

地球温暖化対策検討部会だより



2009 年度の農業分野の温室効果ガス排出量の内訳は、家畜の消化管内発酵に伴う CH₄ 排出（27%）が最も多く、肥料等による土壌からの N₂O 排出（23%）、稲作からの CH₄ 排出（22%）がこれに続きます（温室効果ガスインベントリ報告書）。今回は、農業環境技術研究所の麓主任研究員に水田からの温室効果ガス排出量を推定する数理モデル「DNDC-Rice」の概要について寄稿していただきました。

水田からの温室効果ガス排出量を推定する数理モデル「DNDC-Rice」の開発

はじめに

メタンと一酸化二窒素は人為起源の温室効果ガスとして二酸化炭素に次ぐ排出量がありますが、産業分野別では農業分野が最大の排出源とされています（IPCC, 2007）。ただし、現在の排出インベントリは限られた観測データから導出した排出係数によって推定されているため、その値には不確実性が大きいと考えられます。この課題を克服するものとして、作物の生育や土壌内の物質循環を数式化し、コンピュータで計算する数理モデルがあります。筆者らは、水田の温室効果ガス排出量を推定する数理モデル（DNDC-Rice）の開発と、それを用いた温室効果ガス排出量の広域評価を行ってきました。ここでは、現時点での成果および課題などについてご紹介します。

なぜ水田からメタンが出る？

水田の土壌には、メタン生成菌と呼ばれる特別な微生物が生息しています。メタン生成菌は酸素がある条件（好気条件）では活動できませんが、酸素がない条件（嫌気条件）では、有機物の分解産物を材料としてメタンを生成します（メタン発酵と呼ばれます）。水田からメタンが排出される第一の理由は、湛水によって土壌が嫌気条件になり、メタン発酵が起こるためです。しかし、水田からのメタン排出にはイネそのものも深く関わっています。すなわち、イネは根を通してメタン発酵の原料となる有機物を土壌に供給する一方で、土壌に酸素を放出することによってメタンの酸化分解にも寄与しているのです。さらに、水田の土壌で生成されたメタンは、イネ内部の空洞である「通気組織」を通して大気に放出されます。したがって、水田からのメタン排出を数理モデルで計算するためには、このようなイネと土壌の相互作用を数式化してモデルに組み込む必要があります。

DNDC-Rice モデルとは

筆者らが開発した DNDC-Rice という数理モデルは、米国ニューハンプシャー大学の C. Li 教授らが 1990 年代初めに開発した DNDC というモデル（たとえば、Li et al., 1992）を基にしています。DNDC モデルは元々、畑や草地からの二酸化炭素および一酸化二窒素の排出量を推定することを主目的としていました。筆者らは、イネから土壌への有機物の供給、土壌有機物の分解、土壌の酸化還元などのプロセスについてモデルに改良を加え、水田からのメタン排出量も推定できるモデル DNDC-Rice としました（Fumoto et al., 2008）。図 1 にこのモデルの概念図を示します。

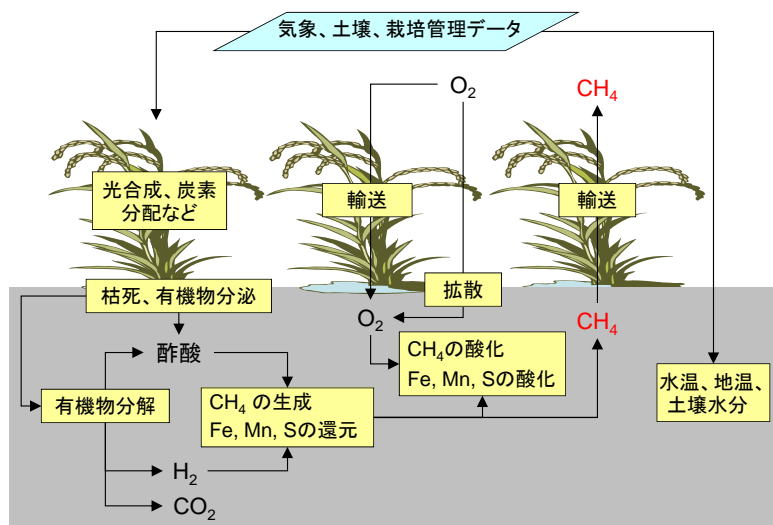


図 1 DNDC-Rice の概念図

DNDC-Rice モデルはマイクロソフトの Windows 環境で動作するソフトウェアとして作られており、一般のパーソナルコンピュータで使うことができます。ただし、実際に計算を行うためには、モデルの入力データとして、土壌の物理化学性のデータのほか日単位の気象データ（最高・最低気温、降水量など）および栽培管理データ（栽培期間、水管理、施肥など）を揃える必要があります。DNDC-Rice モデルにこれらのデータを入力すると、土壌の水分や温度、イネの生育、メタンや二酸化炭素の排出量など様々な要素を計算して出力します。

