アナリティカルレポート

クラゲ中の無機成分の定量

福士 恵一^{®1}, 辻本 淳一², 横田久里子^{1,3}

Determination of Inorganic Constituents in Jellyfish

Keiichi FUKUSHI¹, Jun-ichi TSUJIMOTO² and Kuriko YOKOTA^{1,3}

¹ Faculty of Maritime Sciences, Kobe University, 5-1-1, Fukaeminami-machi, Higashinada-ku, Kobe-shi, Hyogo 658-0022

² Kiso Chemical Enterprises Ltd., 1, Maya-futo, Nada-ku, Kobe-shi, Hyogo 657-0854

³ Present address, Faculty of Crisis Management, Chiba Institute of Science, 3, Shiomi-cho, Choshi-shi, Chiba 288-0025

(Received 28 June 2004, Accepted 17 September 2004)

We have determined the concentrations of inorganic components in jellyfish, such as *Aurelia aurita* (with and without aeration), *Stomolophus nomurai*, and dried sludge of *Aurelia aurita* using absorptiometry, flame photometry, ICP emission spectroscopy, atomic absorption spectrometry, or ion chromatography to examine the potential usefulness of jellyfish as a fertilizer for vegetable fields. The concentrations of the total nitrogen (9800 mg/kg), total phosphorus (19000 mg/kg), magnesium (17000 mg/kg), and calcium (27000 mg/kg) in the dried sludge of *Aurelia aurita* were 23, 1360, 14, and 96-times higher than those in *Aurelia aurita* (without aeration, 420, 14, 1200, and 280 mg/kg in fresh weight), respectively. Although the dried sludge of *Aurelia aurita* seemed to have some potential as a fertilizer, it contained high concentrations of iron (190000 mg/kg) and aluminum (2200 mg/kg), which might be undesirable for the growth of plants. On the other hand, the concentration of total nitrogen (750 mg/kg) in *Stomolophus nomurai* was 1.8-times higher than that in *Aurelia aurita* (without aeration), although the concentrations of total phosphorus (2.3 mg/kg) and calcium (75 mg/kg) were 1/6 and 1/4 of those in *Aurelia aurita* (without aeration). *Stomolophus nomurai* could also be expected to have potential as a fertilizer. Spinach was cultivated using a suspension of *Aurelia aurita* and *Stomolophus nomurai*, and the dried sludge of *Aurelia aurita* as a fertilizer. *Stomolophus nomurai* was most effective for the growth of spinach. The high concentrations of iron and aluminum in the dried sludge of *Aurelia aurita* seemed to decelerate the growth of spinach.

Keywords : jellyfish ; inorganic constituents ; nutrients ; fertilizer ; vegetables.

1 緒 言

近年、日本沿岸の火力・原子力発電所等では、大量に発生したクラゲ（主にミズクラゲであるが、アカクラゲも混入）が復水器冷却用海水取水口に押し寄せ、取水量制限・

出力制限を余儀なくされるという問題が起こっている。一方、クラゲは漁業においても漁具の破損、魚群の入網・揚網阻止、魚体の損傷・鮮度低下等の被害を与えており¹⁾、特に大型のエチゼンクラゲによる被害額は、青森県では今年1月末までで約23億円に上ると言われている。発電所等では、クラゲ襲来時にクラゲ回収装置を稼働させてクラゲを回収し、今までは発電所構内の溝に廃棄あるいは産業廃棄物として処理していた。しかし、最近では循環型社会²⁾形成の観点から、回収されたクラゲの適正な処理が求められている。その結果、回収されたクラゲを加圧浮上装

¹ 神戸大学海事科学部: 658-0022 兵庫県神戸市東灘区深江南町5-1-1

² キソー化学工業株式会社: 657-0854 兵庫県神戸市灘区摩耶埠頭1

³ 現在所属 千葉科学大学危機管理学部: 288-0025 千葉県銚子市塩見町3

置で分離・濃縮し、乾燥ミズクラゲスラッジ（以後、乾燥クラゲ）を得るクラゲ減容処理システムも実用化されるようになってきた。これに対して、漁船の網に入ったエチゼンクラゲについては、食用に加工するといった提案もなされているが、処理法については模索中というのが現状である。

