

<原著論文>

米の研ぎ汁の水質汚濁負荷および無洗米使用による汚濁抑制の可能性

Water pollution load due to waste water after rice-washing and usage of machine-cleaned rice as a possible method for load reduction

佐藤 晴美¹、大畑 優理子²、丘 由紀³、延安 香織⁴、今井 長兵衛⁵

Abstract

We examined the possibility of substituting machine-cleaned rice for polished rice now in general use, as a countermeasures against household wastewater pollution. Our questionnaire surveys revealed that, in general, polished rice now in use was washed 3 to 4 times with tap water before being cooked. The waste water after rice washing showed high concentration and load of COD, NH₄-N, NH₃-N and PO₄-P generated from rice bran. A small scale experiment for 24 days using river water suggested that, under aerobic conditions at ca. 25°C, bacteria in the river water reproduced themselves 300-fold in a short time, and biodegraded 90% of COD, but did not degrade 10% of COD or almost any of the inorganic nitrogen and phosphor. A taste preference test showed the boiled machine-cleaned rice was judged as equal to the boiled polished rice. The questionnaire surveys also revealed that people are ready to use the machine-cleaned rice when they are shown its usefulness for prevention of pollution and its benefits for their economy. Thus future increase in usage of machine-cleaned rice will be effective to control household waste water pollution.

要 旨

無洗米の認知度や使用実態ならびに普通精白米の洗米回数などに関するアンケート調査、洗米回数と汚濁負荷との関係の把握、河川水による研ぎ汁由来汚濁物質の分解実験、官能試験による無洗米と普通精白米の好まれ方の比較などを行い、普通精白米の使用による環境汚濁負荷の実態や無洗米への転換による台所排水の水質汚濁負荷低減の可能性を検討した。アンケート結果から、通常の一回の洗米作業では研ぎ汁を3~4回排出していることなどが分かった。一定の条件化ではあるが、米の研ぎ汁から排出されるCOD、窒素、リンの濃度および汚濁負荷を定量的に把握した。室内実験により、米の研ぎ汁中のCODは河川水中の微生物によって90%が分解されるが、微生物に分解されない難分解性の有機物に由来するCODも10%含まれており、これらが処理の困難な汚濁負荷となると推察された。また、無機態窒素やリン酸態リンは河川水中でほとんど除去されないことを定量的に確認した。通常の調理法では研ぎ汁の出ない無洗米と普通精白米の嗜好性試験を行い、無洗米は普通精白米と同様に食することができるとの結果を得た。普通精白米を研がずに用いた米飯は、4回研いでから炊いた米飯より評価が低かった。アンケートでは無洗米の使用割合は多くないのが現状であるが、コスト面・環境面で有利であれば無洗米を使いたいという回答も多かった。したがって、今後、無洗米の使用が増えれば、汚濁負荷の低減につながるものと考えられる。

キーワード : COD, 窒素, リン, アンケート, 米, 嗜好試験

COD, nitrogen, phosphor, rice, questionnaire, selection test

緒 言

河川や湖沼の水質汚濁は、水道原水の汚染など、下流域を含む流域全体における水利用に障害をきたすの

みでなく、赤潮・青潮などの海洋汚染を引き起こす重要な環境問題の1つである¹⁾。

水質汚濁物質の発生源は自然系、産業系、生活系に大別されるが、平成7年度環境白書²⁾から算出すると、

1 Harumi SATO

千里金蘭大学 生活科学部 食物栄養学科

受理日 : 2010年9月1日

2 Yuriko OHATA

双葉給食

3 Yuki OKA

オペレーション・ファクトリー

4 Kaori NOBUYASU

秀生会特別養護老人ホーム・ザイオン

5 Chobei IMAI

千里金蘭大学 生活科学部 食物栄養学科

1994年度の閉鎖性3海域（東京湾・伊勢湾・瀬戸内海）における化学的酸素要求量（COD）の発生源別負荷割合は、生活排水が54.5%で、産業排水の35.3%より大きくなっている。また、生活排水の負荷量を生物化学的酸素要求量（BOD）で示すと、1人1日当たり約43gであり、そのうち台所排水は17gと全体の約40%を占めている³⁾。

台所排水には、洗剤として用いられる界面活性剤や調理排水などがあり、日本のような米飯を主食とする地域では、調理排水の主要なものの一つとして米の研ぎ汁がある。

米の研ぎ汁には、米ぬかの成分である炭水化物、蛋白質、窒素、リンなどが多く含まれ⁴⁾、水域の有機汚濁や富栄養化の原因となる^{3,5)}。米の研ぎ汁による水質汚濁負荷を低減させるには、従来の普通精白米の使用から、通常の調理法では研ぎ汁が排出されない無洗米への転換を行うことが有効と考えられるが、それを検証するには、無洗米の使用実態、嗜好性、無洗米と通常精白米の汚濁負荷の比較などを行う必要がある。

本論文では、無洗米の認知度や使用実態ならびに普通精白米の洗米（米研ぎ）回数などに関するアンケート調査、洗米回数と汚濁負荷との関係、河川水による研ぎ汁由来汚濁物質の分解実験、官能試験による無洗米と普通精白米の好まれ方の比較などを行い、普通精白米の使用による環境汚濁負荷の実態や無洗米への転換による台所排水の水質汚濁負荷低減の可能性を検討した。

材料と方法

1. 家庭における洗米方法や無洗米に関するアンケート調査

1) 対象者および調査時期

千里金蘭大学生活科学部食物栄養学科2009年度4年生60名を対象に無記名アンケート調査を実施した。2009年7月9日にアンケート用紙を配布し、即日回収した。回収率は100%であった。アンケート調査は、千里金蘭大学生活科学部疫学研究倫理規定に従い、アンケート用紙配布前に調査の趣旨などを説明して、対象者の同意を得た上で実施した。

2) 設問内容

設問は、米をどのように食べているのか、平均的な洗米（米研ぎ）回数は何回くらいか、研ぎ汁はそのまま捨てているのかなどとした。用いたアンケート用紙を論文末尾のAppendix 1に示す。

2. 米研ぎ回数と汚濁負荷の関係

1) 材 料

実験に用いた米は、新潟産コシヒカリ普通精白米平成20年度産（精米日2009年7月16日）と新潟産コシヒカリ無洗米平成20年度産（精米日2009年7月15日）の2種である。無洗米はNTWP法（タピオカ使用）で精米されたものである。

水質検査には、共立理化学社製パックテストのCOD（中濃度用WAK-COD、低濃度用WAK-COD(D)）、アンモニウム態窒素（WAK-NH₄）、亜硝酸態窒素（WAK-NO₂）、硝酸態窒素（WAK-NO₃）、リン酸態リン（中濃度用WAK-PO₄、低濃度用WAK-PO₄(D)）を用いた。

