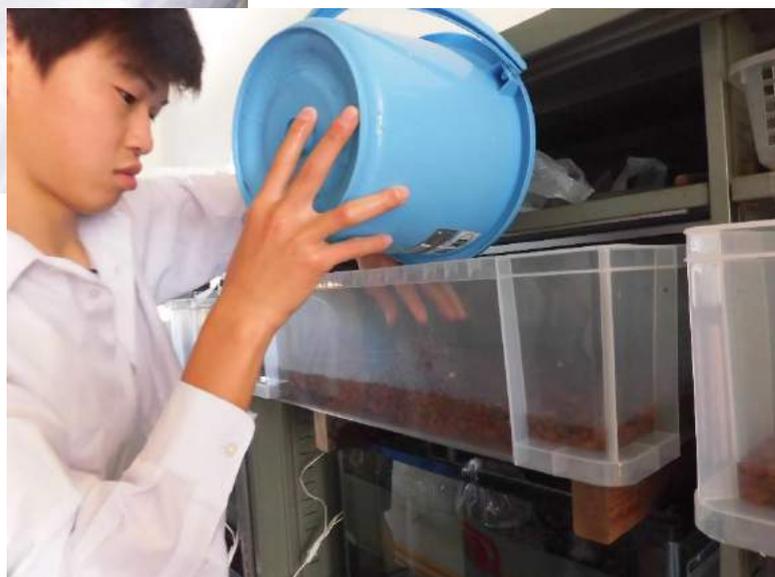


研究テーマ

「魚と光が変えるレタスの成長と味 Part II」



<写真1>HOSOKURA System と
その設置の様子



静岡大学教育学部附属浜松中学校

3年 大石 悠生
2年 石川 優 大野 薫 落合 穂花 神谷 祐輔
鈴木 葵 竹内 優月 細倉 翌夏朗
1年 沖 瑛仁 齋藤 麗響 坂井田 枝里 鈴木 俐音
中村 真熙 馬場 啓大 森尾 希

1、研究の概要

2019年第1期(2019年1月～3月)

アクアポニックスにおいて、レタスの栽培が魚の生育環境に与える影響を調べた。

その際に ASUNARO System を開発し、実験を行った。

2019年第2期(2019年5月～7月)

水槽内における生態系のうち、微生物の役割に着目しより良い循環をおこなえる環境を実験した。

水槽内の生物の種類を増やしたり、人工的に微生物を投入したりした。

その際に HOSOKURA System を開発し、実験を行った。

2、これまでの研究

私たちは、3年前からアクアポニックスの研究を行っている。これまで、光合成産物の行方や照射する光の色の違いによるレタスの成長と味の違いなどを調べてきた。光合成産物は根から順に送られること、光の色は青と赤を混ぜたもの(紫)が最も良いことなどが分かっている。主には、アクアポニックスの循環の中で光と魚がレタスに与える影響を主に調べてきたので、今年度は魚と微生物に着目して研究を行おうと考える。

3、研究の動機

3年前、工場での水耕栽培が多くみられるようになり、自分たちの生活の中でも身近に感じられるようになったことをきっかけに、より効率的な栽培方法がないかと調べたところ、魚の飼育と植物栽培を同時に行うシステムがあることを資料より知った。それが、アクアポニックスの研究の始まりである。

昨年度(2017年10月～2018年7月)にはレタスの味の変化を中心に実験した。するとレタスに照射する光の色を変えるとレタスの味が変わる事が分かった。

今年度は、アクアポニックスの循環のうちの微生物の役割とレタスが魚に与える影響に着目し、研究を行った。

4、実験の方法(第1期、第2期の共通)

・水質検査

メダカが排泄するフンが、植物の成長に役立っているかを検証するため、水槽の水を試験管に一定量に取り出して水質検査を行い、植物の成長に役立ちそうな成分を見つけ出す。水質検査は、「API Freshwater Master Test Kit」を使い、ph、アンモニア、硝酸塩を測定し、メダカのフンが肥料に変化する様子を追求していく。

【pH(ペーハー)】

1. ガラス管に計測する水を 5ml 投入。
2. 試薬を 3 滴、ガラス管に投入。
3. ガラス管にキャップをして振り、試験水と試薬を混ぜる。
4. チェックシートとガラス管の水の色を比べ、濃度を計測。
* pHが 7.6 を超えている可能性がある場合は「HIGH RANGE pH」を使用。

【NH₃(アンモニア)】

1. ガラス管に計測する水を 5ml 投入。
2. ボトル #1 から試薬を 8 滴、ガラス管に投入。
3. ガラス管にキャップをして振り、試験水と試薬を混ぜる。
4. ボトル #2 から試薬を 8 滴、ガラス管に投入。
5. ガラス管にキャップをして振り、試験水と試薬を混ぜる。
6. 5 分間待つ。
7. チェックシートとガラス管の水の色を比べ、濃度を計測。

写真2 アンモニア 水質検査



【NO₂⁻(亜硝酸塩)】

1. ガラス管に計測する水を 5ml 投入。
2. ボトルから試薬を 5 滴、ガラス管に投入。
3. ガラス管にキャップをして振り、試験水と試薬を混ぜる。
4. 5 分間待つ。
5. チェックシートとガラス管の水の色を比べ、濃度を計測。

【NO₃⁻(硝酸塩)】

1. ガラス管に計測する水を 5ml 投入。
2. ボトル(BOTTLE #1)から試薬を 10 滴、ガラス管に投入。
3. ガラス管にキャップをして 30 秒間振り、試験管と試薬を混ぜる。
4. ボトル(BOTTLE #2)から試薬を 10 滴、ガラス管に投入。
5. ガラス管にキャップをして 1 分間振り、試験水と試薬を混ぜる。
6. 5 分間待つ。
7. チェックシートとガラス管の水の色を比べ、濃度を計測。

写真3 NO₃⁻ 手順 7



・乾燥重量

乾燥重量の計測をすることで、レタスの成長を観察していった。

【方法】1. レタスを各試験区から1つずつ収穫し、根、茎、葉の各部位に分ける。

茎は、葉を全て取った後に残るものとし、根と茎の境目は、側根が生えているところまでとする。

2. それぞれを紙に包んで、乾燥機(40℃)に2週間入れる。

3. 乾燥した植物は、精密天秤を使い 1/1000g単位で測定する。

1, 2 週間に 1 回計測を行い、その数値の変化を成長の目安とする。



<写真4>分解の様子と乾燥重量の測定に使用した器具(左・乾燥機 右・精密天秤)

・味調査

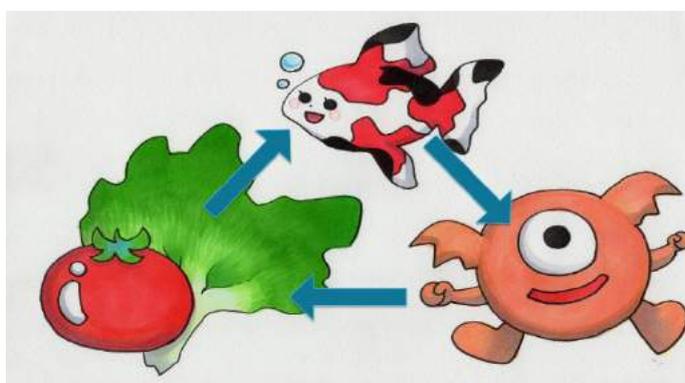
三者面談など、学校にたくさんの方が来る機会を利用し味調査を行う。洗っただけのレタスを一口分食べていただき、調査用紙を書いていたいただく。また、味が混ざらないように一口ごとに水を飲んでもらう。



<写真5>味調査の準備と調査の様子

5、基礎調査～アクアポニックスの仕組みと物質循環～

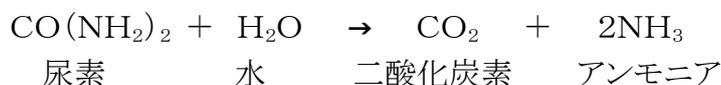
アクアポニックスは従来の養殖と水耕栽培を組み合わせたシステムのことで、巻き貝、魚、エビなどの飼育と水耕栽培とで共生環境を形成することを特徴としている。



<図1>アクアポニックスの仕組み

アクアポニックスの水槽内の水質循環のようすは、水質検査により追跡した。
水質検査による水槽内の物質循環(水質検査キットより)

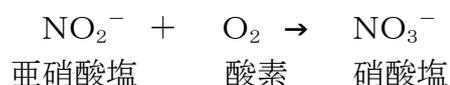
ステップ1 魚のフン(尿素)と水が反応して二酸化炭素とアンモニアが発生



ステップ2 微生物(ニトロソモナス)がアンモニアを亜硝酸塩に分解



ステップ3 微生物(ニトロスピラ)が亜硝酸塩を硝酸塩に分解



6、研究の内容

第1期

(1) 第1期の研究目的

レタスが魚に与える影響を調べるため、アクアポニックスの循環内で飼育される魚とそうでない魚との違いを調べる。

(2) 第1期の研究の方法

メダカの生存率と様子を比較することで、違いを調べる。魚の数が多い方が生存率の結果が正しい数値になるため、実験に使用する魚はメダカ(50匹)とする。水槽1, 2, 水槽3, 4ではそれぞれ使用する装置は同じにし、レタスの有無のみ条件を変えた。ASUNARO Systemでは、1つの網の中に10匹のメダカを入れた。

