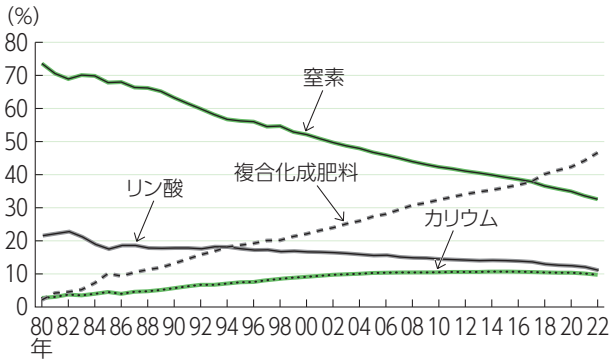
無駄な施肥を減らすことで、肥料生産段階および散布段階の消費などエネルギー使用量とそれに伴うGHG排出量を減らすことができたことも確認された。2012年までに、全国で土壌診断による施肥では累計850万トンの化学肥料の施肥が減少されたが、これは2,220万トンの石炭、5,730万トンのCO_2の排出量の減少に相当し、農業分野での温暖化ガス削減の効果を如実に示している（注12）。

同時に、窒素とリンの使用過多の問題も一部改善され、2012年に窒素とリンの使用割合は2002年に比べて8.6ポイントと2.2ポイント縮小し、その代わりにカリと複合化成肥料の割合は0.8ポイントと10.1ポイント上昇した（第８図）。特に窒素肥料に偏っていた農家の施肥は、複合化成肥料の利用増加により窒素肥料の多投が抑制された。

こうした土壌診断のデータに地域ごとの作物構成、気候条件、地形などの要素を加えて、中国農業農村部は2013年にコメ、小麦、トウモロコシという三大穀物に対して、全国でそれぞれの主要生産地域とそのベースになる「施肥処方箋」を定めた（注12）。従来、伝統的手法に依存しがちだった農業技術の科学化、合理化が進んだわけで、中国農業にとって隠れた大転換と言える。

具体的には、コメについては、東北コメ

第8図　化学肥料使用量の内訳の割合



資料　第4図に同じ

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

一期作地域、長江流域コメ二期作地域、華南コメ二期作地域、西南高原山間地コメ一期作地域、その他コメ地域という５つの広域生産区域に分け、さらに区域内の気候条件、栽培条件、地形と土壌条件に従って９つのサブ区域に分けて、きめ細かな施肥処方箋が与えられた。これら９つのサブ区域は中国全土のコメ作付面積の約98％をカバーしており、コメの施肥が地域毎に適切な統一方針で進められることになった。

小麦については、東北春小麦区、西北小麦区、華北冬小麦区、長江中下流域冬小麦区、西南小麦区という五つの広域生産区域に分け、さらに区域内の気候条件、栽培条件、地形と土壌条件に従って７つのサブ区域に分けられた。この７つのサブ区域は全国小麦作付面積の約99%をカバーしている。

トウモロコシについては、東北春トウモロコシ地域、華北夏トウモロコシ地域、西北春トウモロコシ地域という四つの広域生産区域に分け、さらに区域内の気候条件、栽培条件、地形と土壌条件に従って12のサブ区域に分けられ、これら12のサブ区域は全国トウモロコシ作付面積の約96%をカバーしている。

土壌診断による施肥は実施当初、県または郷鎮など省や市に比べ下級行政単位が実施主体だったため、数多くの郷鎮はそれぞれ異なる土壌診断による肥料の処方箋を出していた。そのため、一処方箋の必要な肥料の量が限られるため、肥料メーカーにとってこうした肥料の製造には手間がかかるだけで、利益の薄いビジネスとなっていた。結果的に参入メーカーが少なく、処方箋はあっても対応した肥料は調達できない状況となっていた。これに対し、2013年に導入された広域対応の「処方箋肥料」はその量が大幅に増えたため、大手や中堅肥料メーカーにとって魅力的なビジネスとなり、一気に普及した。