2) 方 法

精白米640g（約4合）を8回洗米した。各回の洗米には、水道水1Lを用い、素手で約10秒間の研ぎ作業を行い、研ぎ汁をその都度別のピーカーに移した。研ぎ汁は遅くとも2時間後までにパックテストに供した。研ぎ汁に含まれる米ぬかが沈殿するので、供試直前に十分攪拌した。パックテストの際に発色が測定可能レンジを逸脱した場合には、適宜希釈して再測定を行った。実験は3回反復し、各シリーズをA, B, Cとした。

無洗米は精白米と同じ方法で2回まで洗米し、同じ方法で汚濁物質の濃度を測定したが、反復実験は行わなかった。

3. 河川水による米の研ぎ汁の分解実験

1) 材 料

実験に用いた精白米は前項（2）と同じものである。河川水は2009年9月2日に大阪府箕面市今宮付近にて採取したものを2日間4℃で保存したのち実験に用いた。

水質検査には、亜硝酸態窒素を除き、前項（2）と同じ共立理化学社製パックテストを用いた。一般細菌数の計測には、標準寒天培地（日本製薬株式会社）を使用した。

エアレーションには、エアポンプ（NISSO Nα 2000 SW）を用いた。

2) 方 法

米640gを1Lの水道水で4回洗米し、研ぎ汁4Lを用意した。容量3Lの三角フラスコに河川水1.5Lと研

ぎ汁0.5Lを加えたものを3反復用意し、対照として河川水の代わりに滅菌蒸留水1.5Lを加えたものを3反復用意した。これらを連続エアレーション（吐出量1.0 L/min、吐出圧力0.10 kg/cm²）による好氣的条件化で室温放置した。

実験は2009年9月4日に開始し、24日後の9月28日に終了した。経日的に、各フラスコの水温を測定し、採取した表層水の水質をバックテストで測定した。また、実験に用いた河川水、および、実験開始7日後、17日後、22日後に河川水添加区の3つのフラスコから採取した表層水を等量混合して調製した試料水について、一般細菌の生菌数を計測した。蒸発水の補充のため、約4日間隔で滅菌蒸留水を適宜追加した。

4. 無洗米と普通精白米の嗜好の比較

用いた普通精白米と無洗米は前項（2）の実験と同じものである。普通精白米を4回洗米したもの、全く洗米していないもの、および無洗米を洗米していないものを用意し、いずれも、重量の1.5倍の水を加えて自動炊飯器にて炊飯した。官能検査には炊きあがって約20分後のものを用いた。

官能検査のパネラーは、千里金蘭大学生生活科学部食物栄養学科1年生19人と教員1人の合計20人にお願いした。検査方法として二点嗜好比較法を用い、無洗米と研いだ普通精白米との比較、および研がない普通精白米と研いだ普通精白米との比較を行った。比較項目は、色調、つや、粘り、舌触り、甘味、糠の臭い、総合評価の7項目とした。検定は二点嗜好試験のための検定表⁶⁾に基づき、カイ2乗検定を行った。

結 果

1. 家庭における洗米方法や無洗米に関する実態および意識

1) 家族構成および米飯摂取

家族構成は1人暮らしが4人、2人暮らしが2人、3人暮らしが13人、4人暮らしが22人、5人暮らしが15人、6人暮らしが4人であった。単純平均では、1日に炊く米の量は3.6合と算出された。1日の米飯食数は、3食が12人（20%）、2食が37人（62%）、1食が11人（18%）で、有意水準 $P<0.001$ で1日2食が最も多かった。

2) 米の研ぎ回数および研ぎ汁の処理法

研ぎ回数は3～4回が36人で最も多く、5～6回の16人がそれに次いだ。最も回数が多い場合でも7～8回までであった（Fig. 1）。

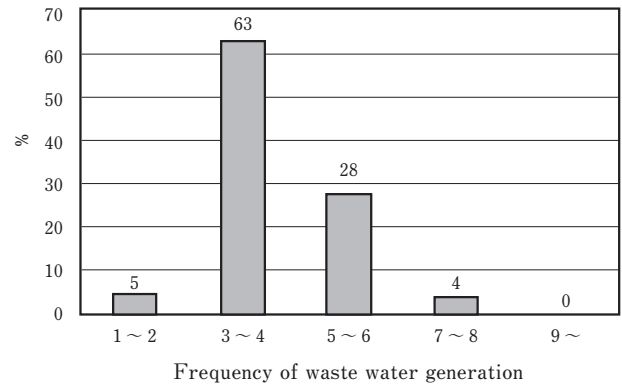


Fig. 1 Frequency distribution of waste water generation per rice-washing

米の研ぎ汁の処理は「捨てている」が51人（89%）、「その他」が6人（11%）、不明3人となり、そのまま捨てている家庭がほとんどであった。

3) 無洗米の使用実態および意識

無洗米を知っている人は54人（90%）で、聞いたことがある人の6人（10%）を加えると認知度は100%となった。無洗米を知っていると回答した人のうち、無洗米を使ったことがある人が23人（43%）、使ったことがない人が31人（57%）で、無洗米を知っていても使用していない人が過半数を占めた。

無洗米を使ったことがある人に、その理由を自由記述式で尋ねたところ、「洗わなくてよいので楽であるから」と答えた人が10人、「アウトドアなどで水があまり使えない場所で利用した」と答えた人が3人となり、無洗米の利便性を理由に挙げた回答が多かった。その他の回答としては、「試してみたかった」が4人、「たまたま入手した」が3人で、「環境にいい」、「研ぎ汁をたくさん捨てずにすむ」、「美味しい」が各1人であった。

無洗米を使ったことがない理由として、「母親が普通精白米を買ってくる」、「実家の（精白）米を食べている」と答えた人が9人と多かった。一方、「精白米より無洗米の価格が高いので使わない」と答えた人は5人であった。

精白米よりも無洗米の方が総合的（価格・味・環境など）に優れていれば購入したいと思うかの質問に対しては、「はい」と答えた人が48人（80%）、「いいえ」と答えた人が12人（20%）となり、大多数の人が無洗

米を購入してもよいとの結果になった。

2. 米研ぎ回数と汚濁負荷の関係

1) COD

精白米の洗米実験では、CODは1回目の研ぎ汁中に1000 mg/L (ppm)含まれていたが、2回目と3回目の研ぎ汁では200 mg/Lまで濃度が低下し、5回目の研ぎ汁で20 mg/Lまで低下した後、8回目の研ぎ汁まで同じレベルで推移した。実際場面での汚濁負荷と考えられるCODの累積値は、4回目の洗米までで1440 mgに達し、8回目の洗米では1518 mgまで漸増している (Table 1)。