DNDC-Rice モデルの予測能力を検証するため、1道2県の水田（比布、郡山および龍ヶ崎）で水管理や有機物施用量を変えてメタン排出量を実測したデータと比較しました（Fumoto et al., 2010）。その結果、いずれの地点でも水管理や有機物施用量の違いによるメタン排出量の増減を概ね予測することができ、モデルの有効性を確認できました（図2）。

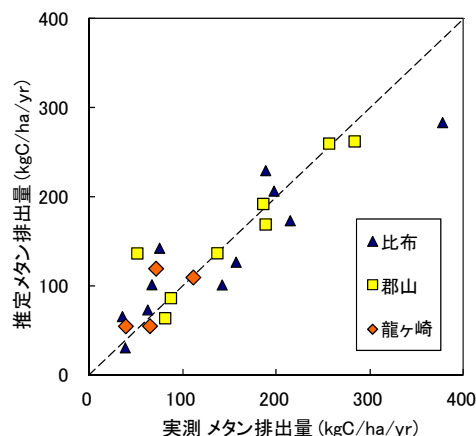


図 2 3 地点の水田からのメタン排出量の推定値と実測値の比較。

DNDC-Rice モデルの広域的な適用例

開発した DNDC-Rice モデルを用いて、北海道の水田について水管理によるメタン排出削減可能性を試算しました（Fumoto et al., 2010）。この際、土壌、気象および栽培管理のデータを既存の各種データベース（地力保全基本調査、上川農試による土壌分析データ、北海道米の広域調査など）から抽出しました。北海道を3次メッシュ（ほぼ1km四方）で区切るとおよそ2000区画に水田がありますが、そのうち栽培管理データが得られた61区画（水田面積として道全体の3.2%）について、2000年の気象データに基づいて計算を行いました（表1）。

その結果、慣行の水管理（幼穂形成期前または出穂期前に5日程度の中干しを行う）では、メタンの平均排出量は249 kgC/ha/yrと推定されました。これに対して、中干し日数を増やすほどメタン排出量が減少し、14日間の中干しを2回行うとメタン排出量を約40%削減できると推定されました。中干し日数を増やすと二酸化炭素と一酸化二窒素の排出量が若干増えますが、メタンの減

少量が大きいため、正味の温室効果ガス削減量は二酸化炭素換算で 2.6 トン CO₂ /ha/yr となりました。これを単純に日本の全水田面積（約 170 万 ha）に拡大すると、日本の全温室効果ガス排出量の 0.3%に相当し、水田の水管理が有効な温室効果ガス削減対策であることが示唆されます。ただし、水田の気象、土壌および栽培管理は地域によって大きく異なりますから、正確な評価のためには、全国の水田についてこれらのデータを整備して計算を行う必要があります。

表 1 北海道の水田において、慣行あるいは改善水管理を行った場合のメタン平均排出量の推定値（単位は kgC/ha/yr）

水管理*	稲わらすき込み時期			計
	春	秋	すき込み無し	
慣行	344	267	38	249
7日-7日	293	212	27	207
14日-0日	245	181	24	174
14日-7日	223	159	21	157
14日-14日	212	148	19	147

* 慣行以外の水管理は、幼穂形成期前および出穂期前の中干し日数を示す。

おわりに

以上で述べたように、DNDC-Rice モデルによって水田からの温室効果ガス排出量を広域的に推定することが可能です。現在は、日本全国の水田について入力データを整備し、メタンをはじめとする温室効果ガス排出量の推定を進めています。ただし、日本よりはるかに広い水田面積を持つ他のアジア諸国（中国、インドなど）に DNDC-Rice モデルを適用した場合の予測精度についてはまだ検証されていません。今後、これらの国々での実測データと比較してモデルの検証を進める予定です。

