

有機物連用試験水田における土壌および水稻玄米の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	吉羽, 雅昭 田村, 幸美
巻/号	69巻3号
掲載ページ	p. 299-302
発行年月	1998年6月

ノ ー ト

有機物連用試験水田における土壌および
水稲玄米の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ *1吉羽雅昭*2・田村幸美*2・朴 光来*3
熊澤喜久雄*4・麻生昇平*2キーワード $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, 玄米, 土壌, 有機物連用
水田

1. はじめに

近年、炭素や窒素に関する物質循環の流れや、起源物質を探る有力な手段として安定同位体自然存在比 ($\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$) 測定法が用いられるようになってきた¹⁾。

著者らは、日本各地の農業試験場の水稲栽培試験地から、有機物施用と化学肥料単用圃場の土壌と玄米の提供を受け、それぞれの $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の値を測定し、施用された有機物の性質などによる変化を捉え、長期間にわたる肥培管理が土壌の性質に刻む記録を読みとろうとした。

安定同位体自然存在比測定法を水田土壌-水稲系の物質循環に応用するための基礎的な知見はすでに Yoneyama により詳細に与えられている²⁾ ので、これらを参照してより具体的な実際場面での適応を心がけた。

2. 調査方法

試料の収集と調製：全国の農業試験場により送付された、様々な組み合わせの有機物施用試験が行われた水田土壌および水稲玄米より、土壌その他の条件が等しい有機物施用区と化学肥料単用区の土壌およびそれらの土壌より収穫された水稲玄米を選択した。土壌と玄米は風乾後、粉碎し分析試料とした。

$\delta^{13}\text{C}$ の測定：試料をそのまま、同位体分析用試料調製装置を用いて、デュマ法³⁾ により分解後、 CO_2 として、質量分析計 (Finnigan Delta E) に導き $\delta^{13}\text{C}$ 値を求めた。

$\delta^{15}\text{N}$ の測定：試料はケルダール分解後、アンモニアを 1/10 M H_2SO_4 中に蒸留捕捉し、濃縮後、同位体分析用試料調製装置を用いて、リッテンバーグ法⁴⁾ により N_2 として質量分析計 (Finnigan MAT 252) に導き $\delta^{15}\text{N}$ 値を求めた。

3. 調査結果

$\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の分析結果は第 1 表に示す通りである。

1) 土壌および玄米の $\delta^{13}\text{C}$

第 1 表において、測定値の一部が欠測した大阪、広島、山口、熊本、鹿児島を除いた土壌の $\delta^{13}\text{C}$ の 3 連の平均値は化学肥料区、有機物区についてそれぞれ -24.2 ± 1.63 (‰), 24.6 ± 1.73 (‰) を示し有意な差は認められなかった。また、玄米の $\delta^{13}\text{C}$ の平均値も化学肥料区、有機物区についてそれぞれ -26.1 ± 0.50 (‰), -26.1 ± 0.89 (‰) を示し、土壌同様有意な差は認められなかった。

水稲の属する C_3 植物の $\delta^{13}\text{C}$ は平均 -27 ‰であるので^{5,6)}、この玄米の $\delta^{13}\text{C}$ の平均 -26.1 ‰は妥当な値といえよう。また、水田に投入される有機物もおそらく水稲ワラ等を主とした C_3 植物であると考えられるが、その土壌の $\delta^{13}\text{C}$ の平均値が -24.4 ‰となっている。この点については土壌中に投入された有機物の $\delta^{13}\text{C}$ は有機物の分解過程等を経た後には、1~2 ‰増大するといわれているので⁷⁾、ここで得られた値は妥当なものといえよう。

