

地球温暖化対策検討部会だより



地球温暖化対策検討部会では、農業農村整備による温室効果ガスの収支について定量的に把握するため調査を行うとともに、温暖化緩和策の検討を行っています。本号は、水田圃場の温室効果ガスに係る調査・解析結果を、調査業務の委託機関である株式会社 スコーシャの業務担当丹羽勝久氏に寄稿していただきました。

畑地土壌における排水改良が土壌からの温室効果ガス発生に及ぼす影響

はじめに

十勝管内は我が国でも有数の畑作地帯であり、農耕期間の降水量が蒸発散量を大きく上回る気象条件(図 1)、火山性土(多湿黒ボク土)を中心とする排水不良土壌が畑地の約 35%を占めている等の特徴を持つ。このことから、排水不良土壌の湿害解消が必要不可欠な地域と位置づけられており、暗渠排水を中心とする排水改良が行われ、作物生産力の拡大が図られてきた。しかし、現在においても、排水良好の火山性土(黒ボク土)と多湿黒ボク土の間には生産力格差が見られ、その格差は多雨年ほど大きいことが示されている(図 2)。

さらに、いくつかの気候予測モデルでは十勝管内の降水量が今後、増大すると試算されており、十勝管内においては、よりいっそう排水改良対策に留意していくことが必要である(丹羽ら, 2014)。

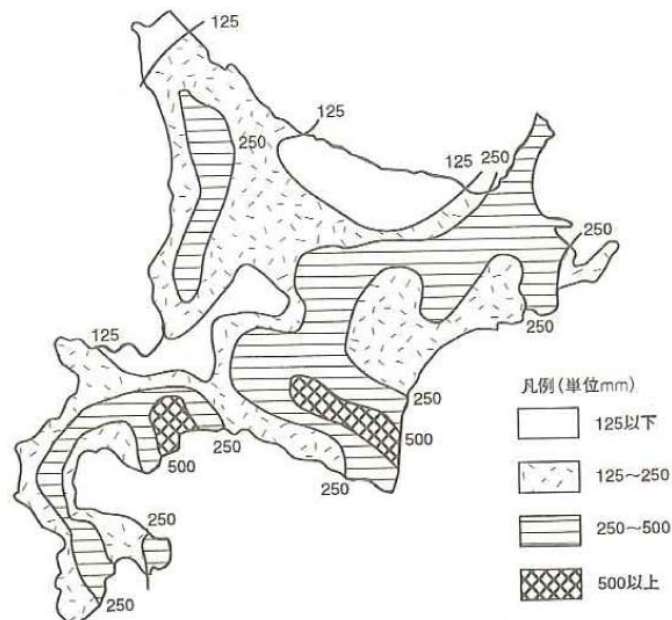


図1 北海道における農耕期間(5~9月)の水分余剰分布
(水分余剰=降水量-蒸発散量、日本土壌肥料学会北海道支部, 1999)

地球全体の陸域全生態系において、炭素は主に植物と土壌に蓄積されているが、土壌中に貯留されている炭素量は森林等の植生よりも、3~4倍も多いとされ、その量は1500~2000PgCとも言われている。このことから、土壌中に貯留されている炭素の動態が気候変化に大きく影響を与える可能性があり、

農業等の人為的活動を行う上で、土壌炭素量の減少を最小限とするための管理方法の確立が求められている。

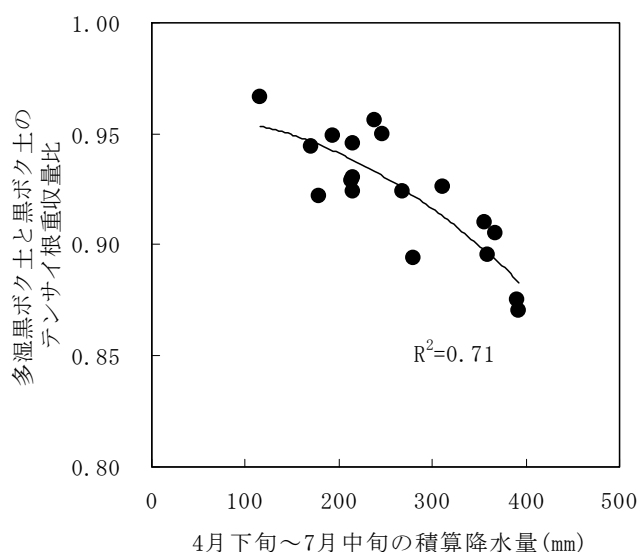


図2 4月下旬～7月中旬の積算降水量と多湿黒ボク土と黒ボク土のテンサイ根重比
(黒ボク土のテンサイ根重収量を1とした場合の多湿黒ボク土の根重収量比、丹羽ら，2014)