<参考文献>

- Fumoto, T., Kobayashi, K., Li, C., Yagi, K. and Hasegawa, T. (2008): Revising a process-based biogeochemistry model (DNDC) to simulate methane emission from rice paddy fields under various residue management and fertilizer regimes. *Global Change Biology*, 14:382-402.
- Fumoto, T., Yanagihara, T., Saito, T. and Yagi, K. (2010): Assessment of the methane mitigation potentials of alternative water regimes in rice fields using a process-based biogeochemistry model. *Global Change Biology*, 16:1847-1859.
- IPCC (2007): Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

麓 多門 農業環境技術研究所 物質循環研究領域 主任研究員

<略歴>

1990年東北大学大学院工学研究科資源工学専攻博士課程前期2年の課程修了。同年、農林水産省入省。農業環境技術研究所の独立行政法人化にともない、2001年より現職。大学では鉱石の微生物処理（バクテリア・リーチング）に関わる微生物を研究。農業環境技術研究所では、土壌酸性化および温室効果ガス排出についての数理モデルを研究。

◇本部会の情報収集・発信WG◇ 北海道農政部農村振興局農村計画課 農地計画グループ

部会へのご意見お待ちしております

Tel 011-231-4111(内線 27-425)

E-mail nosei.keikaku1@pref.hokkaido.lg.jp

本部会の取組をより身近に考えるきっかけとして、T 部会長からのコラムを掲載しています。今回は「2030 年代の降水量の確率は」をお届けします。

1. 2009 年 7 月の長雨の発生確率は

地球温暖化による気候変動により降水量の増加が予想されている。道内でも農産物に正負の影響が及びることが、道総研の研究成果として公表された。^{※1}

このうち、農業基盤整備分野で対応する必要性が大きいのは、雨量の増加による影響である。

同研究成果によると 2030 年代には、北海道の年平均気温は現在より 2.0℃上昇し、降水量は現在の 1.2 倍（月別では 0.8~1.8 倍）で、特に 7 月月間雨量は、現在の 1.6 倍~1.8 倍にもなると予想されており、農地の冠水や農作物の湿害などの被害が懸念される。

降雨量の予測は気温上昇のそれより精度は低いと言われているが、もし本当にそうなった場合、どのようなことがおきるのか。今回、月間降雨量が非常に多く、冷害と湿害により作物に大きな被害を受けた 2009 年 7 月の降雨について解析を試みた。

この年の主な道内気象官署における 7 月の月間雨量を表-1 に示した。観測期間中で歴代 1 位の雨量を記録した気象官署は、室蘭、網走、根室であった。単純に考えると室蘭では 88 年度に一度、網走では 120 年に一度の大雨だったことが判る。^{※2}

表-1 2009.7の月間降雨量

気象官署	2009.7の月間雨量 (mm)	順位 (番目)	観測年数 (年)	平成7月の月間雨量*	2009/平年 (倍)
				(mm)	(倍)
札幌	188	8	134	81	2.3
岩見沢	219	5	64	103	2.1
函館	334	2	138	130	2.6
室蘭	349	1	88	165	2.1
旭川	305	3	122	109	2.8
帯広	243	4	118	106	2.3
網走	210	1	120	87	2.4
根室	337	1	131	122	2.8

※1981~2010年における平均値

2. 現在の室蘭=2030 年代の網走？

先の道総研の研究成果を参考に、現在（平年値）と比較して 2030 年代には、北海道の 7 月降雨量が 1.8 倍になるものとして、湿害を発生させた 2009 年 7 月の降雨は、2030 年代にはどの程度の頻度で発生するか、網走を例に推計する。網走における 7 月の月間雨量の平年値（1981~2010 年）は表-1 より 87 mm と判るので、2030 年代の 7 月の平均降雨量は推計で 1.8 倍の 157 mm となる。^{※3}

網走における 7 月の月間雨量の平年値と 2030 年代の推計値についての頻度分布を図-1 に示した。また、網走における 2030 年代推計値（157mm）に近い室蘭における 7 月雨量の平年値（165mm）についての頻度分布も併せて示した。