<表1> 第1期の試験区

試験区名(水槽)	システム(System)	レタスの有無
水槽1	従来のシステム	無
水槽2	従来のシステム	有
水槽3	ASUNARO System	無
水槽4	ASUNARO System	有

•ASUNARO System とは

前回の実験では、コンテナでレタスを育てる際、下の水槽で金魚(去年の実験に使用)の代わりにメダカを育てた。すると、その生存率を調べる際に常に動くメダカが数えにくいという問題があり、

それを解決するために「水槽の中に仕切りを作る」という案が出た。

しかし、水槽の中に仕分けを作ると水の循環が悪くなってしまい、アクアポニックスにとって重要である「水を循環させて、魚のフンを肥料として植物のところに運ぶ」ということができなくなってしまう。そこで、網を使って生けすを作り、それにメダカを一定の数ずつ入れ飼育するという案が出た。それが「ASUNARO System」である。



<写真6>ASUNARO System の
メダカ飼育コンテナ

(3) 第1期の研究結果と考察

植物(実験では谷野ファームから提供を受けた(発芽 1 週間のものを)「リーフレタス」を実験に使った)

植物の成長の追跡は、実験はじめと2週間おきに各水槽から2つずつリーフレタスを取り出し、2週間、40℃の恒温乾燥機に入れ根、茎、葉別に乾燥重量を測定することで、光合成産物が植物のどの部位に運ばれ成長をうながしたかを調べた。p.4 写真4 参照。

①乾燥重量の結果と考察

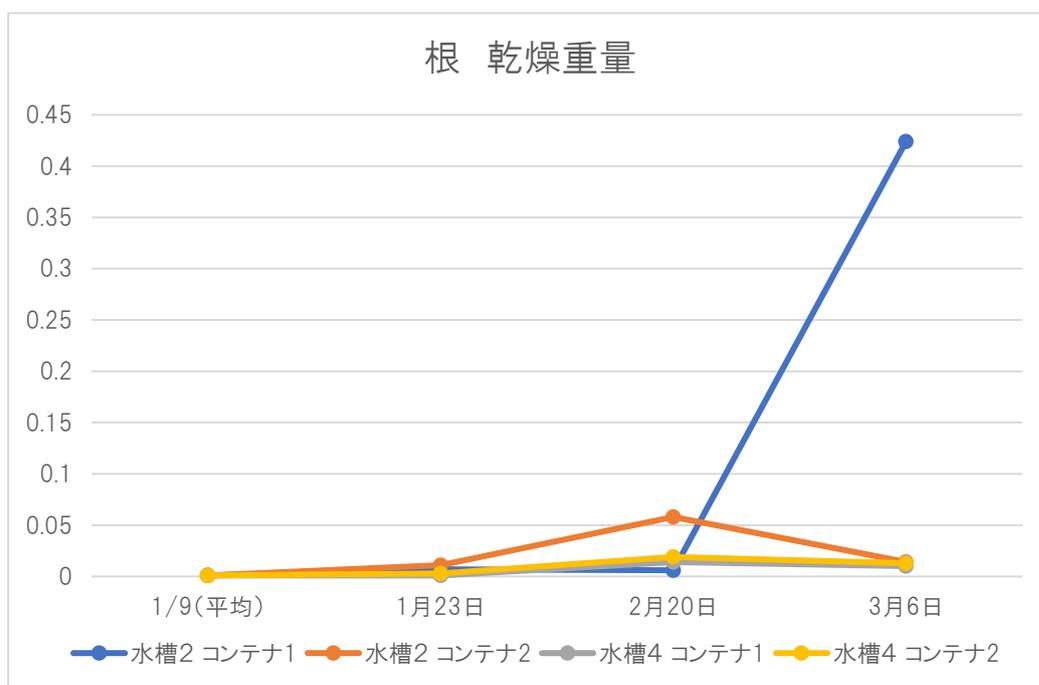
今回は、水槽2、4でしかレタスの栽培を行わなかったため、ASUNARO System と従来のシステムとの比較となった。

根の乾燥重量

- 根の乾燥重量が重い場合、栄養不足のため根を発達させたと考えられる。
(前期の考え)
- 全体的に、水槽4のほうが、数値が低い。
→水槽4のほうが水中の栄養が豊富だったと考えられる。
- 水槽4のあすなるシステムの「糞が直接植物のコンテナに行くため、栄養が効率よく吸収される」という特徴が証明されたといえる。
- 全体的に数値が高くなってきているのは、魚の数が減っていくのに伴い、水中の栄養が少なくなってきたからだと考えられる。
- 2月20日から3月6日にかけて、数値が下がっているのは、魚の死骸が栄養になったためと考えられる。
- 2018年度後期の時に比べ、全体的に数値が高い。

		1/9 (平均)	1月23日	2月20日	3月6日
水槽2	コンテナ1	0.001	0.007	0.006	0.424
	コンテナ2	0.001	0.011	0.058	0.014
水槽4	コンテナ1	0.001	0.001	0.014	0.01
	コンテナ2	0.001	0.003	0.019	0.013

<表2>根の乾燥重量の値



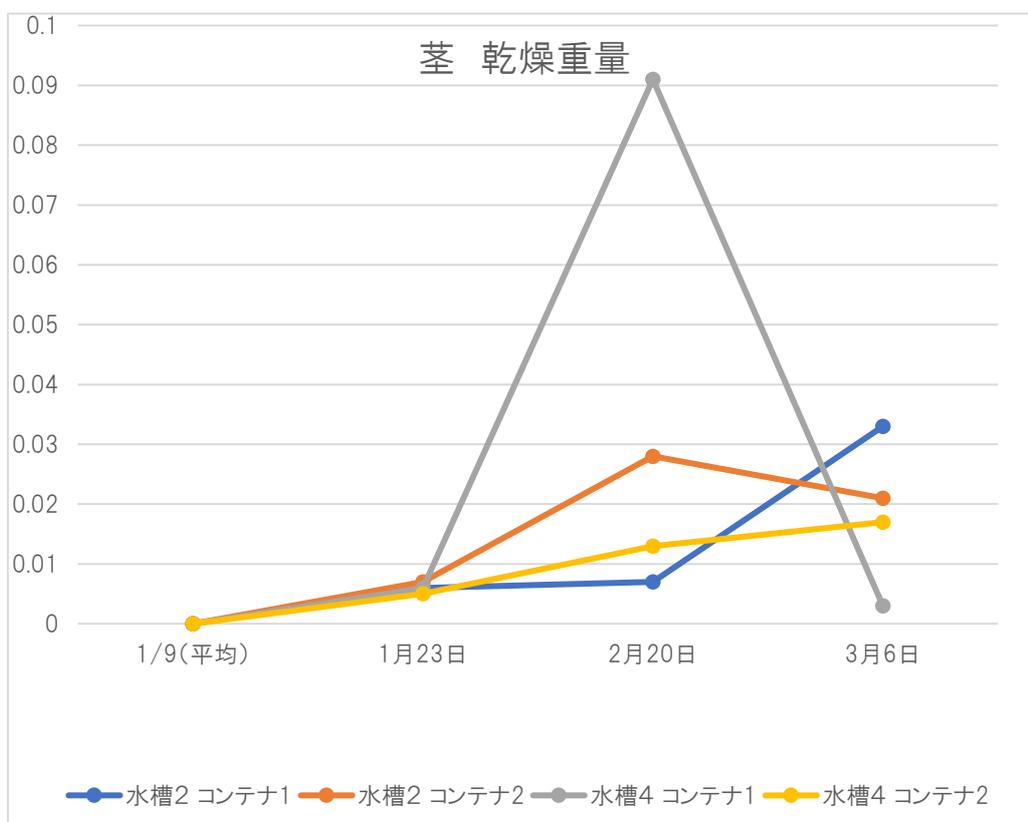
<グラフ1>根の乾燥重量の変化

茎の乾燥重量の結果

- ・茎が重いレタスは、葉も重くなっている。
- ・1月9日から2月20日にかけて数値が上がっているため、茎の重さも水中の栄養が多いほど重くなるという事が分かる。
→重くなった葉を支えるために、必然的に太くなり数値が上がったとも考えられる。
- ・従来の方法と、あすなるシステムでは数値に大きな違いはない。

		1/9 (平均)	1月23日	2月20日	3月6日
水槽2	コンテナ1	0.000以下	0.006	0.007	0.033
	コンテナ2	0.000以下	0.007	0.028	0.021
水槽4	コンテナ1	0.000以下	0.006	0.091	0.003
	コンテナ2	0.000以下	0.005	0.013	0.017