2) 土壌および玄米の $\delta^{15}\text{N}$

土壌の $\delta^{15}\text{N}$ の平均値は化学肥料区、有機物区についてそれぞれ 2.63 ± 1.54 (‰), 3.67 ± 1.84 (‰) を示し、また玄米の $\delta^{15}\text{N}$ の平均値も化学肥料区、有機物区についてそれぞれ 2.71 ± 2.15 (‰), 5.40 ± 2.51 (‰) を示した。Yoneyama²⁾ によると、耕地土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値はほぼ $+7$ ‰であり、森林土壌はほぼ $+1$ ‰である。しかしその分布範囲は相当広くなっており、水田土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値は一般の畑土壌と比べて若干低い値に傾いている⁸⁾。さらに水田土壌や玄米の $\delta^{15}\text{N}$ 値を考察する場合は、次のようなことも考慮する必要がある。

すなわち、 $\delta^{15}\text{N}$ は土壌でも玄米でも化学肥料区より有機物区で大きくなり、また、玄米の $\delta^{15}\text{N}$ は対応する土壌の $\delta^{15}\text{N}$ より大きな値を示しているようであるが、標準偏差が大きいため有意とはいえない。土壌の $\delta^{15}\text{N}$ は土壌に添加される有機物の種類や化学肥料の影響によ

Masaaki Yoshida, Yukimi Tamura, Kwang-Lai Park, Kikuo Kumazawa and Shohei Asō: $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in Soil and Brown Rice from Paddy Field Successively Applied with Organic Matter

*1 本研究の一部は平成 8 年度と 9 年度日本土壌肥料学会全国大会で発表した。

*2 東京農業大学農学部農芸化学科 (156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1)

*3 東京農業大学総合研究所 (現在、農林水産省国際農林水産業研究センター環境資源部 305-8686 つくば市大わし 1-2)

*4 同上 (156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1)

1997 年 8 月 26 日 受付・受理

日本土壌肥料学雑誌 第 69 巻 第 3 号 p. 299~302 (1998)

り異なるし、また、土壤中での窒素化合物の分解や水稻による吸収利用過程によっても土壤残留窒素の $\delta^{15}\text{N}$ は変化することが予想される。また、水田土壤ではラン藻などの窒素固定も無視できない。一般に生物的に固定された窒素の $\delta^{15}\text{N}$ は $-0.2\sim 2.0\text{‰}$ 程度となっている⁵⁾。

上記のような知見をもとにして有機物施用区の具体的な内容に対応した区分けをして考察する。第 2 表に使用した有機物の素材が明らか有機物施用区と化学肥料区の土壤と玄米の $\delta^{15}\text{N}$ ならびに有機物施用区の $\delta^{15}\text{N}$ から化学肥料区の $\delta^{15}\text{N}$ を差し引いた値を示した。

第 2 表に示されるように、土壤では有機物単用の 7 試験地全てにおいて、有機物単用区の $\delta^{15}\text{N}$ が化学肥料区よりも高い。そして有機物単用区の $\delta^{15}\text{N}$ から化学肥料区の $\delta^{15}\text{N}$ を差し引いた値が $+0.15\sim 4.30\text{‰}$ であった。その内鶏糞を施用した 3 試験地の内 2 試験地（新潟、岡山）が 2.17‰ と 4.30‰ と他の試験地の差より大きかった。それに対しオガ堆肥+なたね粕区（佐賀）とワラ堆

肥単用区（熊本）は 0.61‰ と 0.27‰ であることから、動物性有機物施用の場合の $\delta^{15}\text{N}$ が植物性有機物を施用した場合より高くなる傾向がみられた。なお、鶏糞を施用した 1 試験地（長野）で、有機物区と化学肥料区の差が 0.15‰ と小さいが、この場合はレンゲの鋤込みと大豆粕の併用によるためではないかと考える。また、施用有機質肥料の素材が明らかでない 2 試験地（宮城、兵庫）では、その差が $1.03\sim 2.52\text{‰}$ と植物性有機物よりも大きいことから、動物性有機物を併用している可能性が推察される。

玄米の $\delta^{15}\text{N}$ は、有機物単用区の $6.64\pm 1.71\text{‰}$ に対し、化学肥料区は $2.29\pm 1.64\text{‰}$ と明らかに有機物単用区が高くなったが、土壤のように有機物の種類による相違は認められなかった。