広域の施肥処方箋の特徴は、穀物それぞれの全成育に必要なリンとカリと一部の窒素を共通の元肥とし、必要な窒素を追肥とすることで汎用性を高め、追肥の時期も処方されている。こうした広域に通用する複合肥料がベースとなり、地域ごとや大規模農場ごとに異なる個別のニーズに対しては肥料販売業者が個別にカスタマイズ対応する仕組みの構築を模索している。

土壌診断による施肥テクノロジーなどの進化を受けて、中国政府は2015年に「2020年まで化学肥料使用量のゼロ成長」という目標を打ち出した。2020年までに主要農産物の土壌診断を行う地域の施肥面積のカバー率90%、肥料利用率（作物による投下肥料の吸収率）40%、家畜糞尿の肥料化利用率60%（2015年比10ポイント高）、稲わらなど農産物残渣の圃場鋤き込み率60%（2015年比25ポイント高）、液体肥料使用面積1.5億ムー（2015年比8,000万ムー増）などを通して、食料生産量を維持または微増させながら、化学肥料使用量ゼロ成長を達成する構想だった。

結果的には、「化学肥料使用量ゼロ成長」の目標を打ち出した2015年が中国の化学肥料使用量のピークの年となった。2016年に

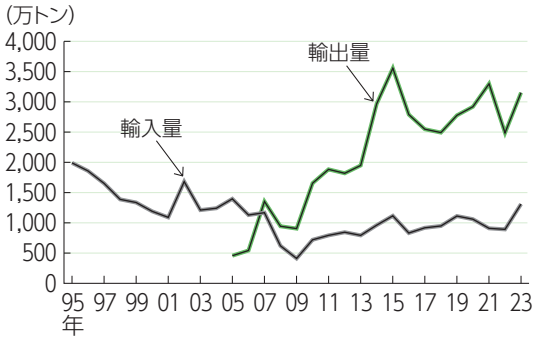
農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

は化学肥料使用量は前年比0.6%の減少となり、2020年には農業分野の化学肥料使用量は5,251万トンと2015年比12.8%減となった（第６図参照）。特に窒素とリンはそれぞれ22.3%と22.4%の大幅減少となり、窒素とリン酸肥料の多投構造が大きく改善された。コメ、小麦とトウモロコシの三大穀物の化学肥料利用率は40.2%と2015年に比べて５ポイントも高くなった。主要農産物の土壌診断による施肥のカバー率は90%といずれも2015年に定めた目標が達成された。

化学肥料使用量の減少もあり、農用地の土壌からのN_2O排出量はCO_2換算で2017年に2.33億トンと2010年の2.82億トンから17.5%も削減できた（第２表参照）。

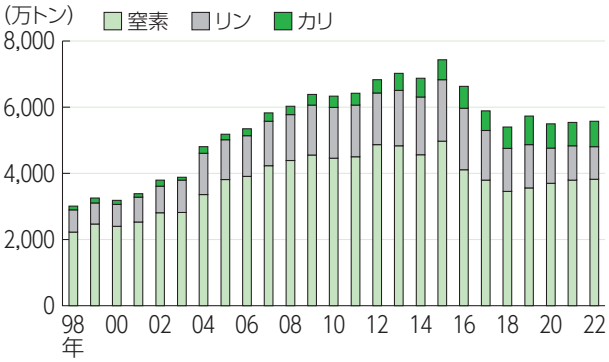
ちなみに、中国政府は「化学肥料使用量ゼロ成長」を打ち出すのに合わせ、化学肥料の製造メーカーに対し、それまで実施してきた税制、輸送料金、電気料金などの優遇措置も撤廃した。それによって化学肥料メーカーの淘汰が始まり、化学肥料の生産量も使用量と同様に2015年にピークを打った。輸出量も同様に2015年にピークとなり（第９図）、化学肥料の生産量は2022年には

第9図　中国の化学肥料輸出入量



資料　中国海関総署

第10図　中国の化学肥料生産量



資料　第4図に同じ

5,573万トンと2015年の7,432万トンに比べて25.0%もの大幅減少となっている（第10図）。

(注11) 環境保護総局（2002）「全国生態環境保護第十次五か年計画」
https://www.gov.cn/gongbao/content/2003/content_62416.htm