<表3>茎の乾燥重量の値



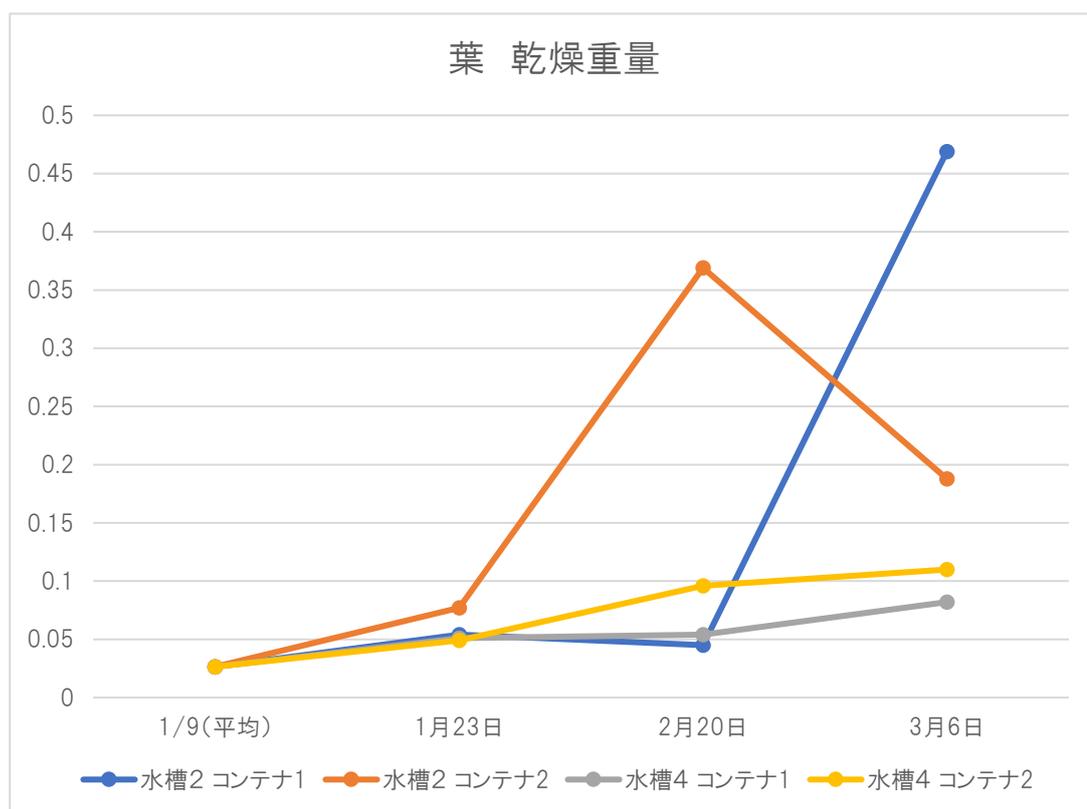
<グラフ2>茎の乾燥重量の変化

葉の乾燥重量の結果

- ・水槽 2 のほうが4よりも数値が高い。
- ・3月6日の時点で水槽2はメダカの生存数が5匹、水槽4は0匹となっている。
→メダカの数が多いほうが葉の乾燥重量の数値は大きくなる。
- ・水槽2 コンテナ2 のレタスは、収穫時に葉が黒く枯れていたため、それが原因で数値が下がったとも考えられる。

		1/9 (平均)	1月23日	2月20日	3月6日
水槽 2	コンテナ1	0.0265	0.054	0.045	0.469
	コンテナ2	0.0265	0.077	0.369	0.188
水槽 4	コンテナ1	0.0265	0.051	0.054	0.082
	コンテナ2	0.0265	0.049	0.096	0.11

〈表4〉葉の乾燥重量の値



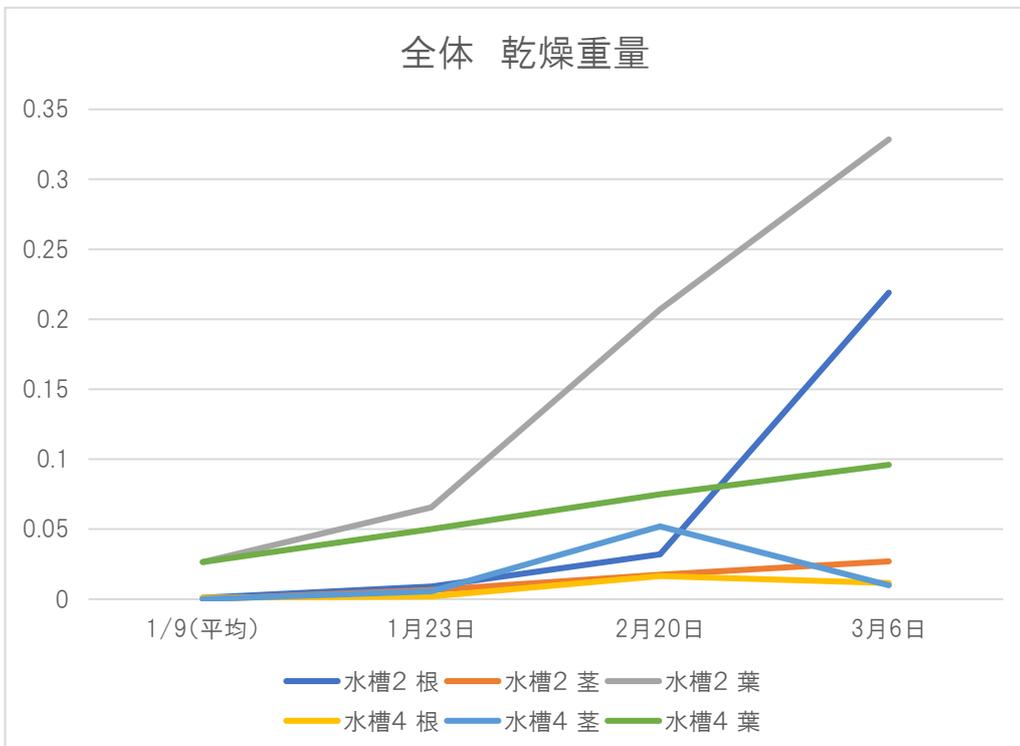
〈グラフ3〉葉の乾燥重量の変化

全体の乾燥重量の考察

- ・葉の乾燥重量は水槽 2 のほうが4よりも数値が高く、茎も根も水槽 2 のほう4よりも数値が高い。
- ・水槽 2 は極端に葉の乾燥重量の数値が高い。
- ・水槽 4 に比べ、水槽 2 は全体的に変化が大きい。
- ・水槽 4 葉は、大きな高低差はないが、少しずつ数値は上がってきている。
→メダカやそれによる水質の変化はあまり悪影響を与えなかったのではないか。
→あすなろシステムの網のおかげで、死骸や藻、糞のかたまりが直接モーターに付かなかつたためと考えられる。
- ・他の茎はあまり変化がないが、水槽 4 のコンテナ 1 だけは、高低差が少し大きい。

		1/9 (平均)	1月23日	2月20日	3月6日
水槽 2	根	0.001	0.009	0.032	0.219
	茎	0.000以下	0.0065	0.0175	0.027
	葉	0.0265	0.0655	0.207	0.3285
水槽 4	根	0.001	0.002	0.0165	0.0115
	茎	0.000以下	0.0055	0.052	0.01
	葉	0.0265	0.05	0.075	0.096

〈表5〉試験区ごと各部位の乾燥重量の値
(コンテナ1, 2の平均)



〈グラフ4〉試験区ごとの各部位の乾燥重量の変化

ASUNARO System

- ・従来のシステムで育てたレタスよりも根が発達していないため、水中の養分が豊富であったと考えられる。
- ・最終的な葉と茎の数値は、従来のシステムの方が大きい。
- ・魚が死んだことによる水質の悪化が原因であると考えられる。