次に有機物と化学肥料を併用した試験地についてみると、土壤では稲ワラあるいはワラ堆肥と化学肥料を併用した試験地の平均値が、化学肥料区の $2.59\pm 0.81\text{‰}$ (‰)

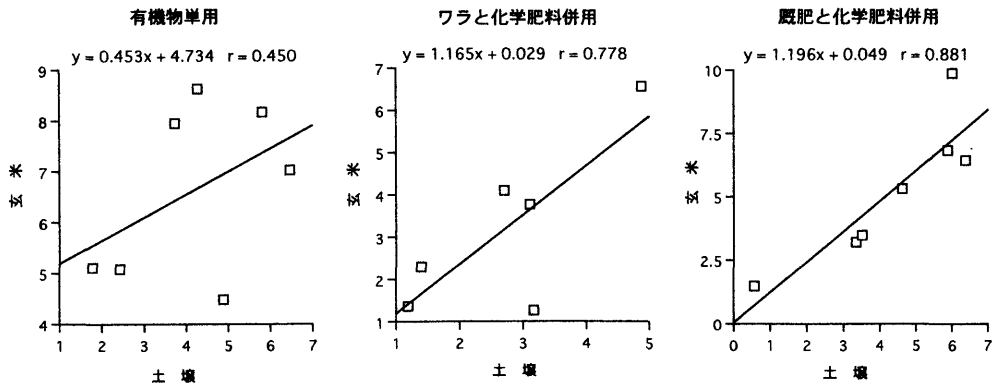
第 1 表 有機物連用水田土壤および水稻玄米の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$

試験地	$\delta^{13}\text{C}$				$\delta^{15}\text{N}$			
	土壤		玄米		土壤		玄米	
	化学肥料	有機物	化学肥料	有機物	化学肥料	有機物	化学肥料	有機物
北海道	-22.8	-25.0	-27.4	-27.3	2.74	4.83	6.14	6.55
北陸	-25.6	-26.7	-26.3	-26.2	2.40	1.4	2.14	2.29
九州	-24.1	-23.1	-25.3	-25.4	3.68	2.7	3.44	4.10
宮城	-24.7	-26.3	-26.7	-26.8	0.75	1.78	1.51	5.11
新潟	-25.4	-23.3	-26.2	-26.4	0.26	2.43	1.19	5.08
石川	-23.3	-24.4	-26.1	-26.0	2.72	3.21	2.46	9.00
茨城	-21.2	-24.9	-26.0	-25.7	5.96	1.63	4.41	4.85
神奈川	-24.8	-21.7	-25.8	-25.8	4.43	6.01	7.87	9.86
山梨	-25.8	-25.7	-26.5	-26.6	1.53	1.51	4.28	8.15
長野	-25.2	-24.1	-26.1	-26.2	3.59	3.74	3.99	7.95
岐阜	-25.0	-24.1	-25.7	-25.7	2.44	3.00	4.23	5.29
三重	-23.5	-24.0	-25.9	-26.4	3.05	6.34	2.76	3.48
大阪	-25.3	ND	-26.3	-26.4	3.28	3.11	4.65	3.77
兵庫	-20.5	-22.4	-26.1	-26.2	2.39	4.89	3.32	4.48
和歌山	-24.4	-26.5	-26.4	-26.3	1.55	1.19	-0.63	1.36
鳥取	-24.3	-26.4	-26.6	-26.7	0.97	3.35	0.60	3.22
岡山	-25.3	-25.9	-25.8	-25.7	1.51	5.81	0.31	8.17
広島	-27.0	ND	-26.1	-26.3	0.75	0.57	1.75	1.48
山口	-23.0	-21.4	ND	-26.9	1.86	4.52	1.69	5.32
佐賀	-25.0	-26.0	-25.6	-25.7	3.67	4.28	4.56	8.63
長崎	-25.0	-22.7	-26.0	-26.6	1.40	5.88	3.48	6.83
熊本	ND	ND	-24.9	-22.5	6.19	6.46	1.12	7.03
大分	-25.2	-27.0	-25.7	-25.8	1.89	3.17	-1.58	1.26
鹿児島	-21.0	ND	-26.1	-26.3	4.09	6.38	1.31	6.43
平均	-24.2	-24.6	-26.1	-26.1	2.63	3.67	2.71	5.40
標準偏差	1.63	1.73	0.50	0.89	1.54	1.84	2.15	2.51