これらクラゲの理想的な処理法は、最終的に有効利用することであるが、有効利用法について検討するためには、クラゲの化学成分分析を行うことが重要である。現在までに、ミズクラゲや熱処理ミズクラゲの水分、灰分、タンパク質濃度について分析した報告¹⁾はあるが、特にエチゼンクラゲについて、主要成分や重金属類を含めて詳細に分析した報告はない。著者らは、発電所等で回収されたミズクラゲ、アカクラゲが野菜等の肥料として有効利用できることを示してきた³⁾。そこで、本研究では、ミズクラゲ、乾燥クラゲ及びエチゼンクラゲの野菜等の肥料としての潜在的有用性について検討するために、これらクラゲに含まれる各種無機成分を定量し、また、クラゲを肥料としてホウレンソウを栽培し、その肥料としての効果について検討した。

2 実 験

2・1 試 料

以前の実験より、ミズクラゲはバケツ等に採取後、1晩放置するだけでは懸濁液状になることが分かっている。クラゲ試料として、①採取した後、容器中に移し、室温において保存したミズクラゲ（曝気無し）、②室温保存中、エアポンプで空気を送り続けたミズクラゲ（曝気有り）、③クラゲ減容処理システム（和泉電気、大阪）により得られた乾燥クラゲ、④採取後、そのまま室温において容器中で保存したエチゼンクラゲの4種類を用いた。ミズクラゲ及び乾燥クラゲは、NPO法人ゼリ・ジャパン（東京）より入手し、エチゼンクラゲは、関西電力美浜発電所より入手した。なお、比較のために、化成肥料（N:P:K=9:6:7、福栄肥料より提供）についても分析した。

2・2 装置及び試薬

クラゲ試料及び化成肥料中の各種無機成分定量には、三菱化学製微量全窒素分析装置（減圧法）TN-100、島津製紫外-可視分光光度計 UV-160A、島津製イオンクロマトグラフ HIC-6A [電気伝導度検出器 CDD-6A、紫外-可視吸光検出器 SPD-10A（検出波長は 210 nm）]、三洋電機製ラボオートクレーブ MLS-2420、日立製偏光ゼーマン原子吸光光度計 Z-6000、島津製シーケンシャル形高周波プラズマ発光分析装置 ICPS-1000IV、島津製水素化物発生装置 HVG-1、平沼産業製水銀測定装置 HG-300 の装置を用いた。

窒素・リン測定用ペルオキシ二硫酸カリウム（等級無し）以外は、すべて和光純薬製特級試薬を用いた。なお、純水はヤマト科学製純水製造装置 WG-25 により精製したものをを用いた。

2・3 分析法

クラゲ試料及び化成肥料中の無機成分は、工場排水試験方法（JIS K 0102）⁴⁾ 及び土壤環境分析法⁵⁾ により定量した。

2・3・1 ミズクラゲ（曝気無し）、ミズクラゲ（曝気有り）、エチゼンクラゲ ①全窒素、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、塩化物イオン：懸濁液状試料を適宜希釈し、全窒素は熱分解法（JIS K 0102 45. 5）、アンモニア態窒素はインドフェノール青吸光光度法（JIS K 0102 42. 2）、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、塩化物イオンはイオンクロマトグラフ法（JIS K 0102 43. 1. 2, 43. 2. 5, 35. 3）により定量した。②全リン、ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム、ホウ素、アルミニウム、マンガン、鉄、銅、亜鉛、モリブデン、ヒ素、カドミウム、鉛：試料 51.00～51.23 g を硝酸-過塩素酸で加熱分解後、100 ml に定容し、ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウムについては適宜希釈後測定した。全リンはモリブデン青（アスコルビン酸還元）吸光光度法（JIS K 0102 46. 1. 1）、ナトリウム、カリウムはフレイム光度法（JIS K 0102 48. 1, 49. 1）、マグネシウム、カルシウム、ホウ素、アルミニウム、マンガン、鉄、銅、亜鉛、モリブデンは誘導結合プラズマ（ICP）発光分光分析法（JIS K 0102 51. 3, 50. 3, 47. 3, 58. 4, 56. 4, 57. 4, 52. 4, 53. 3, 68. 2）、ヒ素は水素化物発生 ICP 発光分光分析法（JIS K 0102 61. 3）、カドミウム、鉛はフレイム原子吸光法（JIS K 0102 55. 1, 54. 1）により定量した。③水銀：試料 2.040～2.049 g を過マンガン酸カリウムで前処理後、還元気化原子吸光法（JIS K 0102 66. 1. 1）により定量した。