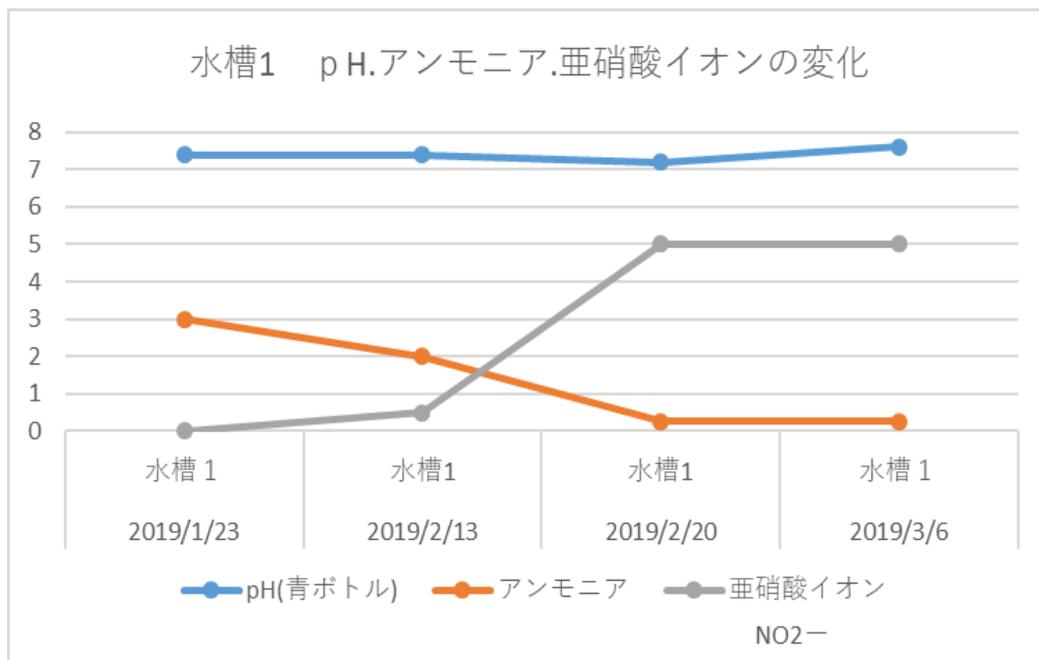
従来のシステム

- ・収穫時、葉の先が少し黒くなっていた。
- ・葉の重量が大きく、変化も最も大きかった。

②水質検査の結果と考察

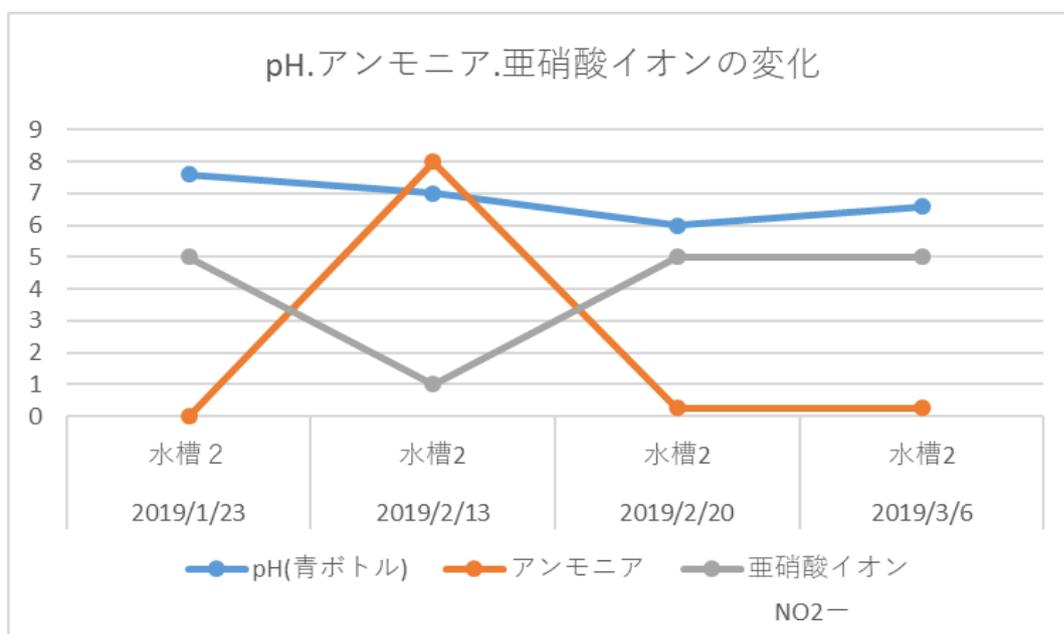
〈表6〉2019年1月～3月後期水質検査

アクアポニックス 水質検査日	光 (LED)	水 温	pH(青ボトル)	pH(赤ボトル) ハイレンジ	アンモニア	亜硝酸イオン NO ²⁻	硝酸イオン NO ³⁻
2019/1/9初期値	水槽1	10.9					
	水槽2	10.9					
	水槽3	10.9					
	水槽4	10.9					
2019/1/23	水槽1	9.3	7.4		3.0	0.0	1
	水槽2	9.5	7.6		0.0	5	15
	水槽3	9.4	7.6		6.0	3.0	5
	水槽4	9.5	7.6		1.5	5	10
2019/2/13	水槽1	9.7	7.4		2	0.5	160
	水槽2	10.0	7.0		8	1	160
	水槽3	9.5	7.6		8	0.4	160
	水槽4	9.4	6.0		0.8	1	160
2019/2/20	水槽1	12.5	7.2		0.25	5	5
	水槽2	11.7	6.0		0.25	5	5
	水槽3	13.5	6.8		0.5	5	160
	水槽4	13.1	7.3		0.25	2	160
2019/3/6	水槽1	14.6	7.6		0.25	5	20
	水槽2	14.9	6.6		0.25	5	0
	水槽3	15.0	7.6		0	5	0
	水槽4	14.8	7.3		0.5	2	2



〈グラフ5〉水質検査グラフ 水槽1

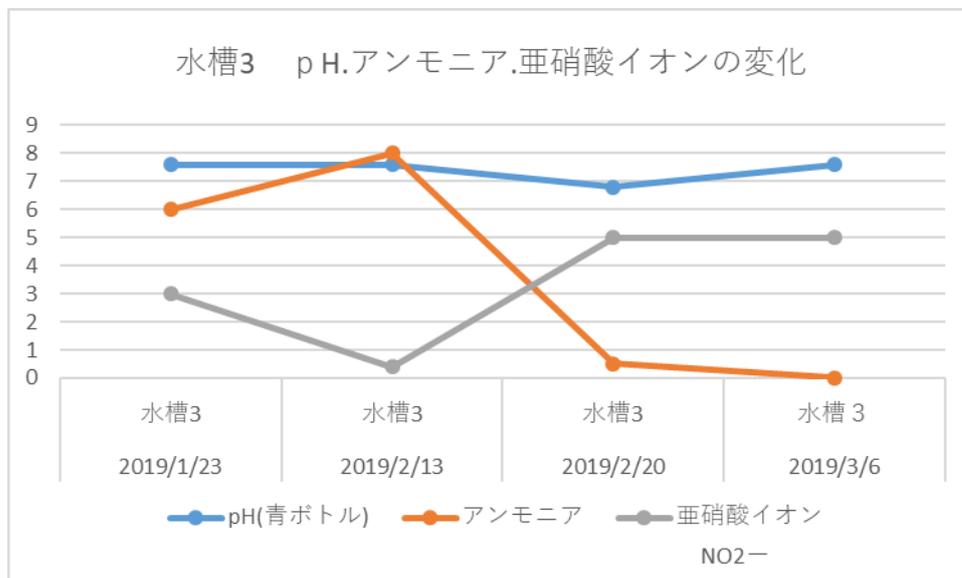
- pHは、比較的安定している。
- アンモニアが 2/20 に急激に数値が下がっているが、これは、メダカが大量死した時期と重なるためメダカが、少なくなったことによってアンモニアが減ったと思われる。
- アンモニアの分解とともに亜硝酸イオンの数値が上がっている。



〈グラフ6〉水質検査グラフ 水槽2

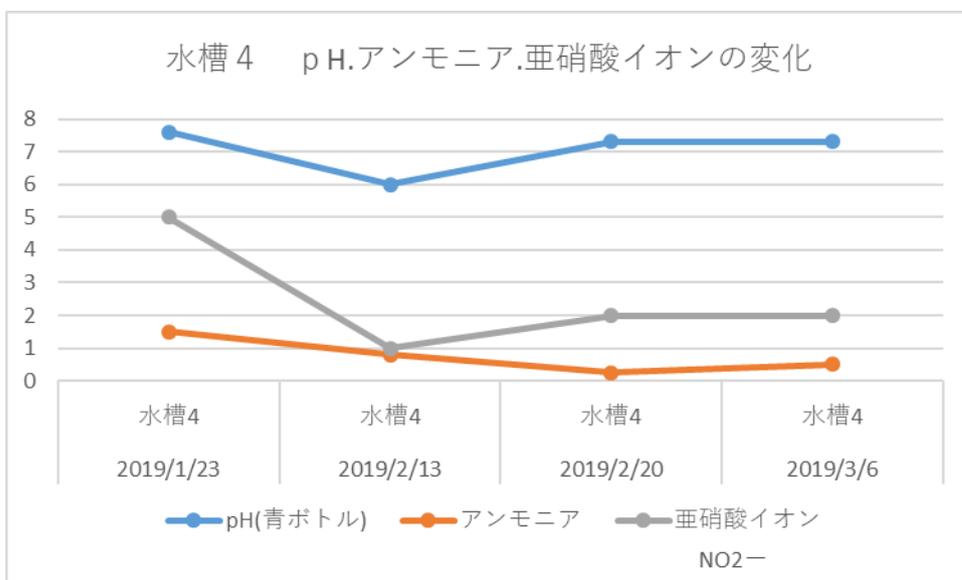
- アンモニアの数値が下がっている時は亜硝酸イオンの数値が上がる。
- pHは 2/20 まで下がっているが、2/20~3/6 からは、数値が上がる傾向になっている。

- ・アンモニアは、2/13 急激に上がって 2/20 からは、数値が下がっていること、そしてそのとき亜硝酸イオンの数値が、上がっていることから、アンモニアが分解されたことが分かる。



<グラフ7>水質検査グラフ 水槽 3

- ・アンモニアは、2週目に上がって3週目からは、数値が急激に下がっていること、そしてそのとき亜硝酸イオンの数値が、上がっていることから、アンモニアが分解されたことが分かる。
- ・pHは、水槽2と同じで2/20~3/6からは、数値が上がる傾向になっている。
- ・比較的水槽2のグラフと似ている。