加えて、畑地等では肥料や有機物等が施用されるが、それらを供給源とする亜酸化窒素 (N_2O) の放出が多く、多くの研究で報告されている。この N_2O は温室効果が二酸化炭素 (CO_2) の298倍と言われている温室効果ガスであり、微量な放出でも、気候変化に大きな影響を与える危険性がある。

以上のことから、作物生産と環境の両立という視点で十勝の畑作の将来を考えた場合に、排水改良前における温室効果ガス発生量の変化に着目し、作物生産力を拡大しながら温室効果ガス発生を低減に努めていくような営農スタイルを確立していくことが重要である。

そこで本報では、既存土壌文献等を参考に、排水改良前後の温室効果ガスの変化、並びに温室効果ガス抑制に向けての営農面からの対策について検討を行った。

排水改良が土壌からの温室効果ガス発生に及ぼす影響

古賀(2007)は、十勝管内の排水良好の火山性土(黒ボク土)畑から発生する温室効果ガスを測定した結果、主な温室効果ガスは土壌からの CO_2 と N_2O であり、その総発生量は年間あたり CO_2 換算で約5.5t/haにも及ぶことを示した。

十勝の畑地の平均総発生量を古賀(2007)の測定結果と同等であると仮定すると、現在十勝管内の普通畑面積は17万2千haであるので、畑地土壌からの総発生量は年間約95万t CO_2 にも及び試算される。帯広市の年間当たりの総 CO_2 発生量(畑地土壌からの発生量は未考慮)が約146万t CO_2 (帯広市，2009) 十勝管内全体の年間当たりの総 CO_2 発生量が約485万t CO_2 (梅津，2008)であることを考えると、土壌からの発生量は無視できない水準である。

以下には畑地から発生する主な温室効果ガスである土壌からの CO_2 、 N_2O 発生を対象として、排水改良が温室効果ガス発生に及ぼす影響を検討した。

(1) 排水改良が土壌からの CO_2 発生量に及ぼす影響

排水改良が土壌からの CO_2 発生量に及ぼす影響を詳細に検討した事例として、関谷ら(2010)、

関谷 (2010)の十勝管内の黒ボク土、多湿黒ボク土を対象とした報告が挙げられる。

それらの報告では、1970年頃の十勝管内の黒ボク土と多湿黒ボク土からのCO₂発生量はほぼ同量であったが、現在、多湿黒ボク土からのCO₂発生量は黒ボク土よりも明らかに多いことを示した。この理由として、多湿黒ボク土では排水改良効果の発現により微生物の活性が高まることに起因し、土壤有機物分解が促進していることを挙げている。

さらに、同報告では排水改良効果の発現により増大した有機物分解量は1.45tC/ha/年 (5.3tCO₂/ha/年)になることが示された。しかし、同時に、排水改良により茎葉収量等の増大も見込まれることから、その点に着目し茎葉残渣等を積極的に圃場還元した場合の炭素収支を計算している。その結果、茎葉残渣等の積極的活用により炭素収支は排水改良後にむしろ改善する可能性を示した(排水改良前の炭素収支：-1.85~-0.97tC/ha/年、排水改良後：-0.56tC/ha/年)。

以上のように、排水改良により増大する茎葉をうまく活用すれば、必ずしも排水改良がCO₂発生を促進するわけではない。その他、十勝管内の畑地土壤では、営農管理面からのアプローチとして堆肥投入、省耕起等が土壤炭素減少を抑制する効果を持つことが実証されている(古賀, 2007)。

(2) 排水改良が土壤からのN₂O発生量に及ぼす影響

一般的に、N₂Oは化学肥料や堆肥等の窒素成分を供給源として、硝化(施用された窒素の形態が微生物の作用でアンモニア態窒素から硝酸態窒素に変化する過程)、脱窒(土壤中の硝酸態窒素が微生物の作用で分子状窒素に変化し、圃場から大気中に放出される過程)で副産物あるいは中間生成物として生成する。特に、後者の脱窒反応は土壤中が還元状態(つまり過湿状態)で促進される特徴を持つことから、排水改良はN₂O発生の抑制に貢献する可能性がある。