Table 1 COD concentration (mg/L) and cumulative load (mg) with 8 times rice-washing

Concentration or load	Rice washing							
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th
Conc. in rep. A	1000	200	200	20	20	20	20	13
Conc. in rep. B	1000	200	200	50	20	20	20	20
Conc. in rep. C	1000	200	200	50	20	20	20	20
Mean conc.	1000	200	200	40	20	20	20	18
Cumulative load*	1000	1200	1400	1440	1460	1480	1500	1518

* Cumulative value of mean concentration

一方、無洗米の洗米実験では、1回の研ぎ作業で200 mg、2回の研ぎ作業で400 mgのCODが排出された。

2) 窒素

2-1) アンモニア態窒素

精白米の洗米実験では、アンモニア態窒素は1回目の研ぎ汁中に5 mg/L含まれていたが、洗米を重ねるにつれて濃度が徐々に低下し、3回目の研ぎ汁では3 mg/L、8回目の研ぎ汁で0.4 mg/L となった。実際の場面での汚濁負荷と考えられるアンモニア態窒素の累積値は、4回目の洗米までで13.3 mgに達し、8回目の洗米では16.2 mgまで漸増している (Table 2)。

Table 2 NH₄-N concentration (mg/L) and cumulative load (mg) with 8 times rice-washing

Concentration or load	Rice washing							
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th
Conc. in rep. A	5	2	2	1	1	1	0.5	0.2
Conc. in rep. B	5	5	5	2	1	0.5	1	0.5
Conc. in rep. C	5	5	2	1	1	1	0.5	0.5
Mean conc.	5	4	3	1.3	1	0.8	0.7	0.4
Cumulative load*	5	9	12	13.3	14.3	15.1	15.8	16.2

* Cumulative value of mean concentration

無洗米洗米実験では1回の研ぎ作業で2 mg、2回の研ぎ作業で3 mgのアンモニア態窒素が排出された。

2-2) 亜硝酸態窒素

亜硝酸態窒素の濃度は、精白米の1回目の洗米から8回目の洗米まで、一貫してパケットの検出限界より低い値 (< 0.005 mg/L) であった。

2-3) 硝酸態窒素

精白米の洗米実験では、硝酸態窒素は1回目の研ぎ汁中に4 mg/L含まれていたが、洗米を重ねるにつれて濃度が徐々に低下し、2~6回目の研ぎ汁では2 mg/L、7~8回目の研ぎ汁で1 mg/Lとなった。実際の場面での汚濁負荷と考えられる硝酸態窒素の累積値は、4回目の洗米までで10 mgに達し、8回目の洗米では16 mgまで漸増している (Table 3)。

Table 3 NO₃-N concentration (mg/L) and cumulative load (mg) with 8 times rice-washing

Concentration or load	Rice washing							
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th
Conc. in rep. A	5	2	2	2	2	2	1	1
Conc. in rep. B	2	2	2	2	2	2	1	1
Conc. in rep. C	5	2	2	2	2	1	1	1
Mean conc.	4	2	2	2	2	2	1	1
Cumulative load*	4	6	8	10	12	14	15	16

* Cumulative value of mean concentration

一方、無洗米の洗米実験では、1回の研ぎ作業で2 mg、2回の研ぎ作業で4 mgの硝酸態窒素が排出された。

3) リン酸態リン

精白米の洗米実験では、リン酸態リンは1回目の研ぎ汁中に10 mg/L含まれていたが、洗米を重ねるにつれて濃度が徐々に低下し、3回目の研ぎ汁では2 mg/L、6~8回目の研ぎ汁で0.5~0.6 mg/Lとなった。実際の場面での汚濁負荷と考えられるリン酸態リンの累積値は、4回目の洗米までで18.2 mgに達し、8回目の洗米では20.6 mgまで漸増している (Table 4)。

Table 4 PO₄-P concentration (mg/L) and cumulative load (mg) with 8 times rice-washing

Concentration or load	Rice washing							
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th
Conc. in rep. A	10	5	2	1	1	0.5	0.5	1
Conc. in rep. B	10	5	2	2	1	0.5	0.5	0.2
Conc. in rep. C	10	5	2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Mean conc.	10	5	2	1.2	0.8	0.5	0.5	0.6
Cumulative load*	10	15	17	18.2	19.0	19.5	20.0	20.6

* Cumulative value of mean concentration

一方、無洗米の洗米実験では、1回の研ぎ作業で2 mg、2回の研ぎ作業で4 mgのリン酸態リンが排出された。

3. 河川水による米の研ぎ汁の分解

1) 用いた河川水の性状および実験期間中の温度条件

実験に用いた河川水の性状は、COD 4 mg/L、アンモニア態窒素 0.2 mg/L、亜硝酸態窒素 <0.005 mg/L、硝酸態窒素 1 mg/L、リン酸態リン 0.05 mg/L、一般細菌生菌数 9.5×10^3 個/mLであった。

実験期間における各プラスチック内の水温は23.5~27.0℃で推移し、平均値は河川水添加区と蒸留水添加区とともに25.2℃であった。また、反復実験の間でも、水温にほとんど差が認められなかった。

2) 河川水添加区における一般細菌生菌数の推移

実験開始時の河川水添加区における一般細菌の生菌数は、1.5 Lの河川水（一般細菌生菌数 9.5×10^3 個/mL）に0.5 Lの研ぎ汁を混合するという実験デザインから、 $9.5 \times 10^3 \times 0.75 = 7.1 \times 10^3$ 個/mLと推定できる。ただし、この推定値は、水中に生息する一般細菌は排出直後の研ぎ汁にほとんど生息していないという仮定に基づいている。

上記の推定値がほぼ正しいとすれば、河川水添加区における一般細菌数は、Table 5に示すように、実験開始7日後に 2.1×10^6 個/mL、すなわち初期生菌数の約300倍、17日後には初期生菌数の約8倍、22日後には約1.3倍であった。

Table 5 Time course of viable bacterial count (standard plate count) in waste water treatment using river water at ca. 25℃

Days after starting experiment	Date	Viable bacterial count /mL
0	Sep. 4	7.1×10^3
7	Sep. 11	2.1×10^6
17	Sep. 21	5.5×10^4
22	Sep. 26	9.0×10^3

ただし、調査回数が少なかったため、どの時点から菌数が減少に転じたかは不明である。

3) COD濃度の経日的変化

河川水添加区のCOD濃度は初期濃度の200 mg/Lから4日後には約4分の1に低下し、16日後まで低下傾向が続いた後、20 mg/Lで平衡状態に達した。一方、蒸留水添加区のCOD濃度は河川水添加区より緩やかに低下し、18日目に河川水添加区と同等の20 mg/Lに達し、以後、同レベルで平衡状態を呈した (Fig. 2)。