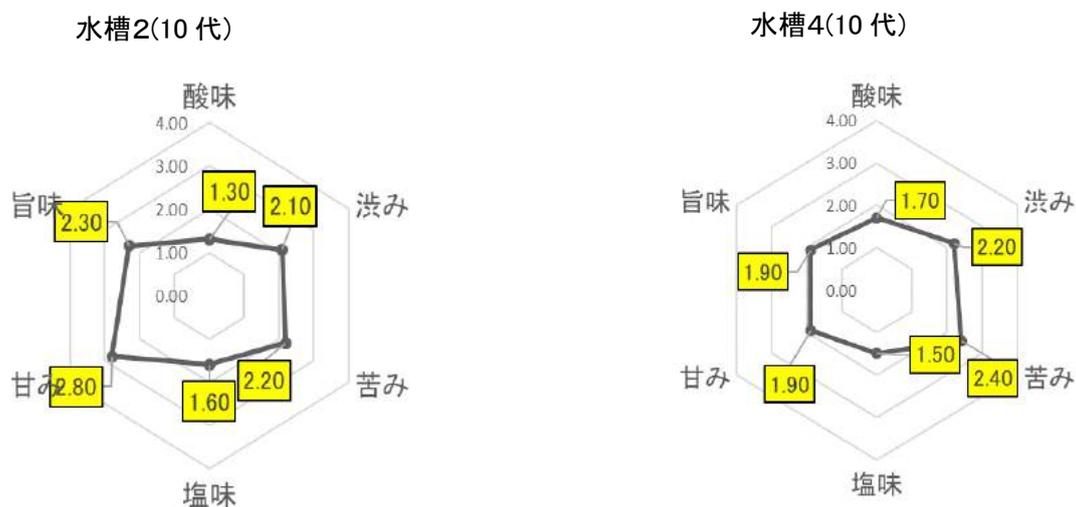
<グラフ8>水質検査グラフ 水槽 4

- ・pHは、2/13に弱酸性に傾くとともにアンモニアが水槽1~3ほどではないが分解が進んだ。
- ・アンモニアが2/13~3/6にかけて分解が進みそれとともに亜硝酸イオンが、確認された。

第1期は、pH が酸性に傾いていきその際アンモニアを亜硝酸塩に変え、さらに、亜硝酸が植物の肥料となる硝酸塩になりレタスの植えてあるコンテナに運ばれ、レタスの肥料となり成長を促していた。

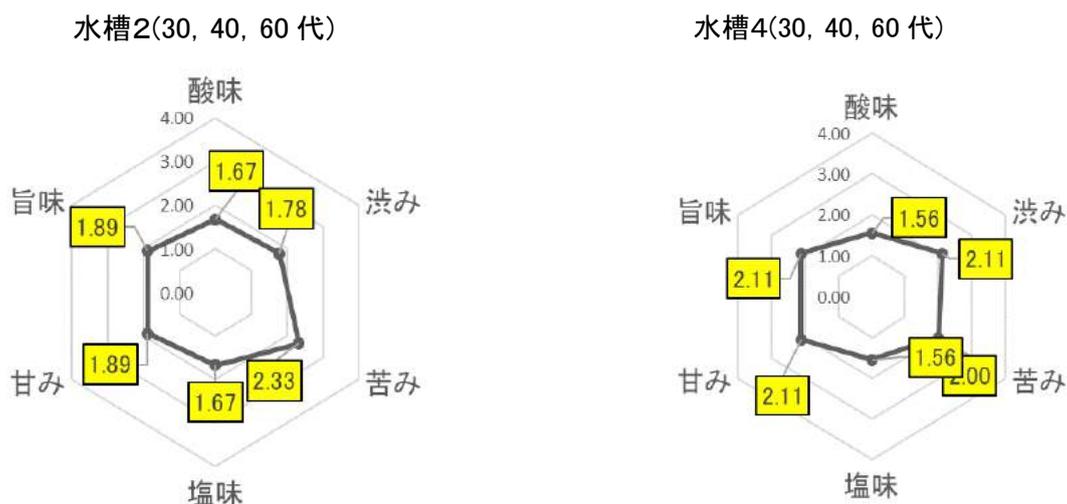
③味調査の結果と考察

<グラフ9> 10代が感じた試験区ごとのレタスの味の違い



上のデータは 10 代の平均値で、水槽2は甘味が強く、水槽4は全体的に2が多くバランスが良いのと同時に味の主張が弱いと感じる。

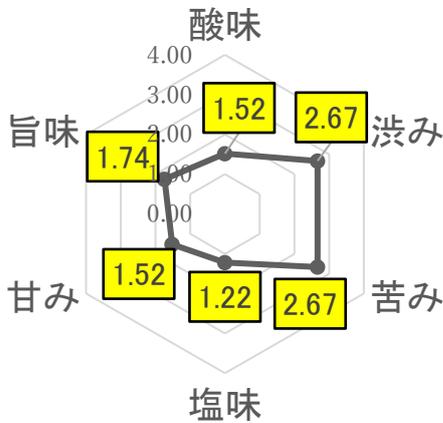
<グラフ10> 30, 40, 60代が感じた試験区ごとのレタス味の違い



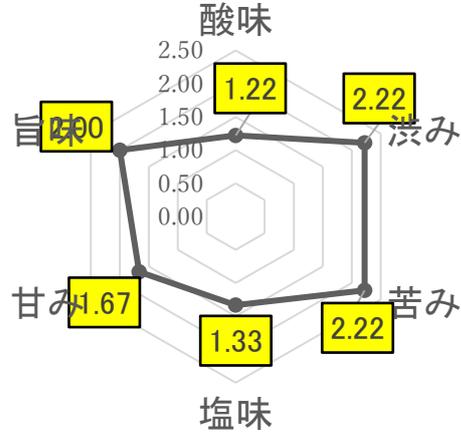
また 30 代、40代、60 代の平均値のグラフでは10代と違い水槽2での甘さの主張が弱くなり、全体的に味の感じが薄いと考えられる。

<グラフ11> 10代 40代が感じた年代ごとのレタスの味の違い

水槽2(10代)



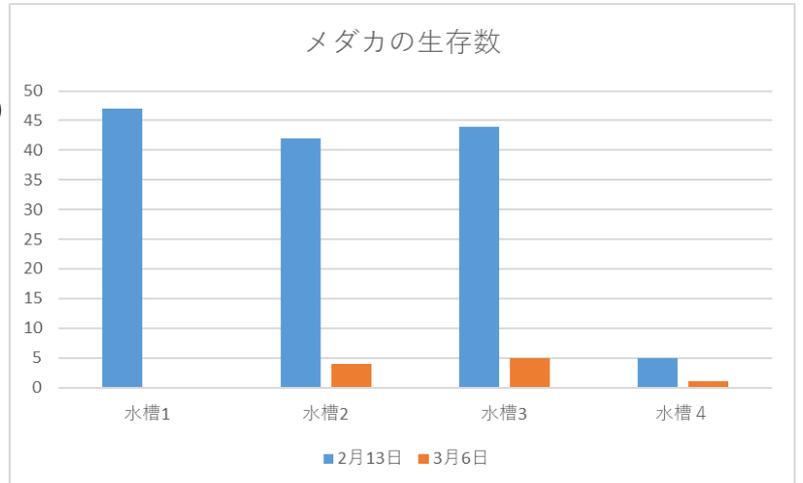
水槽2(40代)



左は10代の水槽2の平均のグラフで右は40代の水槽2の平均グラフである。比べてみると10代が苦味や渋味などが強いのにに対し40代では旨味や甘味が強いと考えられる。前回の実験に続き、年代ごとで感じ方が違うという結果がでた。

④観察の結果と考察

	2月13日	3月6日 (匹)
水槽1	47	0
水槽2	42	4
水槽3	44	5
水槽4	5	1



<表7>メダカの生存数の値

<グラフ12>メダカの生存数の比較

- ・メダカの生存数は最終的に ASUNARO System のほうが多かった。
しかし、昨年度などのこれまでの研究と比較すると水槽内の環境は良かったとは言えない。
- ・春は、メダカがストレスを感じやすく病気にも弱い季節だと、調べて分かった。
これまでは、金魚で実験を行っていたため気付かなかったが、その影響もあるのかもしれない。
- ・今回は、水槽内でコケ類や藻、カビ、泡、油膜のようなものがたくさん見られた。

- ASUNARO System では、水が循環の際に経由するコンテナが多いため、水槽内の汚れが沈殿しやすく水質が従来のものより良かったと考えられる。また糞や藻のかたまりなどは、仕切りの網に引っかかり全体に影響を及ぼさなかったことも、その一因であるといえるだろう。
- ASUNARO System の生けすは、10 匹のメダカを飼育するには狭すぎるような印象を受けた。後に調べると、メダカ 1 匹の飼育には 1 リットルの水が必要であり、過密飼育になっていたことが分かった。実用には魚のストレスを軽減するために生けすを大きくする必要があると思った。
- メダカが死ぬ前には、水槽の下の方を泳ぐなどの行動が見られた。

(4)第 1 期のまとめ

- ASUNARO System について

今回の ASUNAROSystem はメダカの糞を効率良くレタスの養分にするためのシステムだったが、糞が上手く循環せずレタスの養分とならなかった。このようになってしまった原因として、主に網の目が細かく糞が網の中へ溜まってしまった事や、循環する際にコンテナを経由したため水の流れが遅くなりコンテナ内に糞がたまってしまった事などが挙げられる。糞が上手く循環せず、網やコンテナ内に糞が溜まってしまったため、水質が悪化し、結果的に、メダカが大量死してしまったのだと考えられる。ASUNARO System で育てたレタスの味に関しては、従来のシステムで育てたものと比べ、10 代の人では苦味が、30, 40, 60 代の人では甘味が強く感じられると分かった。