事実、Akiyama *et al.*(2006)が我が国のN₂O発生に関わる研究を収集・整理した結果、排水不良土壤のN₂O発生量(2.2±2.5 tCO₂eq/ha/年、±〇〇は標準偏差)は明らかに排水良好土壤(0.48±0.53 tCO₂eq/ha/年、±〇〇は標準偏差)を上回ることが示された。

北海道の畑地におけるN₂O発生量の測定事例によると(表1)、黒ボク土の発生量は残渣Nの極端に多い条件を除くと0.5tCO₂eq/ha/年以下と非常に低い値を示した。それに対して多湿黒ボク土のN₂O発生量は3.9~10.9 tCO₂ eq/ ha/年と著しく高い上に、大きな年次間差を有した。

表1 北海道の畑地におけるN₂O発生量の測定事例

土 壤	試験サ イト	作 物	施肥N	有機物N (kgN/ha)	残査N	N ₂ O排出量 (tCO ₂ /ha/年)	特 徴
黒ボク土*	芽室町	小麦	110	0	19.6	0.3	排水良好
		小豆	40	0	40	0.1	
		テンサイ	150	0	87.1	0.2	
		バレイショ	60	0	9.3	0.0	
		キャベツ	220	0	69.9	0.4	排水良好 省耕起
		小麦	110	0	21.2	0.2	
		小豆	40	0	44.1	0.1	
		テンサイ	150	0	129.4	1.1	
多湿黒ボク土**	札幌市	とうもろこし	98	30	0	3.9	多量降雨、融雪時に地表面まで地下水が上昇
		とうもろこし	98	30	0	10.9	
		とうもろこし	98	30	0	7.3	

*Koga *et al.* (2004)、**Kusa *et al.* (2006)

Kusa *et al.* (2006)の供試した多湿黒ボク土は、多量降雨後に地表面まで地下水が上昇するという、一時過湿の特徴を持つ。同報告における N_2O 発生量の傾向として、多量降雨直後に大量の N_2O が発生する特徴を持ち、その傾向が土壌中に硝酸態窒素が多いほど顕著になることが示された。このことから、Kusa *et al.* (2006)は多湿黒ボク土における膨大な N_2O 発生量およびその年次間差は、過湿と土壌中の硝酸態窒素の組み合わせに起因し、抑制のためには排水改良が必要不可欠であることを結論としている。

多湿黒ボク土を排水改良することで N_2O 発生量が黒ボク土の水準にまで抑制されるという仮定を置き、表1から N_2O 抑制量を試算すると、平均 $6.3tCO_2eg/ha/年$ となる。また、その抑制量は、上述した多湿黒ボク土の排水改良に起因する CO_2 発生量の増加($5.3tCO_2/ha$ 、関谷, 2010)を上回ることになる。

一方、 N_2O 発生量は、過湿と同時に土壌中の硝酸態窒素量にも影響を受けることから、土壌中の硝酸態窒素量の低下が N_2O 発生量をさらに抑制すると考えられる。このことから、窒素過剰施肥を避け、土壌診断等の活用により適正な窒素肥培管理を行うことが営農管理面からのアプローチとして重要になると考えられる。

おわりに

以上述べてきたように、排水改良は必ずしも土壌からの温室効果ガス発生を促進するわけではなく、特に N_2O が膨大に発生する多湿黒ボク土のような土壌では逆に温室効果ガスを抑制する可能性が示唆された。加えて、土壌からの温室効果ガス抑制に向けては茎葉残渣の積極的活用や適正な窒素施肥等、営農管理側からのアプローチも重要であることが示された(図3)。