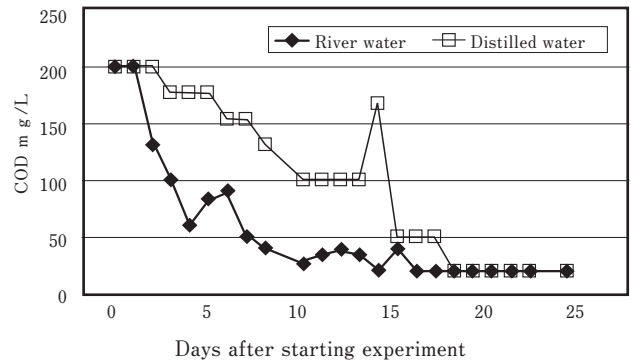


Fig. 2 Time course of concentration of COD in waste water after rice washing in river water and distilled water experiments at ca. 25℃

4) アンモニア態窒素濃度の経日的変化

河川水添加区のアンモニア態窒素濃度は初期濃度の2 mg/Lから2日後に5 mg/Lに上昇した後、10日目まで同レベルで推移した。さらに、12日目にかけて10 mg/Lまで上昇した後、13日目から24日目まで緩やかに低下した。一方、蒸留水添加区のアンモニア態窒素濃度は13日目まで河川水添加区よりやや低いレベルで推移したが、14日目から16日目まで一段の上昇を示し、以後、低下に転じたものの、24日目においても河川水添加区より高い値を維持した (Fig. 3)。

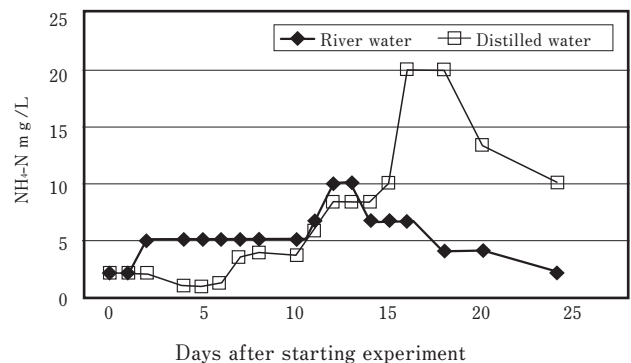


Fig. 3 Time course of concentration of NH₄-N in waste water after rice washing in river water and distilled water experiments at ca. 25℃

5) 硝酸態窒素濃度の経日的変化

河川水添加区の硝酸態窒素濃度は実験開始12日目までほとんどゼロであったが、以後、急激に上昇して17日目には100 mg/Lに達し、22日目まで同じレベルで推移した。一方、蒸留水添加区の硝酸態窒素濃度は実験期間中一貫してほとんどゼロであった (Fig. 4)。

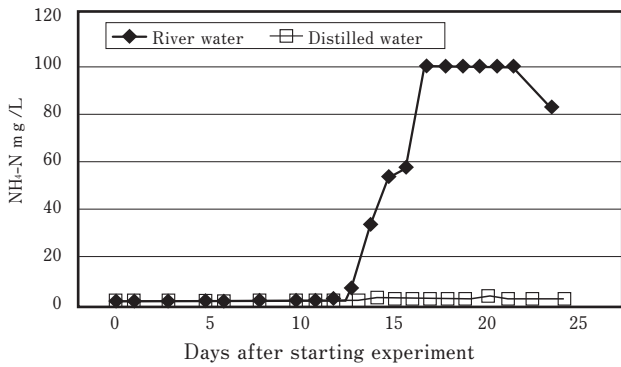


Fig. 4 Time course of concentration of NO₃-N in waste water after rice washing in river water and distilled water experiments at ca. 25°C

6) リン酸態リン濃度の経日的変化

河川水添加区のリン酸態リン濃度は初期濃度の2 mg/Lから16日後まではほぼ同じレベルで推移したが、それ以後、若干上昇して50~70 mg/Lに達した。一方、蒸留水添加区のリン酸態リン濃度は13日目まで河川水添加区よりやや低いレベルで推移したが、14日目からは日間変動を伴いながらも河川水添加区よりやや高いレベルを維持した (Fig. 5)。

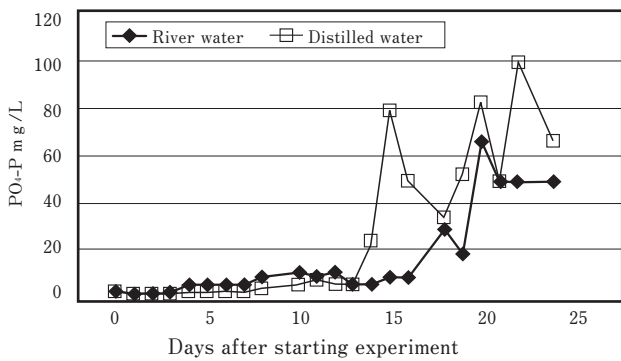


Fig. 5 Time course of concentration of PO₄-P in waste water after rice washing in river water and distilled water experiments at ca. 25°C

4. 無洗米と普通精白米の嗜好の比較

1) 無洗米と普通精白米との比較

無洗米と4回洗米した普通精白米との比較結果をTable 6に示す。色調の比較では、普通精白米の方が1%の危険率で有意に好まれた。つやと粘りの好みの比較では、ともに普通精白米の方が5%の危険率で有意に好まれた。舌触りの好みの比較では有意差が認められなかったが、無洗米を好んだ人数が普通精米を好んだ人数の2.3倍に達した。甘味の好みと糠の臭いの比較では、いずれも両者間に有意差が認められなかった。

総合評価では、両者に有意差は認められなかった。

Table 6 Comparison of boiled machine-cleaned rice with boiled general polished rice

Rice	Number of persons who preferred each type of rice with regard to the following categories:						
	Color	Gloss	Stickiness	Tongue feeling	Sweetness	Rice bran smell	Synthesis
Machine-cleaned rice	3	5	4	14	9	10	8
General polished rice	17**	15*	16*	6	11	10	12

General polished rice was washed 4 times with tap water, but machine-cleaned rice was never water-washed before cooking with 1.5 times volume of water. Each of 20 persons preferred one to the other for each of seven categories. **Significant choice was done at P<0.01 and *at P<0.05.