- アクアポニックスがメダカに与える影響について

アクアポニックスにはレタスによって水質を良くする仕組みがあるが、今回全ての水槽の水が濁っていたため違いはあまり見られなかった。水質検査においても違いは見られなかったため、バクテリアによる糞の分解が進まなかったことや、レタスの吸収が追い付かなかったことが考えられる。「メダカが死ぬ⇔水質悪化⇔レタスの根の腐敗」の連鎖は、今回どこから始まったのかわからないが、この連鎖にバクテリアが深く関わっていることが分かった。

第 1 期でメダカが大量死した原因は、水槽内のアクアポニックスの循環が崩れ、水質が悪化してしまったことにあると考えた。それをうけて第 2 期ではアクアポニックスの循環に注目し、生態系を強化することでおいしいレタスを作ろうと考え、実験を行った。

第 2 期

(1) 第 2 期の研究目的

魚の糞をバクテリアが分解し、植物がそれを栄養として吸収することで水がきれいになるという、アクアポニックスの循環の効果をより大きくするための、生態系の条件を探る。

(2) 第 2 期の研究方法

人工的にバクテリアを投入し、効果を調べる。実験に使用する装置は HOSOKURA System とし、水槽1にはヤマトヌマエビ10匹・ヒメタニシ10匹・アナカリス3株、水槽2にはえひめ AI-1、水槽3には市販バクテリアを加え、水槽の様子、レタスの成長と味を比較することで、違いを調べる。どちらの試験区も使用する装置は同じにし、下記のように条件を変えた。

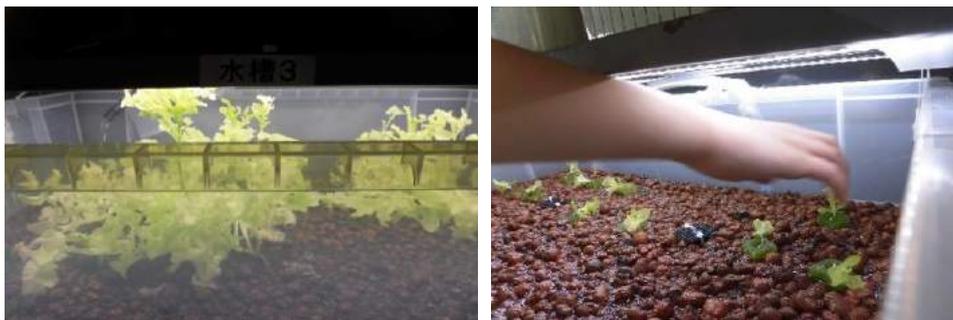
<表8> 第2期の試験区

水槽	試験区名	生態系	役割
水槽1	ヤマトヌマエビ・ヒメタニシ・アナカリス	田などにいる生物	生態系の強化
水槽2	えひめAI-1	乳酸菌・納豆菌	好気性+嫌気性バクテリア
水槽3	市販バクテリア	水質改善剤	水質改善のためのバクテリア
水槽4	対照実験	なし	なし

・HOSOKURA System とは

第一期の ASUNARO System の失敗を受けて、ASUNARO System と従来のシステムのメリットを組み合わせ、改良したシステムである。従来のシステムではレタスのコンテナが1つの水槽に2つあり、左右のコンテナに等しく循環させることが難しかった。そのため、HOSOKURA System では、コンテナを1つにまとめた。そして、水中のバクテリアが分解した栄養分をよりレタスが効率よく吸収できるよう、ハイドロボールを使用し土壌栽培における土の役割をするものとした。また、水槽内の環境を安定させ、水草を植えやすくするため(ヤマトヌマエビ・ヒメタニシ・アナカリス)、全ての水槽の底に砂利を敷いた。

<写真7> HOSOKURA System のレタスのコンテナ部



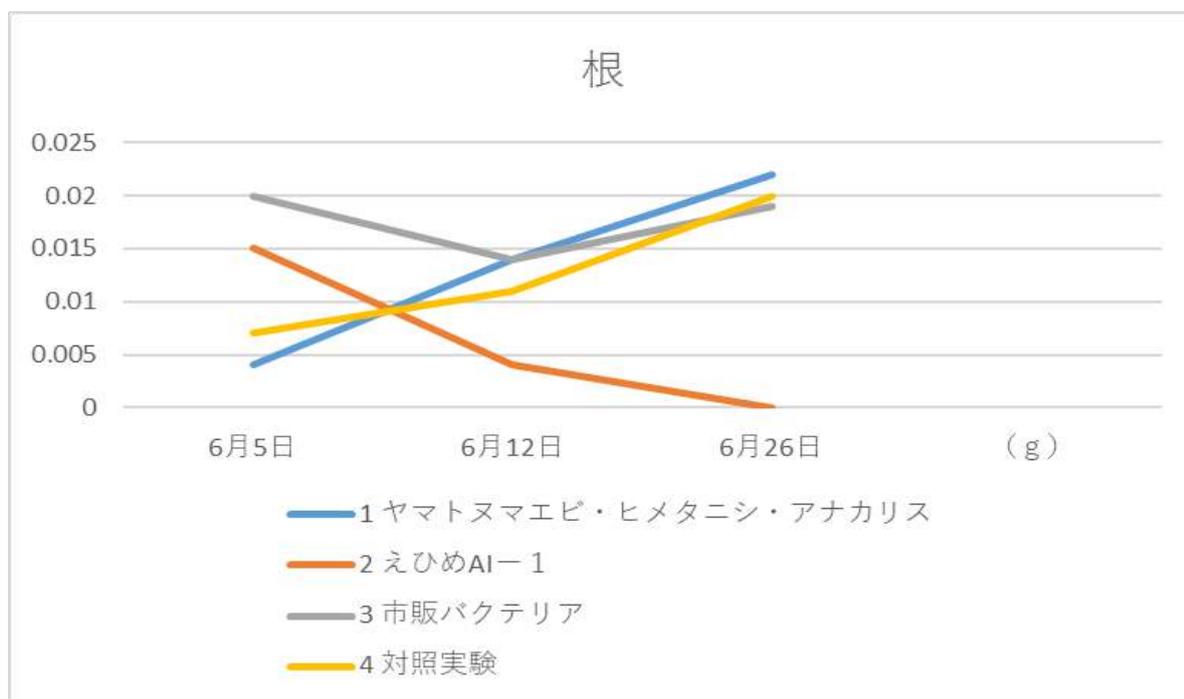
・えひめとは

えひめ AI-1は水を綺麗にする土着の微生物を活性化させるための自然の薬である。成分はヨーグルトの乳酸菌、納豆の納豆菌、ドライイーストの酵母菌と砂糖を加え発酵培養されたもの。

(3) 第2期の結果と考え

① 乾燥重量の結果と考察

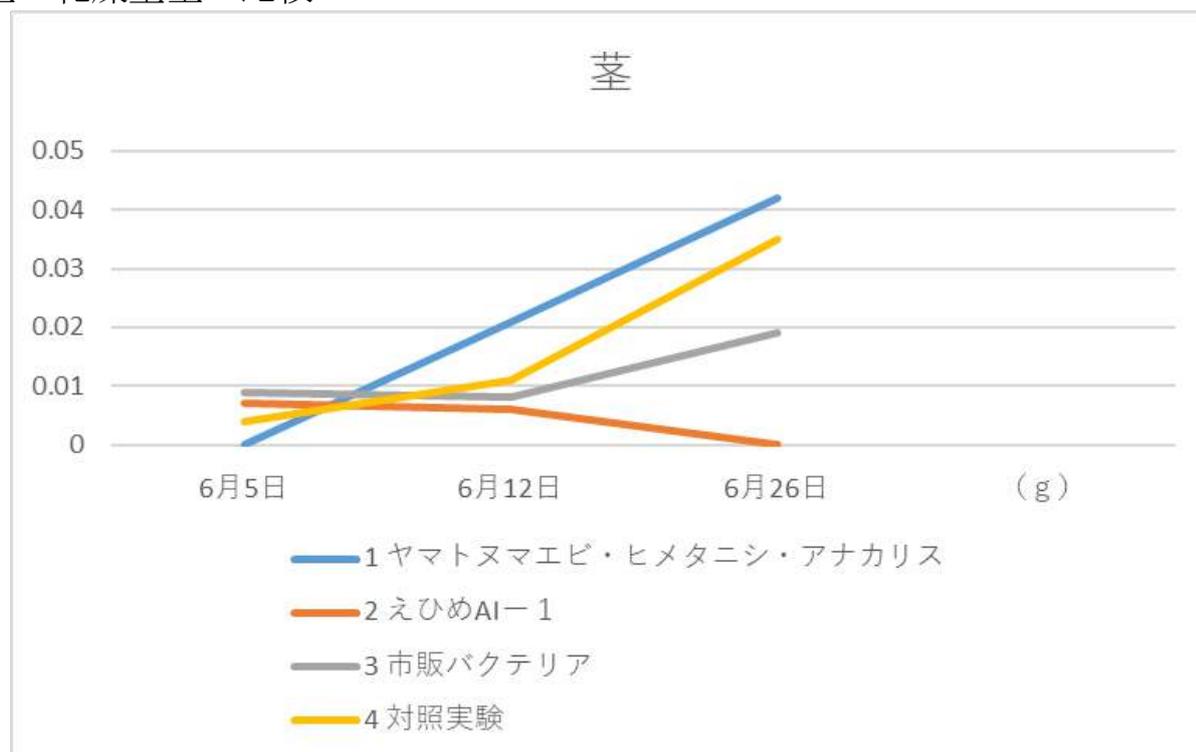
根の乾燥重量の比較



<グラフ13> 根の乾燥重量の推移

- ・えひめ AI-1は、初期の数値が高いため、即効性のある状態の微生物が含まれているのではないかと思った。
- ・ヤマトヌマエビ・ヒメタニシ・アナカリスは、対照実験よりも、成長の変化が大きいため発育をうながす効果があったといえる。
- ・えひめ AI-1はだんだん数値が下がっているため、根が腐食したと考えられる。そうだとしたら、水質が悪化していったといえる。