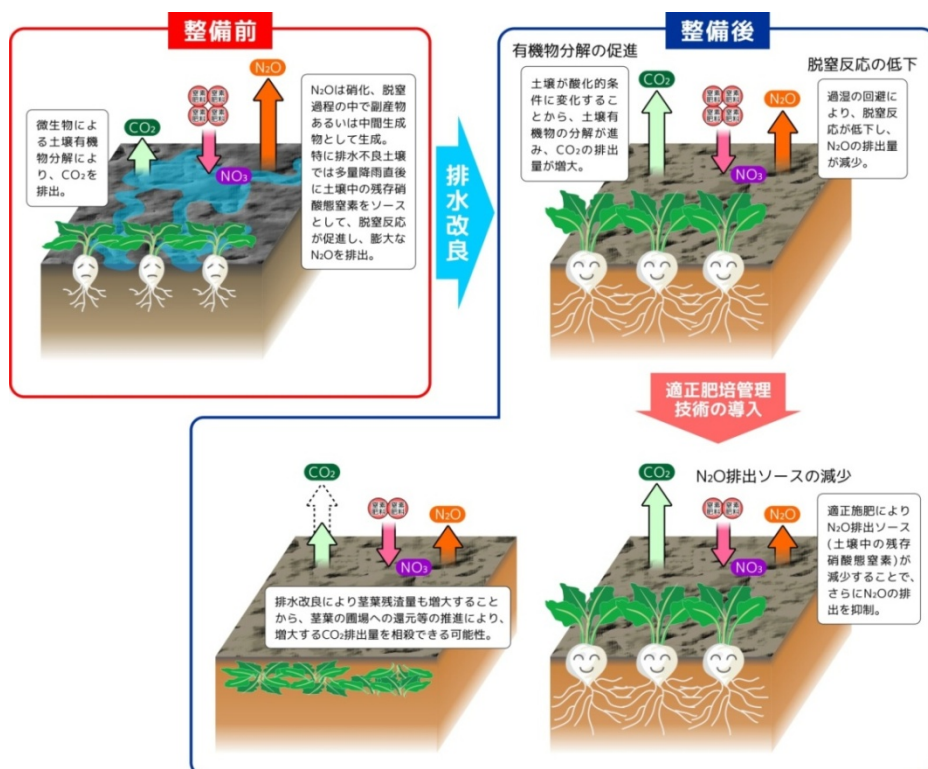


図3 まとめ

しかし、本報告は既存文献等から検討した結果に過ぎず、いわば「絵に描いた餅」にほかならない。秋山ら(2011)は、化学と生物Vo1.49の中で、「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次評価報告

書では、農耕地におけるN₂Oの発生削減対策として施肥管理、排水性の改善、および耕作放棄を挙げている。このうち、排水性の改善については脱窒によるN₂Oの発生を抑制できる可能性があるが、現在のところ具体的な研究例は少ないため、削減ポテンシャルの推計は困難である。」と述べている。

以上のことから、今後、畑地の排水改良が土壌からの温室効果ガス発生に及ぼす影響を実測から検討していくことが必要である。また、その検討は、未知なる削減ポテンシャルを世界に向けて情報発信するという側面も持ち、その意義は極めて大きいと考えられる。

引用文献

Akiyama *et al.* (2006): Estimations of emission factors for fertilizer-induced direct N₂O emissions from agricultural soils in Japan: Summary of available data, *Soil. Sci. Plant Nutr.*, 52, 774-787.

秋山ら(2011): 窒素循環と土壌からのN₂O発生, 化学と生物, 49(5), 335-340.

Koga *et al.* (2004): N₂O emission and CH₄ uptake in arable fields managed under conventional and reduced tillage cropping systems in northern Japan. *Global Biogeochem. Cycles*, 18, GB4025, doi:10.1029/2004GB002260.

古賀(2007): 農地管理法の違いと土壌炭素, 土壌の物理性, 105, 5-14.

Kusa *et al.*(2006): Three years of nitrous oxide and nitric oxide emissions from a silandic Andosols cultivated with maize in Hokkaido, Japan. *Soil Sci. Plant Nutri.*, 52, 103-113.

日本土壌肥料学会北海道支部編(1999): 北海道農業と土壌肥料1999, p12-15, 北農会, 札幌.

丹羽ら(2014): 北海道十勝地域のテンサイ収量の土壌間差とその将来予測, 生物と気象, 14(印刷中).

帯広市(2009): 帯広市環境モデル都市行動計画, pp24.