(注12) 農業部（2013）「小麦、玉米、水稲三大糧食作物区域大配方与施肥建議（2013）」
http://www.moa.gov.cn/nybgb/2013/dbaq/201712/t20171219_6119839.htm

(2)　稲作のメタン（CH_4）排出量削減への取組み

CH_4は、人類の活動に起因する気候変動についてCO_2に次ぐ効果を持つGHGであり、同じ重量であればCO_2よりも強い温室効果を持つ。一方、CO_2が大気中にとどまる期間が最長1000年であるのに対し、CH_4は平均して12年間で、大気中での寿命が短い。そのため、CO_2の何倍の効果を持つかを示す「温暖化係数（GWP）」でみれば、CH_4は20年間では約81倍、100年間では約28倍の効果を持つものとなる。気候変動の原因物質としては、短期間でより大きな要因となるわけである。CH_4排出量の削減は短期間に

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

温室効果ガスの濃度を引下げ、より迅速に地球温暖化を緩和する効果を期待できるわけだ。

農業起源のCH_4排出量は中国全体のCH_4排出量の40％以上を占め、稲作は家畜消化管内発酵に次ぐCH_4排出源となっており、2017年に2.02億トンと農業分野CH_4排出量の約40％を占めている。中国にとって日本やインドなどアジアのコメ生産国と同様に稲作のCH_4排出量の削減が大きな課題となっている。

水田の土壌中には嫌気的なCH_4生成菌が潜んでおり、水田に水を張ると、CH_4生成菌が活発化する酸素の少ない土壌環境が出来上がる。その環境で稲が成長すると、根から滲出した栄養分をCH_4生成菌が利用してCH_4を発生させ、それが稲の茎や根の通気導管を通って大気中に放出される。このメカニズムを止めるには、水田の水を減らしたり、抜いたりして土壌に多くの酸素を取り入れ、CH_4生成菌の活動を弱めることが効果が高い。

中国では、稲作の慣行栽培より30～50％節水の栽培方法や中干し期間の延長など水管理方法、CH_4菌の数および活性化を抑制する物質の開発などの研究が各地で進められている。水管理方法については、多くの試験栽培で明らかなCH_4削減効果が得られている。まだ少数ではあるが、圃場が整備されて大規模稲作を行っている黒龍江省等の一部の地域では、節水栽培など水管理方法を試している農家が出始めている。

問題は、中国の稲作の大半は零細農家が主体となっていることにある。栽培面積が小さい上にコメの販売価格が低い状況では、零細コメ農家は手間のかかる水管理をほとんど行わず、温暖化対策には無関心といってよい。こうした稲作の現状から、水管理よりもCH_4排出の少ない品種開発など直接対応に研究の重心が移りつつある。

(3)　低メタン放出の稲品種

上述したように水田の土壌中に潜んでいるCH_4菌は、稲の根から滲出した栄養分を餌にCH_4を発生している。もし稲の根からの栄養分有機質の滲出を減らせるなら、CH_4の発生を減らせることになり、その栄養分を稲の生育に向けることができれば、収量増加にもなる。こうした新しい発想の稲の品種改良に挑んだのが中国福建農業大学とスイス農業大学などの共同研究プロジェクトであり、低CH_4と高でんぷんの両方を兼ねる夢のような稲の開発に世界で初めて初歩的ながら成功した。その成果は2015年の英科学雑誌Natureに掲載された（注13）。その研究内容を要約すると以下のようになる。

HvSUSIBA2は植物の糖シグナル伝達に関与する大麦の転写因子遺伝子である。ゲノム編集の方法でHvSUSIBA2を稲に導入して新たな遺伝子SUSIBA2（Sugar signaling in barley 2）を増やすことで、稲の光合成産物を根への配分よりも地上部バイオマスへ配分する傾向が促進される。この配分の変化により、根からの有機物滲出が減少し、CH_4菌によるCH_4生成が抑制され、その代わりに茎と種子のバイオマスとでんぷん含