2) 研がない普通精白米と研いだ普通精白米との比較

研がない普通精白米と4回洗米した普通精白米との比較結果をTable 7に示す。色調の好みとつやの好みでは、ともに研いだ普通精白米の方が1%の危険率で有意に好まれた。粘りの好みと甘味の好みでは、ともに研いだ普通精白米の方が5%の危険率で有意に好まれた。舌触りの好みと糠の臭いでは、両者の間に有意差が認められなかった。総合評価では研いだ普通精白米の方が5%の危険率で有意に好まれた。

Table 7 Comparison of boiled general polished rice between with- and without water washing

Rice	Number of persons who preferred each type of rice with regard to the following categories:						
	Color	Gloss	Stickiness	Tongue feeling	Sweetness	Rice bran smell	Synthesis
Machine-cleaned rice	2	1	5	10	5	9	4
General polished rice	18**	19**	15*	10	15*	11	16*

General polished rice was divided into two parts, and, before cooking, one was washed 4 times with tap water, but the other was never water-washed. For further explanation, see the legend in Table 6.

考 察

1. 家庭における洗米方法や無洗米に関する実態および意識

今回の調査では、一度の炊飯で3~4回洗米(米研ぎ)作業を行っている家庭が一番多く、最も回数が多い場合でも8回までであることがわかった (Fig. 1)。島根・徳島両県における1991年のアンケート調査では洗米回数5回が最も多かったと報告されており⁷⁾、今回のほうが若干少ない結果であった。いずれにせよ、

通常の米研ぎ作業において多量の水が使われているといえる。

米の研ぎ汁は約9割の家庭で「そのまま排水口へ捨てて」いる。この結果は、上記島根・徳島両県での農村部や漁村部での結果(85~89%)⁷⁾と同等であり、福島・新潟・長野・大阪の子どものいる一般家庭972世帯を対象として1999年に実施された中村らの調査結果(83%)⁸⁾と同様である。日本の多くの地域において、米の研ぎ汁をそのまま捨てている家庭がほとんどであることがわかる。

無洗米の認知度は、「知っている人」が90%で、「聞いたことがある人」を加えると100%であった。宮崎県で229人を対象に行われたアンケート調査では、無洗米の意味を知っている人が85%であり⁹⁾、質問の意味合いが若干異なるものの、今回と同様の結果であった。したがって、今回の調査における無洗米の認知度の高さは、食物に関する学科に所属する4年生を対象としたためとは、必ずしも言えない。

無洗米を知っていても使ったことがない人の割合は52%で過半数に達した。前述の宮崎県の調査では、無洗米の意味は分かるが利用したことのない人の割合は63%で⁹⁾、今回の結果との間に統計的に有意な差は認められなかった。無洗米を使う理由として、簡便性を挙げた回答が多く、環境への配慮を挙げた回答は少なかった。宮崎の調査⁹⁾では、簡便性が30%で最も多い点では今回の結果と同様であったが、理由の第2位に「研ぎ汁が出ないので環境に良い(19%)」がランクされており、環境への配慮が重視されている点で異なっている。今回のアンケートでは、この設問への回答方式が自由記述式であったため(Appendix 1)、「環境への配慮」に思い至らない回答が多かったのかもしれない。

無洗米を使ったことがない理由として「習慣」を挙げている人が多かったが、「無洗米の価格が高い」ことを挙げている人も多く、価格の差も影響しているようである。宮崎の調査では「現在使っている米に不都合を感じないから」と答えた人が22%で最も多く、「価格」を挙げた人は4%にすぎなかった⁹⁾。ここでも「回答方式」の違いが影響している可能性があるが、宮崎県＝農村と大阪府＝都市域の違いが反映されているとも考えられる。すなわち、農村では「米は使うもの」であり、都市では「米は買うもの」ということかもしれない。

精白米よりも無洗米の方が総合的(価格・味・環境など)に優れていれば無洗米を購入したいと思う人は

80%であった。このことは、条件が整備できれば普通精白米から無洗米への転換が可能であることを示唆している。

2. 米研ぎ回数と汚濁負荷の関係

1) 米の研ぎ汁排出によるCOD負荷

COD(化学的酸素要求量)は、水中の被酸化性物質量を、酸化するために必要とする酸素量で示したものである。被酸化物質には、各種の有機物と亜硝酸塩、硫化物などの無機物が含まれるが、おもな被酸化物は有機物であり、CODが高いほど有機物量が多いといえる。類似した指標にBODがあるが、BODとの違いは、CODが有機物(生物分解性および難分解性)と無機物、両方の酸素要求量であるのに対し、BODは生物分解性有機物のみの酸素要求量であるという点である。BODはパックテストによる測定が困難であるため、本研究では、有機物量の指標として、CODを測定した。

米の研ぎ汁は米ぬかを懸濁物として多く含み、本研究でも研ぎ汁のCOD濃度が高かった。全国無洗米協会のHP(ホームページ)によると、普通精白米166gあたり1181mgのCODが排出されるという⁵⁾。本研究では640gの普通精白米を1回研いだ場合に1000mgのCODが排出され、2回研いだ場合には累積して1200mgのCODが排出されている(Table 1)。用いた米の量が異なり、両者には数値に開きがあるが、普通精白米の研ぎ汁から多量のCODが排出されるという点では類似している。

一方、無洗米協会のHPでは、無洗米166gを浸した水のCODはゼロであったと報告している⁵⁾。それに対し、本研究では無洗米であっても640gの米を1回研いだ場合に200mgのCODが排出され、2回研いだ場合には累積して400mgのCODが排出されている。無洗米協会の報告では米を「浸した水」を調べており、本研究では米を「研いで」いる。したがって、無洗米であっても、通常の調理習慣に従って普通精白米と同様の「研ぎ」作業を行えば、1回の研ぎ作業で普通精白米の約2割、2回の研ぎ作業で普通精白米の3割強のCODが排出されると考えるのが妥当であろう。ただし、無洗米の製法には4種ほどが知られ、無洗米協会の報告ではBG製法で精米された米が使われ、本研究で用いたのはNTWP製法によって精米された米であることから、無洗米であっても製法によってCODの排出量が異なる可能性は排除できない。無洗米の製法の違いが、無洗米を研いだ場合のCOD排出量に及ぼす影響は、今後

の検討課題であろう。

2) 米の研ぎ汁排出による無機態窒素負荷

水中に存在するアンモニア態窒素の多くは、蛋白質や有機窒素化合物が腐敗・分解する過程で発生したものである。アンモニア態窒素は水中の亜硝酸菌や硝酸菌などの硝化細菌のはたらきで酸化され、亜硝酸態窒素を経て、硝酸態窒素へと変化する。排水などが流入して汚れた水は、溶存酸素濃度が低く、有機態窒素やアンモニア態窒素が多い。一方、溶存酸素の多いきれいな水は硝酸態窒素の割合が多い。硝化プロセスの中間産物である亜硝酸態窒素は、低濃度であるのが通常である。