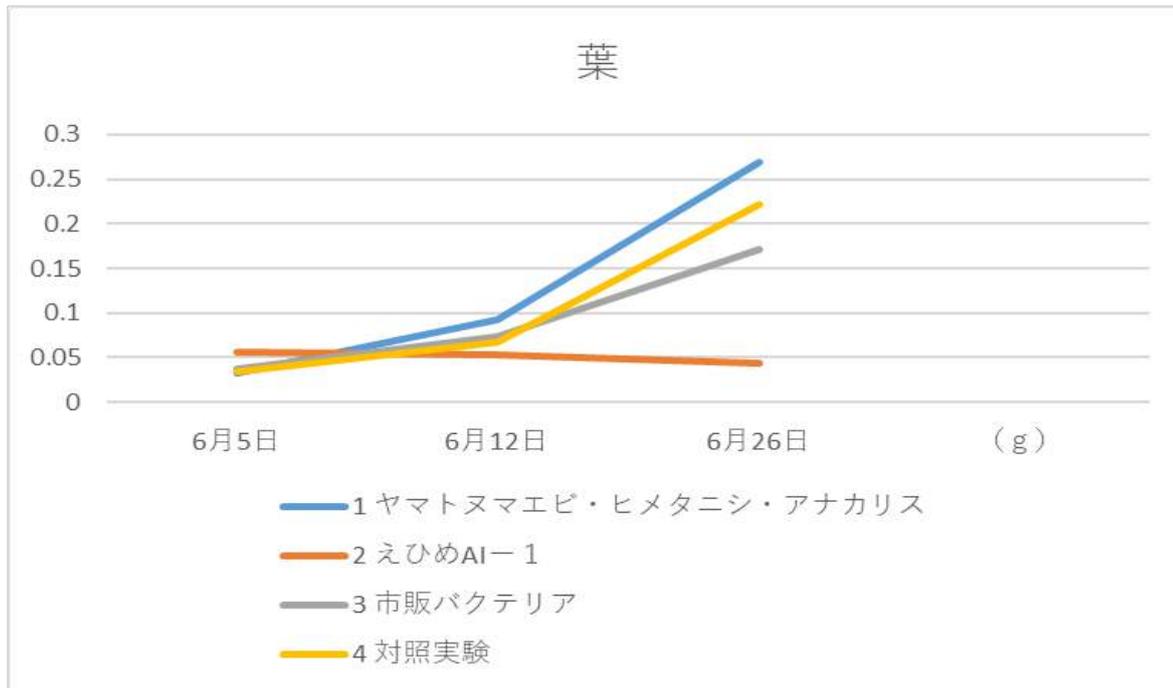
茎の乾燥重量の比較



<グラフ14> 茎の乾燥重量の推移

- えひめ AI-1だけ、数値が下がっている。下がっている部分は、メダカが死んでしまった時期と重なっていることから、そのころに急な水質の悪化が起こったと考えられるえひめ AI-1は定期的に追加していたため、水中の微生物が増えたことで、酸素が少なくなり、酸欠を起こしたとも考えられる(メダカもレタスも)。※酸欠は植物にも悪影響を与える。
- 市販バクテリアは、対照実験よりも、数値の変化が小さい。葉の変化とも似ているが、茎、葉、ともに(全体的に)あまり成長しなかった。市販バクテリアは、既定の量に従い始めにしか投与しなかったため効果がなかったのかもしれないと考えた。対照実験よりも数値が小さかったのは、単に個体差か、あるいは魚にはよい影響をもたらす効果のあるバクテリアがレタスにとっては有害だったなどという可能性が考えられる。

葉の乾燥重量の比較



<グラフ15> 葉の乾燥重量の推移

- ・対照実験よりも数値が大きいのは、ヤマトヌマエビ・ヒメタニシ・アナカリスしかない。これは、成長の変化も最も大きく、順調に育っているといえる。
- ・対照実験は、数値は良いが葉の色が薄く、白っぽかった。
- ・えひめ AI-1の数値が低いことから、水質が悪いとレタスの成長にも悪影響を与える事が分かる。
- ・市販バクテリアは安定して数値が伸びているが、変化が小さい。

ヤマトヌマエビ・ヒメタニシ・アナカリス

全て(根・茎・葉)において最も値が大きく、変化の大きさも一番大きい。葉の量に対して茎が長い。

えひめ AI-1

全てにおいて最も値が小さく、葉や茎の色も薄かった。その理由として、バクテリアが多すぎたことによる水質の悪化が原因であると考えられる。

市販バクテリア

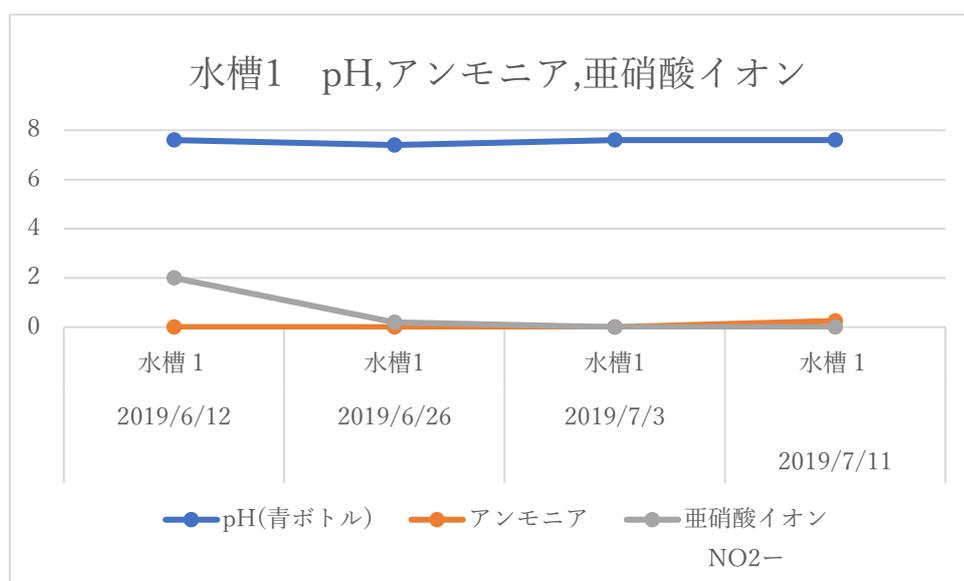
対照実験を除くとどれも2番目に数値が高い。変化の大きさは対照実験よりも小さいが、個体差であるとも考えられる。

アクアポニックスにおいて、バクテリアの量は多すぎても悪影響をもたらすと分かった。循環に関わる生物を増やすことも、レタスの成長を促すことに効果的である。そして、微生物が循環の上で重要な役割を果たしていることを再確認できた。