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

量が増加した。光合成産物の分布を最適化する手法である。

こうしてゲノム編集によって、新しい稲品種SUSIBA2-77とSUSIBA2-80が開発された。

研究チームは2012年と2013年の夏に中国福州でSUSIBA2-77とその対照品種である「日本晴（Nipp）」を試験栽培した。試験栽培の結果、SUSIBA2-77の開花前のCH_4排出量は対照稲「日本晴」の約10%まで削減され、開花後28日目にはほぼゼロ（対照稲の0.3%）まで削減された。SUSIBA2品種の稲の粒中のでんぷん含量は乾燥重量で86.9%に増加し、対照稲の「日本晴」の76.7%を大きく上回った。異なる生態環境と気候におけるCH_4排出削減におけるSUSIBA2稲の役割を説明するために、2014年秋に福州、広州、南寧と500km離れた場所でSUSIBA2-77とSUSIBA2-80を試験栽培し、日中と季節のCH_4排出量を測定した。どちらの系統の稲も、CH_4排出量において同様の特徴を示し、そのCH_4排出削減効果は、秋より夏、午前中や午後遅い時間より正午に高かった。夏と正午の高温と糖代謝の亢進が、SUSIBA2由来の炭素を種子と地上部バイオマスへの配分を促進した可能性が示唆され、気温上昇による水田CH_4排出の加速に対抗することができ、温暖化に適応する品種になる可能性がある。

その後も、SUSIBA2稲の研究と試験栽培が継続され、SUSIBA2ジャポニカ米の場合、そのCH_4削減率は夏と秋の栽培では約50%と安定し、冬季栽培では20～30%となっている。SUSIBA2インディカ米の場合、そのCH_4削減率は夏と秋でも約30%とSUSIBA2ジャポニカ米よりCH_4緩和効果が小さい。いずれも収量への影響はほとんどない結果だ（注14）。

もちろん、SUSIBA2稲はCH_4削減において新たな発想を示している段階であり、それが実際に商業栽培可能な新品種になるのかは未知数であり、なるとしても実用化にはまだ長い時間がかかりそうである。

(注13) Su, et al. (2015)
(注14) Du, et al. (2021)

むすびに

中国は農林業におけるGHGの吸収源拡大と排出源削減の措置を着実に進めており、一定の成果を生みつつある。ただ、植林の拡大、農産物残渣の圃場鋤き込みによる土壌中有機物の拡大、化学肥料施用の削減は、いずれも深刻化した環境問題の解決が主目的であり、結果としてGHGの削減につながったといっていい。また、土壌診断による化学肥料の施用削減などは、農産物の生産量の維持や地力改善など目に見える効果があるだけではなく、農家にとって生産コストの削減にもつながり、推進が容易であった。言い換えれば、中国政府のGHG対策は小さな財政対応で普及でき、農家にとっても余分のコストがかからない措置に限定して進んできた。一方、水田の中干し期間の延長や節水灌漑などの水管理はGHG削減の効果が明白であっても、その実施に手間が

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

かかり、人件費などコスト増になるため、大半の小規模農家から敬遠されている。主食穀物を生産する中国農業の柱である稲作でGHG排出削減をさらに進めるのは実はかなり難しいと予想される。

エネルギー分野における石炭火力発電の削減、再エネの拡大、CO_2の主要排出産業である鉄鋼や化学、セメントなどのGHG排出削減は、中央政府による国有セクターへの行政指導や税制優遇、補助金のインセンティブによって、推進できる部分が大きい。これに対し、農業は生産者が個人農主体で、食料供給という最重要分野であるため、強制力を効かせにくい面がある。特に中国の農業分野のGHG排出は発電や鉄鋼など産業分野に比べれば、効率的に抑制されており、収量あたりのGHG排出は少ない。

こうした状況を踏まえれば、今後の中国の農業分野でのGHG削減の余地はあるにせよ、他産業に比べれば小さい。むしろ水田の水管理など人手による作業は農民の高齢化、人口減少のなかで、より困難になってくる懸念もある。農業分野でのGHG削減には若者の就農促進、そのための農家収入の向上など魅力ある農業への転換こそ重要になるだろう。中国と同様にGHG排出削減を求められているEUでは農家がGHG排出削減への反対デモを起こしているなど農民からのアンチテーゼがみられる。農業生産の安定とGHG排出削減を二律背反から同時達成に転換していく政策、技術革新が今、中国だけでなく世界にとって必要となっているのである。