米の研ぎ汁中に検出されるアンモニア態窒素は、米ぬかに含まれる蛋白質等が分解されて生成され、硝酸態窒素は硝化細菌のはたらきでアンモニア態窒素から生成されたものと考えられる。

全国無洗米協会のHPによると、普通精白米166 gあたり84 mgの全窒素が排出されるという⁵⁾。全窒素は無機態窒素と有機態窒素の合計量である。本研究では640 gの普通精白米を1回研いだ場合に5 mgのアンモニア態窒素と4 mgの硝酸態窒素が排出され、2回研いだ場合には累積して9 mgのアンモニア態窒素と6 mgの硝酸態窒素が排出されている (Tables 2, 3)。

一方、無洗米協会のHPでは、無洗米166 gを浸した水の全窒素はゼロであったと報告している⁵⁾。それに対し、本研究では無洗米であっても640 gの米を1回研いだ場合に2 mgのアンモニア態窒素と2 mgの硝酸態窒素が排出され、2回研いだ場合には累積して3 mgのアンモニア態窒素と4 mgの硝酸態窒素が排出されている。無洗米協会の報告では米を「浸した水」を調べており、本研究では米を「研いで」いる。したがって、無洗米であっても、通常の調理習慣に従って普通精白米と同様の「研ぎ」作業を行えば、1回の研ぎ作業で普通精白米の約4割、2回の研ぎ作業で普通精白米の約5割の無機態窒素 (アンモニア態窒素+硝酸態窒素) が排出されると考えるのが妥当であろう。ただし、CODの場合と同様、無洗米の製法によって無機態窒素の排出量が異なる可能性は排除できない。

3) 米の研ぎ汁排出によるリン酸態リン負荷

リン酸態リン (リン酸イオン) は肥料や合成洗剤、食品など広範囲に含まれているイオンで、この数値が高いほど富栄養化が進行しており、閉鎖性海域における赤潮・青潮などの発生の原因となる。

米の研ぎ汁中に検出されるリン酸態リンは、米ぬかに含まれる蛋白質等が分解されて生成される物質であると考えられる。

全国無洗米協会のHPによると、普通精白米166 gあたり84 mgの全リンが排出されるという⁵⁾。全リンは無機態リンと有機態リンの合計量であり、無機態リンはリン酸態リンと重合リン酸に分けられる。本研究では全リンと重合リン酸を測定していない。本研究では640 gの普通精白米を1回研いだ場合に10 mgのリン酸態リンが排出され、2回研いだ場合には累積して15 mgのリン酸態リンが排出されている (Table 4)。

一方、無洗米協会のHPでは、無洗米166 gを浸した水の全リンはゼロであったと報告している⁵⁾。それに対し、本研究では無洗米であっても640 gの米を1回研いだ場合に2 mgのリン酸態リンが排出され、2回研いだ場合には累積して4 mgのリン酸態リンが排出されている。無洗米協会の報告では米を「浸した水」を調べており、本研究では米を「研いで」いる。したがって、無洗米であっても、通常の調理習慣に従って普通精白米と同様の「研ぎ」作業を行えば、1回の研ぎ作業で普通精白米の2割、2回の研ぎ作業で普通精白米の約3割のリン酸態リンが排出されると考えるのが妥当であろう。ただし、CODや無機態窒素の場合と同様、無洗米の製法によってリン酸態リンの排出量が異なる可能性は排除できない。

4) 米の研ぎ汁の環境負荷

普通精白米の研ぎ汁には、有機汚濁の指標であるCODが多く、富栄養化の原因物質である窒素やリンが比較的高濃度に含まれることが明らかになった。東京都の報告でも、1 Lの水で4回研いだ米の研ぎ汁にはBOD 9500 mg、全窒素309 mg、全リン291 mgが含まれるという¹⁰⁾。また、無洗米を普通精白米と同様に1回でも研いでしまうと汚濁物質が排出され、水質汚濁防止を目的に無洗米を使用する場合は米を研ぐべきでないことが分かった。

これらの研ぎ汁は、下水処理場で処理された後に、あるいは直接河川に流入し、最終的には海へ流れ込む。日本の下水道普及率 (下水道利用人口/総人口) は2006年3月31日現在で69.3%である¹¹⁾。このことから、全国的には、米の研ぎ汁の7割は下水処理場で処理され、3割は河川から海へと流れ込むものと推測される。しかし、大阪府の下水道普及率は89.0%、吹田市のそれは99.6%であり¹¹⁾、大阪府内の家庭排水はほとんどが下水処理場で処理されている。

下水処理場の処理効率は施設ごとに異なるが、大阪市の下水処理場における2007年の平均的な処理効率は、BOD 95.8%、COD 84.3%、全窒素 50.0%、全リン 85.5%であった(文献¹²⁾から著者ら算出)。CODと全リンの除去効率が低く、窒素の除去効率がさらに低いことが分かる。これらから、下水処理場を経由してもしなくても、米の研ぎ汁による河川や海域への汚濁負荷が大きいことが理解できる。

3. 河川水による米の研ぎ汁の分解

1) COD除去率

有機物には微生物分解の可能な易分解性有機物と微生物分解の困難な難分解性有機物があり、CODは両種の有機物の指標となる。

今回の実験では、河川水添加区のCOD濃度は200 mg/Lから急激に低下した後、実験開始16日目以後は20 mg/Lで平衡状態になった(Fig. 2)。このことから、今回用いた河川水中微生物によるCOD除去率は90%と評価できる。一方、滅菌蒸留水添加区のCOD濃度は200 mg/Lから緩やかに低下したが、実験開始18日目以後は、河川水添加区と同じ20 mg/Lで平衡状態に達している(Fig. 2)。このことから、米ぬかに含まれていた微生物¹³⁾が、水中という新しい環境に馴化するのに若干の時間を要したものの、徐々にCOD分解能を発揮し、実験終了時には河川水と同等の90%という除去率が達成されたと考えてよからう。大阪市の下水処理場における平均的なCOD除去率84.3%¹²⁾や多段土壌層法によるCOD除去率90%以上¹⁴⁾と比較すると、今回の実験のCOD除去効率はほぼ同レベルであった。したがって、河川水中であっても、好氣的条件下で1ヵ月弱の期間をかければ、下水処理場(活性汚泥)や特別に設置された除去装置と同等のCOD除去効率が期待できると考えてよからう。

米の研ぎ汁に含まれるCODの除去率が90%であったことは、難分解性の有機物が研ぎ汁中の有機物の10%を占めていたことを示唆する。この難分解性有機物は河川水中だけでなく下水処理場でも処理しきれないと推測できる。