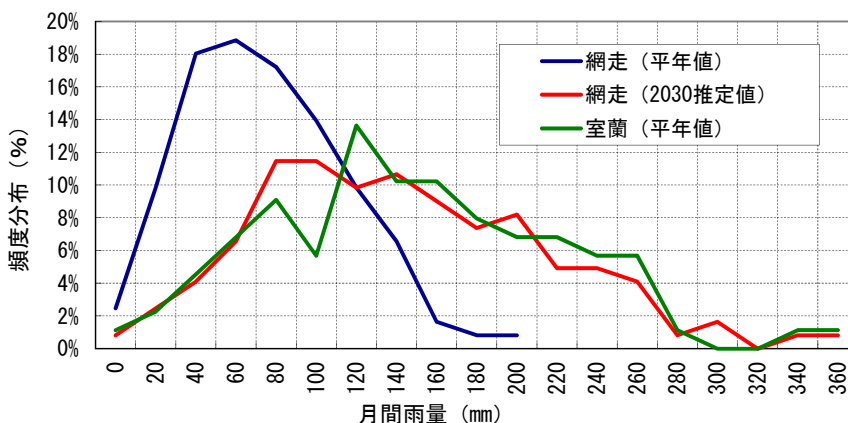
図-1 のとおり、網走（2030 推定値）と室蘭（平年値）の頻度分布は非常に似た分布をしている。すなわち、平均地が近いと頻度分布も似た分布をすることが推測された。このため、改めて網走（2030 推定値）と室蘭（平年値）の頻度分布の相関をとってみた（図-2）。

データ期間は両気象官署で共通する 1923 年~2010 年の 88 年間とした。

相関式は $y=1.0353X$ (y : 室蘭平年値、 x : 網走 2030 年推計値) と、両者の平均値の比 1.047 (158.8 mm/151.7 mm) に近い値となった。また決定係数は 0.99 と強い相関となった。

以上から、網走の 2030 年代の 7 月雨量の頻度分布は、室蘭の過去 88 年の降雨量の頻度分布と考えるとよいのではないだろうか。

図-1 網走における7月の月間雨量の平年値と 2030年代推計値、及び室蘭における月間雨量の平年値の頻度分布



3. 2009年7月月間雨量の発生確率

網走の過去120年の7月雨量と7月雨量を1.8倍し、大きい順に並べたものを表-2に示した。2009年7月雨量209.5mmは2030年代推定値における120個のデータでは上から26番と27番の間であった。

従って、超過確率は、 $(26+1)/(120+1) = 22.3\%$ 、再現年数は $121/27 = 4.5$ 年となる。以上から、2009年7月に網走で湿害を発生させた雨は、現在の発生確率では120年に1回程度であるが、2030年代においては、4~5年に1回程度発生すると言える。

図-2 7月の月間雨量について
網走(2030年代推定値)と室蘭(平年値)の相関
(1923~2010年までの88年間のデータを小さい順に並べて比較)

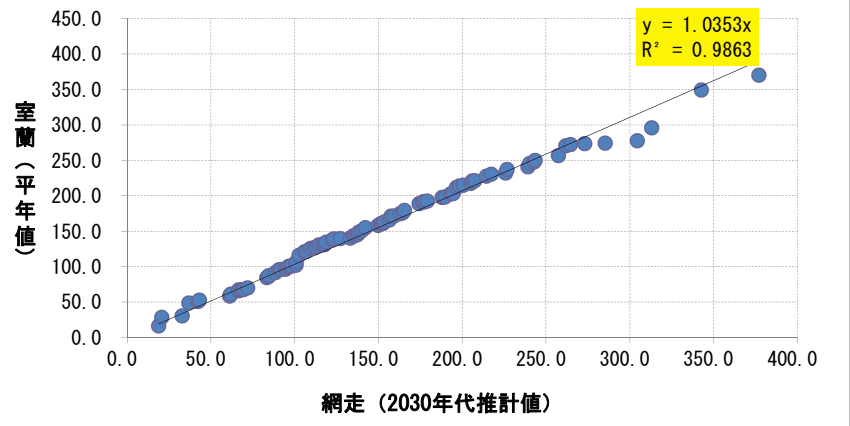


表-2 網走における7月降雨量の統計及び2030年代の推計(×1.8)