2・3・2 乾燥クラゲ 適当量をめのう乳鉢ですりつぶして試料とした。①全窒素、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、塩化物イオン：試料 0.760～0.884 g に水を加えて懸濁液状にし、100 ml に定容後、適当に希釈し、2・3・1 と同様に定量した。ただし、全窒素測定用以外の試料については、水を加えた後、1晩放置した。②全リン、ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム、ホウ素、アルミニウム、マンガン、鉄、銅、亜鉛、モリブデン、ヒ素、カドミウム、鉛：試料 3.082 g を硝酸-過塩素酸で加熱分解後、100 ml に定容し、モリブデン、ヒ素、カドミウム、鉛以外は適宜希釈し、2・3・1 と同様に定量した。③水銀：試料 1.290 g に水 100 ml を加えて懸濁液状にし、2 ml を分取し、過マンガン酸カリウムで前処理後、2・3・1 と同様に定量した。

Table 1 Analytical results for jellyfish

Component /mg kg ^{-1 a)}	<i>Aurelia aurita</i> (without aeration)	<i>Aurelia aurita</i> (with aeration)	<i>Aurelia aurita</i> (dried sludge)	<i>Stomolophus</i> <i>nomurai</i>	Chemical fertilizer
Total N	420	160	9800	750	99900 ^{c)}
Total P	14	24	19000	2.3	30000 ^{c)}
Na	9400	11000	2400	10000	2600
K	430	510	180	540	67000 ^{c)}
Mg	1200	1400	17000	1200	1000
Ca	280	410	27000	75	79000
B	4.1	5.4	530	4.2	150
Cl	16300	19500	660	19100	56500
Al	1.4	2.1	2200 ^{b)}	0.3	—
Mn	0.1	0.2	880	0.1	28
Fe	0.5	0.5	190000 ^{b)}	0.4	1500
Cu	<0.1	<0.1	180	<0.1	2
Zn	0.4	0.4	690	1.7	20
As	<0.1	<0.1	<5	<0.1	—
Mo	<0.2	<0.2	13	<0.2	<5
Cd	<0.1	<0.1	1.4	<0.1	—
Hg	<0.001	<0.001	<0.05	<0.001	—
Pb	<1	<1	29	<1	—

a) Fresh weight; b) The high concentrations of iron and aluminum might be contained in flocculants used for the clarifier to get the dried sludge of *Aurelia aurita*; c) Cited from the previous paper²⁾

2・3・3 化成肥料 ①全窒素: 試料 0.110 g をケルダールフラスコに採取し, ケルダール法及び中和滴定法⁵⁾により定量し, 得られた値に硝酸態窒素の値を加えたものを全窒素濃度とした. ②亜硝酸態窒素, 硝酸態窒素, 塩化物イオン: 試料 0.299 g に水を加え, 1 晩放置した. 次に 50 ml に定容後, 適当に希釈し, 2・3・1 と同様に定量した. ③ナトリウム, マグネシウム, カルシウム, ホウ素, マンガン, 鉄, 銅, 亜鉛, モリブデン: 試料 2.009 g を硝酸-過塩素酸で加熱分解後, 100 ml に定容し, モリブデン以外は適宜希釈し, 2・3・1 と同様に定量した.