2) 無機態窒素の挙動

無機態窒素は蛋白質等に由来するもので、アンモニア態、亜硝酸態、硝酸態の順に変化する。亜硝酸態窒素は、通常の好氣的条件では急速に硝酸態窒素に変化し、前項でも検出されなかったため、この実験でも濃

度測定を行っていない。それゆえ、ここでは無機態窒素の挙動をアンモニア態窒素と硝酸態窒素の濃度変化に基づいて考察する。

今回の実験におけるアンモニア態窒素濃度は、河川水添加区では実験開始から12日目まで緩やかに上昇した後、実験終了まで緩やかに低下したが、蒸留水添加区では実験期間の後半においても上昇を続け、実験終了間際に若干低下したものの、河川水添加区より高い値を維持していた(Fig. 3)。一方、硝酸態窒素濃度は、河川水添加区では実験開始12日目までほとんどゼロで、以後、急激に上昇したが、蒸留水添加区では実験期間中一貫してほとんどゼロであった(Fig. 4)。河川水中では硝化のプロセスが進行したが、蒸留水中では硝化が進まず、アンモニア態窒素の蓄積だけが生じたと考えられる。このことから、実験に用いた河川水中には硝化細菌が存在したが、米ぬかには硝化細菌が存在しなかったことが示唆される。なお、河川水添加区における硝酸態窒素の生成が実験期間の前半には進まなかったことは、楠井・松原¹⁵⁾も指摘しているように、硝化細菌の増殖速度が小さく、増殖に時間がかかったためと考えられる。

無機態窒素の濃度は、河川水添加区では実験開始時2 mg/L、終了時85 mg/Lであり、蒸留水添加区では実験開始時2 mg/L、終了時11 mg/Lであった。硝化細菌が存在しない蒸留水添加区で無機態窒素濃度が低かったのは、アンモニア態窒素として水中にとどまる間に、多くが気化したためと推測される。一方、河川水中では硝化細菌によってほとんどが安定な硝酸態窒素へと転換されたため、無機態窒素濃度が高くなったものと推測する。アンモニア態窒素の気化は、とくに実験期間の前半に顕著であったようで、三角フラスコの開口部付近で強いアンモニア臭が感じられた。アンモニアの気化による若干の減少は見込めるものの、河川水中においては硝酸態窒素を主体とする無機態窒素の除去はほとんど進行しないものと考えられる。同様の結果は多摩川の支流である野川での付着藻類存在下における調査でも報告されている¹⁶⁾。

3) リン酸態リンの挙動

リン酸態リンは米ぬか中の蛋白質等に由来する。その濃度は実験開始時から徐々に上昇しはじめ、実験期間の後半に急激に上昇して実験終了時には河川水添加区で50 mg/L、蒸留水添加区では67 mg/Lに達している(Fig. 5)。このことから、河川水中におけるリン酸態リンの除去はほとんど進行しないものと考えられる。

4. 無洗米と普通精白米の嗜好の比較

無洗米と4回洗米した普通精白米との比較では、色調、つや、粘りの3項目で普通精白米の方が無洗米よりも好まれたが、舌触り、甘味、糠臭さでは好みの差はなく、総合評価でも両者に優劣が認められなかった (Table 6)。また、「違いが分からなかった」、「難しかった」など、無洗米と普通精白米との間に大きな違いが見られなかったというパネラーのコメントもあった。

研がない普通精白米と4回洗米した普通精白米との比較では、色調、つや、粘り、甘味の4項目で研いだ普通精白米が好まれ、総合評価でも研いだ普通精白米の方が優れているという回答が得られた (Table 7)。また、パネラーのコメントでも、研いだ方が好ましいという内容が多かった。

これらの結果から、今回の調理方法では、無洗米を研がずに炊いた米飯は、普通精白米を4回研いで炊いた米飯と同じように食することができると考えられる。それに対し、普通精白米を研がずに調理した米飯は普通精白米を4回研いでから調理した米飯と比較すると、好ましくないと評価できる。無洗米と普通精白米との優劣は、調理方法を変えるなどして、さらに詳細に検討する必要がある。

総合考察

米の研ぎ汁はCOD、窒素、リンなどを多く含み、水質汚濁の原因になりうる。本論文では、無洗米の認知度や使用実態ならびに普通精白米の洗米 (研ぎ) 回数などに関するアンケート調査、研ぎ汁の水質検査、河川水による研ぎ汁由来汚濁物質の分解実験、官能試験による無洗米と普通精白米の好まれ方の比較などを行い、普通精白米の使用による環境汚濁負荷の実態や無洗米への転換による台所排水の水質汚濁負荷低減の可能性を検討した。

アンケート結果によると、回答を寄せた女子大学生60人 (家庭) のうち、一度の洗米作業で研ぎ汁を3~4回排水している家庭は63%を占め、研ぎ汁を8回排水している家庭も存在した。そして、ほとんど全ての家庭で、研ぎ汁を台所排水として直接捨てていることが分かった。また、無洗米の認知度は高かったが、使用経験のある家庭は約4割にとどまっていた。それにもかかわらず、無洗米が優れていると分かれば使用し

たいという回答は8割に達した。

アンケート結果に基づいて8回までの洗米実験を行い、各洗米作業で排出される研ぎ汁のCOD、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、リン酸態リンの濃度をパックテストで測定した。その結果、洗米作業を重ねるにつれて濃度は低下するが、研ぐ回数が増すごとに汚濁負荷は累積されることが分かった。普通精米640gを1Lの水で4回洗米すると、有機汚濁の指標であるCODが1440mg排出され、富栄養化の原因物質である無機態窒素が23.3mg、リン酸態リンが18.2mg排出されることが明らかになった。また、無洗米を研いでしまうと汚濁物質が排出され、水質汚濁防止を目的に無洗米を使用する場合は米を一度も研がずに使用すべきことが分かった。

河川水による米の研ぎ汁の分解実験では、CODは河川水中の微生物によって90%が分解・除去されるが、10%は微生物によって分解されない難分解性有機物に由来することが分かった。無機態窒素は硝化細菌のたらしきでアンモニア態窒素から硝酸態窒素に変化するが、窒素自体は河川水中で除去されず、リン酸態リンも河川水中ではほとんど分解されないことが分かった。したがって、米の研ぎ汁を水系や下水道に排出すると水質汚濁負荷を著しく高めることになる結論できる。

上記の結果から、通常の調理法では研ぎ汁の出ない無洗米を用いることが水質汚濁の解決につながると考えられたので、無洗米を炊いた米飯の嗜好性を普通精白米の米飯と比較した。その結果、無洗米は普通精白米と同様に食することができるという評価結果を得た。無洗米を洗米せずに用いれば、研ぎ汁に由来する汚濁負荷をゼロにすることができる。その際、日本人の伝統的な米飯調理習慣である「米を研ぐ」という作業を意識的に避けることが不可欠である。