順位	年	7月降雨量	同左×1.8	順位	年	7月降雨量	同左×1.8	順位	年	7月降雨量	同左×1.8	順位	年	7月降雨量	同左×1.8
1	2009	209.5	377.1	31	1981	111.5	200.7	61	1895	83.1	149.6	91	1943	53.8	96.8
2	1947	190.4	342.7	32	1915	111.1	200.0	62	1983	79.0	142.2	92	1957	53.2	95.8
3	2001	174.0	313.2	33	1962	110.2	198.4	63	1896	78.9	142.0	93	1979	52.5	94.5
4	1941	169.2	304.6	34	1933	109.2	196.6	64	1954	77.8	140.0	94	1900	51.8	93.2
5	1995	158.5	285.3	35	1965	108.1	194.6	65	1928	76.8	138.2	95	2008	51.0	91.8
6	1914	152.6	274.7	36	1929	107.3	193.1	66	1984	76.5	137.7	96	1956	50.4	90.7
7	1939	151.8	273.2	37	1952	105.4	189.7	67	1894	76.2	137.2	97	1934	49.2	88.6
8	1985	147.0	264.6	38	1902	105.1	189.2	68	1930	75.7	136.3	98	1922	49.0	88.2
9	1911	146.0	262.8	39	1908	104.5	188.1	69	1909	75.3	135.5	99	1897	47.9	86.2
10	1975	145.5	261.9	40	1977	104.5	188.1	70	1935	75.0	135.0	100	1942	47.0	84.6
11	1987	143.0	257.4	41	1919	101.4	182.5	71	1992	74.0	133.2	101	1972	47.0	84.6
12	1903	142.8	257.0	42	2010	99.5	179.1	72	1912	73.8	132.8	102	1963	46.3	83.3
13	1904	135.4	243.7	43	1966	98.6	177.5	73	1948	70.7	127.3	103	1892	45.0	81.0
14	1945	135.3	243.5	44	1951	98.5	177.3	74	1931	68.6	123.5	104	1906	43.9	79.0
15	1926	134.9	242.8	45	2002	98.0	176.4	75	1959	68.0	122.4	105	1976	40.0	72.0
16	1996	133.5	240.3	46	1936	96.8	174.2	76	1991	66.0	118.8	106	1927	38.6	69.5
17	1953	132.9	239.2	47	1891	96.4	173.5	77	1989	65.5	117.9	107	1994	38.0	68.4
18	1917	131.6	236.9	48	1913	93.6	168.5	78	1937	64.8	116.6	108	1970	37.0	66.6
19	1920	130.7	235.3	49	1998	92.0	165.6	79	1950	63.7	114.7	109	1997	37.0	66.6
20	1893	126.3	227.3	50	1940	91.4	164.5	80	1924	62.8	113.0	110	1925	34.4	61.9
21	1971	126.0	226.8	51	1960	90.5	162.9	81	1969	62.0	111.6	111	1986	34.0	61.2
22	2000	125.5	225.9	52	1999	88.5	159.3	82	1907	61.9	111.4	112	1916	32.3	58.1
23	1923	120.8	217.4	53	1982	87.5	157.5	83	1961	60.8	109.4	113	1901	31.2	56.2
24	1899	120.4	216.7	54	2007	87.0	156.6	84	2003	59.5	107.1	114	1905	24.6	44.3
25	1918	119.4	214.9	55	1958	85.3	153.5	85	1910	59.4	106.9	115	1988	24.0	43.2
26	1964	119.2	214.6	56	1921	85.0	153.0	86	1949	58.8	105.8	116	2006	23.5	42.3
27	1932	115.3	207.5	57	1946	84.9	152.8	87	1978	57.0	102.6	117	1974	20.5	36.9
28	1955	114.5	206.1	58	1944	84.4	151.9	88	1990	56.0	100.8	118	1938	18.3	32.9
29	1898	114.2	205.6	59	1973	84.0	151.2	89	2004	56.0	100.8	119	1993	11.5	20.7
30	2005	114.0	205.2	60	1967	83.2	149.8	90	1968	54.5	98.1	120	1980	10.5	18.9

4. まとめ

以上のように、2030年代には7月の月間平均雨量が1.8倍になり、2009年のような極めてまれな雨が4~5年に1回程度発生することも推定され、農地の排水対策が一層重要になる。湿害と相関の高い気象要素として、ここでは月間雨量を取り上げているが、農作物にもっともダメージを与える降雨が月間雨量とは限らない。農作物に悪影響を与える降雨パターンを特定した上で、営農と基盤整備が連携して総合的な農地排水の対策を検討していく必要があると考えるが如何であろう。

※1：北海道立総合研究機構農業試験場資料 39号 戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築—気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測—」成果集(平成23年10月)北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場

※2：ここでいう降雨の発生確率は厳密に統計解析したものではない。目安程度と考えていただきたい。

※3：道総研の研究成果では、平年値は1971~2000年の30年間の平均としている。また、2030年代の7月雨量は、全道平均で1.8倍(CCSRモデル)と言っており、網走で1.8倍になるとは言っていない。