3 結果と考察

3・1 無機成分定量結果

クラゲ中の無機成分の定量結果を Table 1 に示す. なお, Table 1 の成分濃度はすべて湿重量当たりの値である. 乾燥クラゲはミズクラゲ (*Aurelia aurita*, 曝気無し) と比較して, カリウム濃度は約 1/2.4 であるが, 23 倍の窒素, 1360 倍のリン, 14 倍のマグネシウム, 96 倍のカルシウムを含み, また, ナトリウム濃度は 1/3.9 (化成肥料とほぼ同程度) であった. 更に微量成分として重要なホウ素, マンガン, 銅, 亜鉛濃度は, 化成肥料のそれぞれ 3.5, 31, 90, 35 倍であり, 野菜等の肥料として有用であることが示唆された. しかし, 一方で, 乾燥クラゲは多量の鉄 (190000 mg/kg) とアルミニウム (2200 mg/kg) を含み, 野菜の生長阻害も懸念される. 肥料中の鉄が多いとリン酸の吸収が悪くなり, また土壤中のアルミニウムは植物の根に悪影響をもたらすといわれている. これら多量の鉄とアルミニウムは, 加圧浮上装置において使用された凝集剤及

び凝集助剤由来と考えられるが, 原因と対策については, 今後検討する必要がある. なお, 生ゴミ処理機による処理品の肥料としての品質基準⁶⁾によれば, ヒ素は 50 ppm 以下, カドミウムは 5 ppm 以下, 水銀は 2 ppm 以下となっており, 乾燥クラゲ中のこれら成分濃度は品質基準以下であった.

一方, エチゼンクラゲ (*Stomolophus nomurai*) 中の全リン濃度はミズクラゲ (曝気無し) の約 1/6.1, カルシウム濃度は 1/3.7 であったが, カリウム濃度は 1.3 倍, 全窒素濃度は 1.8 倍 (750 mg/kg) と高く, 野菜に対する生長促進効果が期待される. なお, ミズクラゲ (曝気有り) 中の全窒素濃度は, ミズクラゲ (曝気無し) 中の 1/2.6 であった.

以上のように, ミズクラゲ, エチゼンクラゲは, 化成肥料ほど高濃度ではないが, 肥料の五要素 (窒素, リン, カリウム, マグネシウム, カルシウム) を含み, 野菜等の肥料として有用であると思われる. しかし, 化成肥料の 3.6 ~ 4.2 倍のナトリウムを含むため, 塩害防止の観点⁷⁾からナトリウム濃度を減少させることも必要である.

3・2 窒素の形態別分析結果

一般に, 植物に利用される窒素分は, アンモニア態窒素及び硝酸態窒素である. そこで, 今回肥料として用いたクラゲ中窒素の形態別分析を行った. Table 2 にその結果を示す. ミズクラゲ (曝気無し), 乾燥クラゲの場合には, それぞれ 79%, 8.6% がアンモニア態窒素であった. エチゼンクラゲの場合はすべてアンモニア態窒素であった. これは, 他のミズクラゲ試料入手時期が 2003 年であるのに

Table 2 Speciation of nitrogen in jellyfish

N /mg kg ⁻¹	<i>Aurelia aurita</i> (without aeration)	<i>Aurelia aurita</i> (with aeration)	<i>Aurelia aurita</i> (dried sludge)	<i>Stomolophus</i> <i>nomurai</i>	Chemical fertilizer
Total N	420	160	9800	750	99900 ^{a)}
NH ₄ ⁺ -N	330	67	840	790	93000 ^{a)}
NO ₃ ⁻ -N	<1	3	<5	<1	<1
NO ₂ ⁻ -N	ND	68	ND	ND	ND

a) Cited from the previous paper²⁾

対し、エチゼンクラゲ入手時期は2000年であり、保存期間が長かったためと考えられる。一方、興味深いことに、ミズクラゲ（曝気有り）は、アンモニア態窒素（42%）だけでなく、亜硝酸態窒素（43%）及び硝酸態窒素（1.9%）を含んでいた。これは、保存中空気を送り続けたことにより硝化が進んだものと思われる。更に分析するまでその一部を密閉容器に保存していたため、脱窒により一部が窒素ガスに変化し、3・1で述べたように全窒素濃度が減少したと考えられる。なお、化成肥料は93%がアンモニア態窒素であった。