前述のアンケート結果にあるように、無洗米の使用が十分に普及しているとは言い難い現状ではあるが、普通精白米よりも無洗米の方が総合的 (価格・味・環境など) に優れていれば購入したいと思う人は多い。本研究において、無洗米の米飯の味は精白米とほぼ遜色無く、環境保全面では無洗米の方が優れていることが明らかになった。現在の経済状況下では、家庭における無洗米の普及には価格面での不安が残る。今後、価格の問題が解決されることが望ましいが、価格的には若干高価であっても、水質汚濁負荷ゼロを前面に押し出すことによって、普及面の進展も可能ではなかろうか。

また、無洗米の使用と同じく環境に配慮した行動と

して、米の研ぎ汁の有効利用や土壌還元がある。島根・徳島両県における1991年のアンケート調査では、米の研ぎ汁の活用は2割の家庭にとどまっております⁶⁾、その約20年後に行った今回のアンケート調査では研ぎ汁をそのまま排水している家庭が9割となっている。今回のアンケートはパネル数が少なく、パネラーの居住地域も大阪府とその周辺であり、直接の比較はできないが、この20年間に環境面を配慮した行動が普及したとは言いがたい。今後の啓発による意識変革が不可欠と考える。

謝 辞

本研究の実施にあたり、アンケート調査に回答してくれた千里金蘭大学生生活科学部食物栄養学科2009年度4年生60人、および、官能試験のパネラーを引き受けてくれた同大学同学部同学科2009年度1年生19人の諸氏に感謝申し上げます。また、官能試験のための場所や調理器具を提供してくださったばかりでなく、パネラーとしても参加してくださり、貴重なご教示を賜った千里金蘭大学生生活科学部食物栄養学科渡辺豊子准教授、ならびに研ぎ汁分解実験の場所を提供してくださった千里金蘭大学生生活科学部食物栄養学科長田久美子教授に心よりお礼申し上げます。さらに、英文校閲をお願いした千里金蘭大学生生活科学部食物栄養学科Judy Gernant教授に心よりお礼申し上げます。なお、本研究は2009年度千里金蘭大学生生活科学部食物栄養学科公衆衛生学ゼミの卒業研究として実施したものである。

引用文献

- 1) 環境省. 平成21年版 環境・循環型社会・生物多様性白書
<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h21/pdf/full.pdf>
- 2) 環境庁. 平成7年版 環境白書
<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/hakusyo.php3?kid=207>
- 3) 環境庁 (2000) 平成12年度環境白書総説. ぎょうせい, 東京, 147-148.
- 4) 南場 毅・柴田 亮 (1985) 米ぬかの有効利用に関する研究(第1報)脱脂米ぬかの性状と脱臭試験. 愛知県食品工業試験所年報, 26, 23-32.
- 5) 全国無洗米協会. とぎ汁の環境汚染.
<http://www.musenmai.com/staticpages/index.php/pollution>
- 6) 日本フードスペシャリスト協会編 (2006) 新版食品の官能評価・鑑別演習第2版. 建帛社, 東京.
- 7) 磯部美津子・佐渡君江 (1994) 生活雑排水による環境汚染と啓発活動の効果. 島根女子短期大学紀要, 32, 113-124.
- 8) 中村恵子・小谷スミ子・白杉 (片岡) 直子・粟津原宏子 (2002) 台所排水に対する関心及び汚濁排出削減のための行動についての調査. 日本調理科学会誌 35, 187-195.
- 9) 宮崎県ホームページ. 商品テスト情報. 無洗米.
<http://www.pref.miyazaki.lg.jp/contents/org/chiiki/seikatu/shouhi/test/shohin/test09.htm>
- 10) 東京都消費生活総合センター (1997) 汚れを流さないために. 東京都消費生活総合センター商品テスト課, 東京, 44-45.
- 11) 日本下水道協会ホームページ.
http://www.jswa.jp/05_arekore/07_fukyu/index.html
- 12) 大阪市環境白書 (平成20年版).
<http://www.city.osaka.lg.jp/kankyo/page/0000020909.html>
- 13) 中嶋加代子 (2006) 米の研ぎ汁および浸漬水の食品衛生学的研究. 別府大学短期大学部紀要 25, 9-15.
- 14) 若月俊之・小村修一・安部裕治・泉一成 (1989) 多段土壌層法による生活排水中の窒素、リンおよびBOD成分の除去とその浄化能の評価. 日本土壌肥料学雑誌 60: 335-344.
- 15) 楠井隆史・松原数喜 (2007) 廃水処理施設における硝化細菌の挙動と硝化能力の関連. 富山県立大学紀要, 17, 93-97.
- 16) 呉鍾敏・上田真吾・小倉紀雄 (1992) 自然浄化機能としての野川における脱窒過程の役割. 水環境学会誌 15: 909-917.

Appendix 1 Questionnaire (in Japanese)

お米でエコロジーを考える～普通精米と無洗米の環境負荷の比較～

2009年7月9日(木)実施
生活科学部 食物栄養学科4年
大畑・丘・延安

目的；精白米のとき汁が水質汚染原因になっています。

私たちは、とき汁のでない無洗米が水質汚染を防ぐことにつながるのではないかと考え、米の需要、無洗米の普及率を調べるためにアンケートを行います。

今回のアンケートにおける個人情報には本研究のみに使用し、他の事には一切使用しません。

以下の質問に対して該当する方に○または記述にてお答え下さい。

1. 家族構成と1日に炊くご飯の量についてお聞きします。
(1)家族構成 ()人
(2)一日に(約)合
2. あなたは一日何食米飯を食べますか。
(1)三食 (2)二食 (3)一食 (4)食べない
3. 一回のとぐ(洗米)作業で何回水を捨てますか。
(1)1～2回 (2)3～4回 (3)5～6回 (4)7～8回 (5)9回以上
4. 米のとき汁はどのようにしていますか。
(1)捨てている (2)その他()
5. 好きな米の品種はありますか。
(1)はい (2)いいえ
(1)と答えた方は品種を教えてください。()
6. 無洗米を知っていますか。また、聞いたことはありますか。
(1) はい (2) いいえ (3)聞いたことはある

(1)と答えた方にお聞きします。無洗米を使ったことはありますか。

(1)はい (2)いいえ

上記の質問に対して(1)と答えた方、その理由は何ですか。

()

上記の質問に対して(2)と答えた方、その理由は何ですか。

()

7. 精白米よりも無洗米の方が総合的(価格・味・環境など)に優れていれば購入したいと思いますか。
(1) はい (2)いいえ

質問は以上です。
ご協力ありがとうございました。
今井ゼミ米研究班一同