各測定値は 3 連の平均

第2表 施用した有機物別の土壌と玄米の $\delta^{15}\text{N}$ 値

試験地	施用有機物	栽培 期間	土 壤			玄 米		
			化学肥料(A)	有機物(B)	B-A	化学肥料(A)	有機物(B)	B-A
有機物単用								
宮城	堆肥, 有機肥料併用	4年	0.75	1.78	1.03	1.51	5.11	3.60
新潟	ワラ, 鶏糞, 油粕	4年	0.26	2.43	2.17	1.19	5.08	3.89
長野	レンゲ, 鶏糞, 大豆粕	2年	3.59	3.74	0.15	3.99	7.95	3.96
兵庫	有機肥料		2.37	4.89	2.52	3.32	4.48	1.16
岡山	ワラ堆肥, 鶏糞	4年	1.51	5.81	4.30	0.31	8.17	7.86
熊本	ワラ堆肥	3年	6.19	6.46	0.27	1.12	7.03	5.91
佐賀	オガ堆肥, なたね粕	4年	3.67	4.28	0.61	4.56	8.63	4.07
平均値			2.62	4.20	1.58	2.29	6.64	4.35
標準偏差			2.05	1.70		1.64	1.71	
稲ワラ								
北海道	ワラ, 化肥併用	3年	2.74	4.83	2.09	6.14	6.56	0.42
大 阪	ワラ, 化肥併用	14年	3.28	3.11	-0.17	4.65	3.77	-0.88
和歌山	ワラ, 化肥併用	17年	1.55	1.19	-0.36	-0.63	1.36	1.99
北陸	ワラ堆肥, 化肥併用	20年	2.40	1.40	-1.00	2.14	2.29	0.15
九州	ワラ堆肥, 化肥併用	29年	3.68	2.70	-0.98	3.44	4.10	0.66
大分	ワラ堆肥, 化肥併用 (減)	17年	1.89	3.17	1.28	-1.58	1.26	2.84
平均値			2.59	2.73	0.14	2.36	3.22	0.86
標準偏差			0.81	1.33		3.01	2.02	
家畜糞								
神奈川	厩肥, 化肥併用	16年	4.43	6.01	1.58	7.87	9.86	1.99
三重	厩肥, 化肥併用	16年	1.79	3.51	1.72	2.76	3.48	0.72
長崎	厩肥, 化肥併用	20年	1.40	5.88	4.48	3.48	6.83	3.35
鹿児島	厩肥, 化肥併用 (減)	12年	4.09	6.38	2.29	1.31	6.43	5.12
鳥取	堆肥, 化肥併用	16年	0.97	3.35	2.38	0.60	3.22	2.62
広島	堆肥, 化肥併用		0.75	0.57	-0.18	1.75	1.48	-0.27
山口	堆肥, 化肥併用 (減)	16年	1.86	4.62	2.76	1.69	5.32	3.63
平均値			2.18	4.33	2.15	2.78	5.23	2.45
標準偏差			1.48	2.05		2.43	2.79	
緑肥								
長野	レンゲ, 鶏, 大豆, 豆腐	2年	3.59	3.74	0.15	3.99	7.95	3.96
岐阜	レンゲ, 化肥併用	2年	2.44	3.00	0.56	4.23	5.29	1.06