3・3 ホウレンソウの栽培結果

クラゲを肥料として、プランター内でホウレンソウを栽培した⁸⁾。ミズクラゲ（曝気無し）、乾燥クラゲ、化成肥料については、土壌に加わる全窒素量（化成肥料の場合はアンモニア態窒素で計算）が等しくなるように施肥した。すなわち、窒素分が元肥として1470 mg、追肥分として1回当たり420 mgになるようにこれら肥料を加えた。なお、収穫までに追肥を4回行った。また、ミズクラゲ（曝気無し）、ミズクラゲ（曝気有り）、エチゼンクラゲについては、土壌に混合されるクラゲ懸濁液量が等しくなるように施肥した。収穫後のホウレンソウ可食部重さ（5株の平均値）は、エチゼンクラゲ（68 g）>化成肥料（60 g）>ミズクラゲ（曝気無し）（35 g）>ミズクラゲ（曝気有り）（20 g）≒乾燥クラゲ（22 g）≒肥料無し（23 g）であった。乾燥クラゲにあまり効果が見られなかった原因として、3・1で述べたように、多量の鉄、アルミニウムの影響が考えられ、今後検討する必要がある。エチゼンクラゲの効果が最も大きかったが、全窒素施肥量に差があるため、今後、全窒素量を統一して栽培実験を行う予定である。ミズクラゲ（曝気無し）と化成肥料の場合の生長差は、両者に含まれるアンモニア態窒素量の差によるのではないかと考えられ

る。なお、収穫したホウレンソウを調理し、14人に試食してもらった。その結果、全員がミズクラゲ（曝気無し）、エチゼンクラゲを肥料として栽培したホウレンソウの甘みが強いことを指摘した。

4 結 言

ミズクラゲ、エチゼンクラゲは、肥料の五要素、あるいは微量要素を含み、野菜等の肥料として潜在的有用性を持つことが判明した。今後は、クラゲ溶液中の無機成分組成の経時変化やクラゲ中の塩化ナトリウム低減法について検討する予定である。

ホウレンソウ栽培結果について有益なご助言をいただいた静岡大学農学部生物生産科学科糠谷 明教授、また、栽培補助を担当した本学学生、井手雄平、北野亜美、田口敦士、野里英昭の各氏、及び本研究にご援助いただいたソルト・サイエンス研究財団、NPO 法人ゼリ・ジャパンに感謝申し上げます。

（2004年5月、第65回分析化
学討論会において一部発表）

文 献

- 1) 安田 徹：“海の UFO クラゲ—発生・生態・対策”，安田 徹編，p. 139 (2003)，(恒星社厚生閣)。
- 2) 宇井 純：“日本の水を考える”，p. 25 (1994)，(日本放送出版協会)。
- 3) K. Fukushima, N. Ishio, J. Tsujimoto, K. Yokota, T. Hamatake, H. Sogabe, K. Toriya, T. Ninomiya: *Bull. Soc. Sea Water Sci. Jpn.*, **58**, 209 (2004)。
- 4) JIS K 0102, 工場排水試験方法 (1998)。
- 5) 土壤環境分析法編集委員会編：“土壤環境分析法”，第2版，(2000)，(博友社)。
- 6) 全国食品リサイクル協会：“生ゴミ堆肥の品質基準について（暫定）”，p. 2 (2002)。
- 7) 増井正夫：施設園芸，**16**, 32 (1974)。
- 8) 鈴木早苗：“野菜のつくり方—キュウリ・トマトからハーブまで”，p. 266 (1993)，(成美堂出版)。