＜参考文献＞

※ウエブ参考文献の最終アクセス日はいずれも2024年３月15日。

- 環境省（2021）「IPCC AR6 特別報告書」https://www.env.go.jp/content/900442320.pdf
- 王斌ほか（2023）「稲田甲烷減排：技術、朝鮮と策略」『中国農業資源与区画』10月号
- 夏志堅（2023）「稲田甲烷減排：中国水稲種植正在発生的変化」https://chinadialogue.net/zh/5/96736/
- 江瑜ほか（2022）「水稲豊産与稲田甲烷減排協同的研究展」『南京農業大学学報』45（5）、839～847頁
- 国務院（2002）「関於進一歩完善退耕還林政策措置的若干意見」https://www.gov.cn/gongbao/content/2002/content_61463.htm
- 秦暁波ほか（2023）「稲田甲烷排放現状、減排技術和低炭生産戦略路径」『気候変化研究進展』19（5）、541～558頁 http://www.climatechange.cn/article/2023/1673-1719/1673-1719-19-5-541.shtml
- 中国環境保護総局（2002）「全国生態環境保護第十次五か年計画」https://www.gov.cn/gongbao/content/2003/content_62416.htm
- 中国国務院（2016）「全国農業現代化計画（2016-2020）」https://www.gov.cn/zhengce/content/2016-10/20/content_5122217.htm
- 中国国務院（2021）「2030年前炭達峰行動方案」https://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm
- 中国国務院（2021）「第十四次五か年推進農業農村現代化計画」https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-02/11/content_5673082.htm
- 中国国家林業和草原局（2020）「中国退耕還林還草二十年（1999-2019）」http://www.forestry.gov.cn/html/main/main_195/20200630085813736477881/file/20200630090428999877621.pdf
- 中国政府（2004）『中国気候変動国別報告書』第１回
- 中国政府（2012）『中国気候変動国別報告書』第２回
- 中国政府（2018）『中国気候変動国別報告書』第３回
- 中国政府（2023）『中国気候変動国別報告書』第４回
- 中国農業科学院農業農村炭達峰中和研究センター・

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

農業環境与可持続発展研究所（2023）『中国農業農村低炭発展報告（2023）』社会科学文献出版社
- 中国農業農村部・国家発展改革委員会（2022）「農業農村減排固炭実施方案」
http://www.moa.gov.cn/govpublic/KJJYS/202206/P020220630331656855638.pdf
- 中国農業農村部ほか（2015）「全国農業可持続発展計画（2015-2030）」
http://www.moa.gov.cn/nybgb/2015/liu/201712/t20171219_6103855.htm
- 中国農業農村部ほか（2021）「第十四次五か年全国農業緑色発展計画」
http://www.moa.gov.cn/zxfile/reader?file=http://www.moa.gov.cn/govpublic/FZJHS/202109/P020210907501175710523.pdf
- 中国農業農村部（2022）「到2025年化肥減量化行動方案」
http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202212/t20221201_6416398.htm
- 中国農業部（2013）「小麦、玉米、水稲三大糧食作物区域大配方与施肥建議（2013）」
http://www.moa.gov.cn/nybgb/2013/dbaq/201712/t20171219_6119839.htm
- 中国農業部（2015）「到2020年化肥使用量零増長行動方案」
http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/201505/t20150525_4614695.htm
- 陳松文ほか（2021）、「水稲生産炭中和現状及低炭稲作技術策略」『華中農業大学学報』2021年３月号
- 李新華（2016）「従「増量増産」到「減量増効」：農戸施肥調控政策演変及走向」『農業現代化研究』９月号

- Du, L. et al. (2021), “Comprehensive analysis of SUSIBA2 rice: the low-methane trait and associated changes in soil carbon and microbial communities”, Science of The Total Environment, 764.
- FAO（2020）「世界森林資源評価2020」（Global Forest Resource Assessment 2020）
https://www.fao.org/3/ca9825en/ca9825en.pdf
- Su, J. et al. (2015), “Expression of barley SUSIBA2 transcription factor yields high-starch low-methane rice”, Nature, 30 July, 523.

（ルアン　ウエイ）

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/