第1図 土壌と玄米の $\delta^{15}\text{N}$ 値 (‰) の施用有機物の種類別相関図

に対し、有機物区は 2.73 ± 1.33 (‰) と大差が無かった。また、緑肥としてレンゲを導入している試験地でも、有機物区の $\delta^{15}\text{N}$ から化学肥料区の $\delta^{15}\text{N}$ の差が長野で $+0.15$ ‰、岐阜で $+0.56$ ‰と小さく、両者の間に大差がなかった。それに対して、厩肥あるいは堆肥と化学肥料を併用した試験地の $\delta^{15}\text{N}$ は、化学肥料区が 2.18 ± 1.48 (‰)であったのに対して、有機物区は 4.33 ± 2.05 (‰)と高く、有機物区の $\delta^{15}\text{N}$ から化学肥料区の $\delta^{15}\text{N}$ を差し引いた値が、広島県を除き最低 1.58 ‰から最大 4.48 ‰と明らかに有機物区の $\delta^{15}\text{N}$ が高くなった。

玄米の $\delta^{15}\text{N}$ は稲ワラでは化学肥料区が 2.36 ± 3.01 (‰)、有機物区が 3.22 ± 2.02 (‰)と両者の間で有為な差が認められなかった。緑肥については長野では有機物区と化学肥料区の差が 2.96 ‰と大きい、岐阜ではその差が 1.06 ‰と小さく一定の傾向が認められなかった。家畜糞併用の場合は化学肥料区が 2.78 ± 2.43 (‰)に対して有機物区が 5.23 ± 2.79 (‰)と、土壌と同様有機物施用の $\delta^{15}\text{N}$ が明らかに高くなった。

土壌と玄米の間の $\delta^{15}\text{N}$ の相関関係を有機物の素材別に求め第1図に示した。有機物単用の場合は相関係数 0.450 であったが、稲ワラの場合は相関係数 0.778 となり、家畜糞の場合は相関係数 0.881 と有機物の素材が多様である有機物単用に比べ、有機物と化学肥料の併用を素材別にすると土壌と玄米の相関が高まった。有機物単用と有機物と化学肥料併用の間での差は、有機物と化学肥料の併用が北海道と広島を除き連用12年から29年と長期であるのに対し、有機物単用が連用2～4年と短い

ことが関係しているのではないと思われる。

さらに、稲ワラおよび家畜糞と化学肥料併用区における土壌の $\delta^{15}\text{N}$ と玄米の $\delta^{15}\text{N}$ の間の回帰方程式の勾配が 1.165 と 1.196 であることから、土壌の $\delta^{15}\text{N}$ より玄米の $\delta^{15}\text{N}$ が約10%強高くなることが明らかとなった。

謝 辞 本研究の実施にあたり試料の提供をいただいた国並びに都道府県の農業試験研究機関に対し厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Wada, E., Yoneyama, T., Minagawa, M., Ando, T. and Fryed, B. F.: Stable Isotopes in the Biosphere, Kyoto University Press, Kyoto (1995)
- 2) Yoneyama, T.: Characterization of Natural ^{15}N Abundance of Soils. Mass Spectrometry of Soils, p. 205~221, Marcel Dekker, Inc., New York (1996)
- 3) Yoneyama, T.: N_2 fixation and natural ^{15}N abundance of leguminous plants and azolla. *Bull. Natl. Inst. Agrobiol. Resour.*, **3**, 59~87 (1987)
- 4) Minagawa, M., Wintert, D. A. and Kaplan, I. R.: Comparison of Kjeldahl and combustion methods for measurement of nitrogen isotope ratios in organic matter. *Anal. Chem.*, **56**, 1859~1861 (1984)
- 5) 和田英太郎: 安定同位体はなにを語るか, 遺伝, **47**, 10~14 (1993)
- 6) 南川雅男: 人間生態系の炭素・窒素同位体分布, 同上, **47**, 32~37 (1993)
- 7) 米山忠克: 土壌-植物-大気における炭素・窒素・水素の循環, 同上, **47**, 27~31 (1993)
- 8) 和田英太郎・山田佳裕: 沈黙の同位体で探る湖の生態, 科学, **49**, 719~723 (1994)