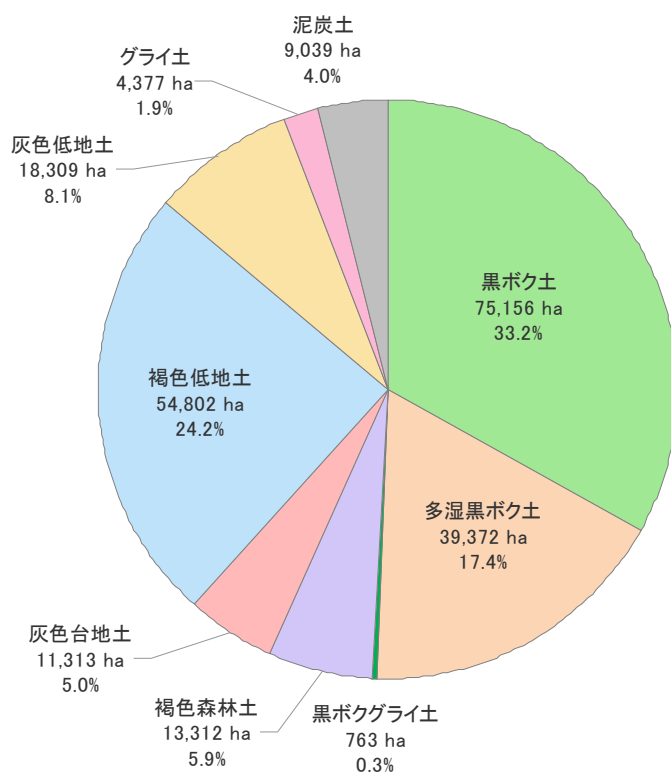
関谷ら(2010): 北海道十勝管内耕地土壌の炭素賦存量とその動態,土肥誌,81,224-233.

関谷(2010): 畑作地帯における多湿黒ボク土の土壌有機物動態, 北海道大学博士論文, pp67.

梅津(2008): 十勝における温室効果ガスの抑制とバイオマスの利活用, 開発こうほう, 08.5,10-11.

参考資料

1 十勝地域の土壌



参考図 十勝地域の土壌分布状況(地力保全基本調査総合成績書より作成)

地力保全基本調査総合成績書によると、十勝地域の土壌は9タイプの土壌群に分類されるが、このうち、多湿黒ボク土、黒ボクグライ土、灰色台地土、灰色低地土、グライ土、泥炭土の6土壌群が排水不良土壌に該当する。また、それらの面積は約83000haで十勝の耕地全体の約35%に及び。

2 人間活動の影響を受ける温室効果ガス

参考表 人間活動の影響を受ける温室効果ガスの例(気象庁ホームページより)

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC-11	HFC-23	CF ₄
	二酸化炭素	メタン	一酸化二窒素	クロロフルオロカーボン	ハイドロフルオロカーボン	四フッ化炭素
産業革命以前の濃度	約 280 ppm	約 715 ppb	約 270 ppb	存在せず	存在せず	40 ppt
2005年の濃度	379±0.65 ppm	1774±1.8 ppb	319±0.12 ppb	251±0.36 ppt	18±0.12 ppt ^a	74±1.6 ppt ^b
濃度の変化率 ^c	1.9 ppm/年	1.6 ppb/年	0.7 ppb/年	-1.9 ppt/年	0.6 ppt/年	—
大気中の寿命	— ^d	12年	114年	45年	270年	50,000年以上

^a East Anglia大学からのデータ。2004年と2005年については利用可能なデータがないため、2003年のデータのみ使用している。

^b 米国ペンシルバニア州立大学による1997年のデータ。

^c 変化率は、1998～2005年の平均値。

^d 二酸化炭素の寿命はIPCC第4次評価報告書(2007)では、濃度減少を時間の応答関数で示しているため、ここでは数値として掲載しない。

ppmは容積比で10万分の一、ppbは容積比で10億分の一をあらわす。

気象庁のホームページ(http://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/tour/tour_a1.html)では、IPCC第4次評価報告書に基づいて人間活動の影響を受ける温室効果ガスを整理している。

そのうち、農業に関係するのは、CO₂、CH₄、N₂Oと言われており、地球温暖化指数(二酸化炭素を基準にして、ほかの温室効果ガスがどれだけ温暖化する能力があるか表した数字)は、CO₂：CH₄：N₂Oが1：25：298である。このことは、同量のCO₂とN₂Oが畑地から発生した場合に、N₂Oの温室効果はCO₂の298倍になることを示す。

丹羽勝久 株式会社ズコーシャ 総合科学研究所 アグリ&エナジー推進室
略 歴

1996年北海道大学農学研究科修士課程修了。同年株式会社ズコーシャ入社。

2000年岩手大学連合大学院博士課程修了(社会人学生)。

リモートセンシング技術の開発や土壌調査等に従事。

◇本部会の情報収集・発信WG◇ 北海道農政部農村計画課 農地計画グループ(畑地計画)

部会へのご意見お待ちしております

Tel 011-231-4111(内線 27-426)

E-mail kishida.takashi@pref.hokkaido.lg.jp