②水質検査の結果と考察

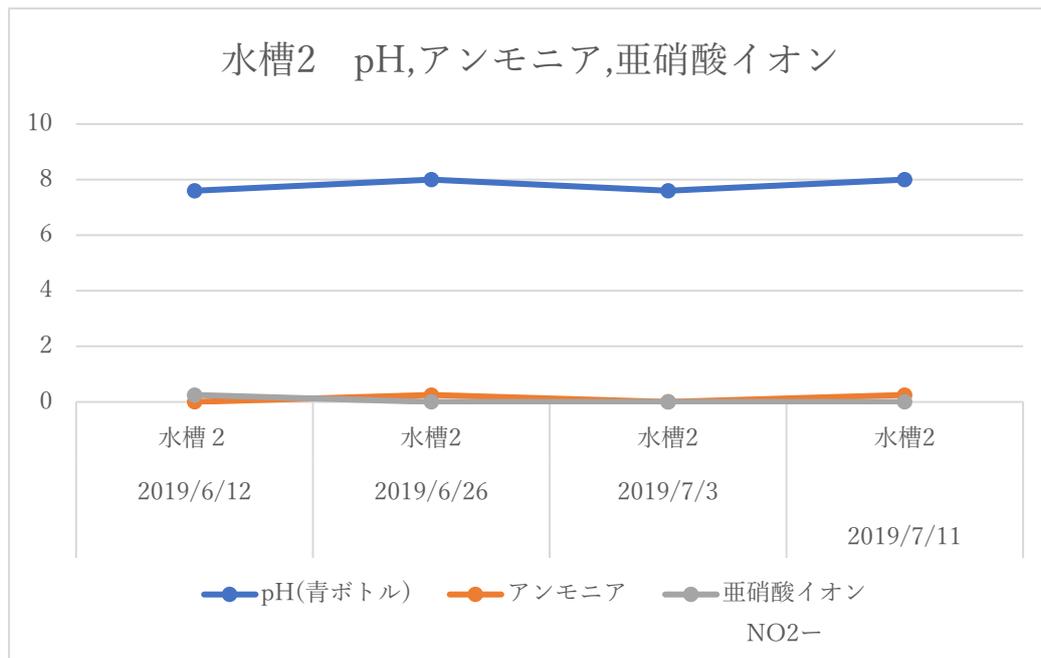
〈表9〉2019年4月～7月後期水質検査

アクアポニックス 水質検査日	光 (LED)	水 温	pH(青ボトル)	アンモニア	亜硝酸イオン NO ²⁻	硝酸イオン NO ³⁻
2019/6/12	水槽1		7.6	0.0	2.0	5.0
	水槽2		7.6	0.0	0.25	0.5
	水槽3		7.6	0.3	0.25	0.0
	水槽4		7.6	0.25	0.25	0.0
2019/6/26	水槽1	25.3	7.4	0.0	0.2	0.0
	水槽2	25.3	8.0	0.25	0.0	0.0
	水槽3	25.4	7.8	0.25	0.25	0.2
	水槽4	25.3	7.6	0.0	0.2	0.0
2019/7/3	水槽1	25.0	7.6	0.0	0.0	0.0
	水槽2	25.0	7.6	0.0	0.0	0.0
	水槽3	25.0	7.8	0.0	0.25	0.0
	水槽4	25.0	7.6	0.0	0.0	0.0
2019/7/11	水槽1	25.6	7.6	0.25	0.0	0.0
	水槽2	25.5	8.0	0.25	0.0	5.0
	水槽3	25.6	8.2	0.25	0.0	0.0
	水槽4	25.6	8.0	0.25	0.0	0.0



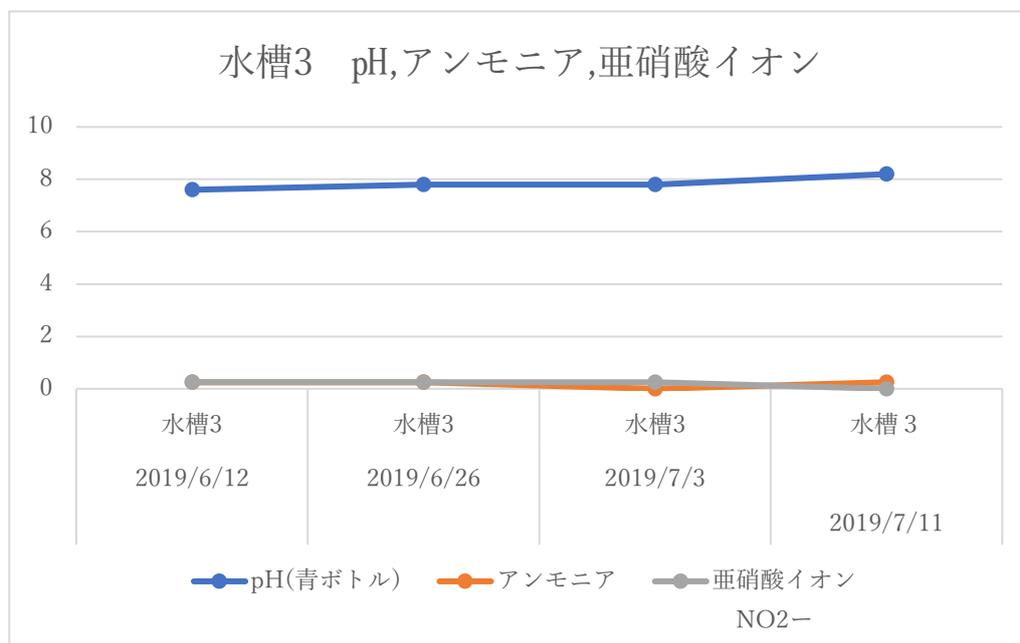
〈グラフ16〉水質検査グラフ 水槽1

- pHは、比較的一定
- アンモニアは最初の三週間分解されていた最後の一週間は、検出された
- 亜硝酸イオンは、初めはあったがほとんどなくなった



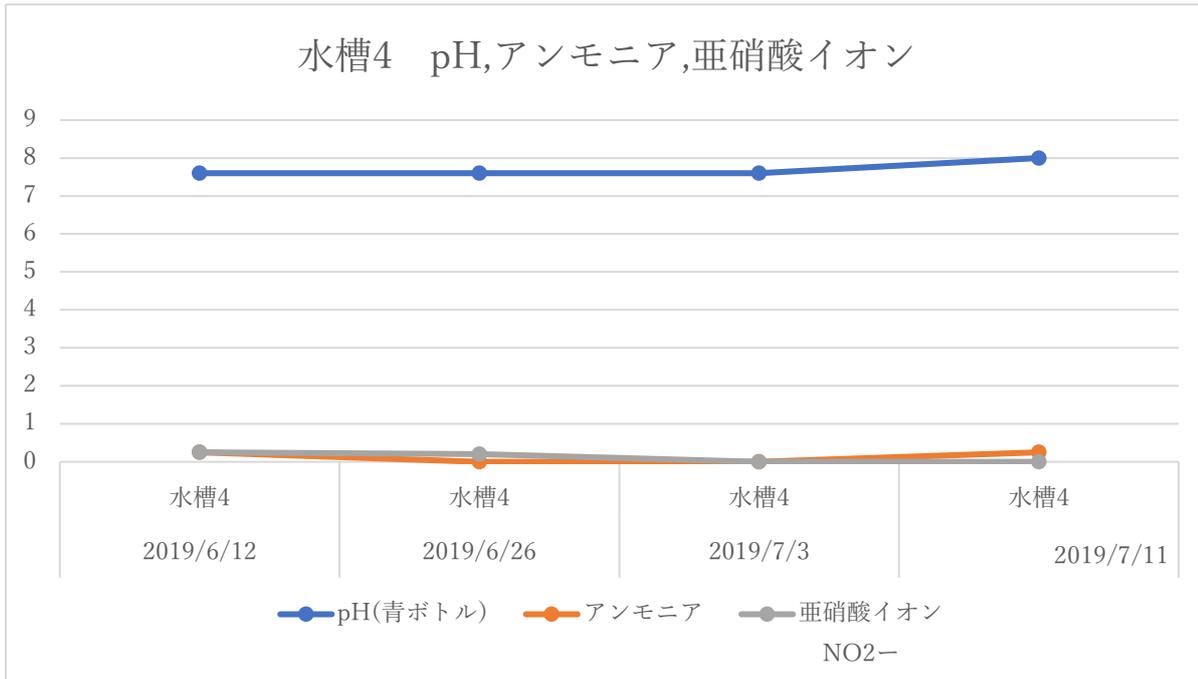
〈グラフ17〉水質検査グラフ 水槽2

- pH は、比較的一定
- アンモニアと、亜硝酸イオンは、検出された期間がばらばらだった
- 最終週に、肥料となる硝酸塩が検出された



〈グラフ18〉水質検査グラフ 水槽3

- pH は、比較的一定 少し増えた
- アンモニアと、亜硝酸イオンは、最後の週になるとあまり検出されていない
- 初めの四週では、肥料となる硝酸塩が作りだされていた



〈グラフ19〉水質検査グラフ 水槽 4

- ・pH は、ほとんど変わらない
- ・硝酸塩は全く 検出されなかった
- ・アンモニアと、亜硝酸イオンは最後の週まで検出されなかった

今回取り組んだあすなるシステム2では、水槽1のメダカのほかに入れたタニシ、ヌマエビ、水草を入れた水槽の中で生態系ができてそのため、アンモニアの分解が進まなかった。初期値を測定した後の2週間では、アンモニアを分解し硝酸塩を増やしていたがその後、硝酸塩の数値が下がっていった。

水槽2では、愛媛県産業技術研究所で開発された「えひめ AI-2」を使った実験をした。水槽2でも水槽1と同じようにアンモニアの分解が進まなかった。

水槽3では、市販バクテリアを使い実験をした。水槽3は、肥料が少しずつ増えている。水槽1～4のなかでは、肥料となる硝酸塩を1番多く作り出している。市販バクテリアが作用したと思われる。

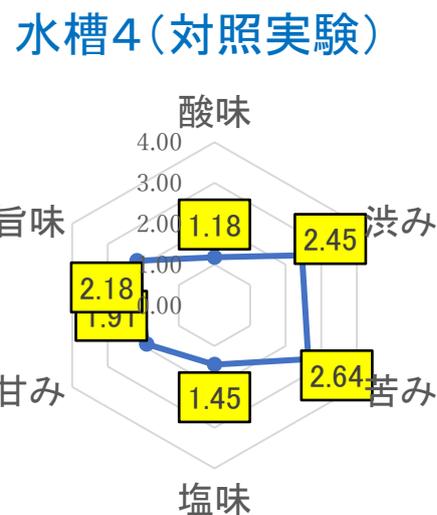
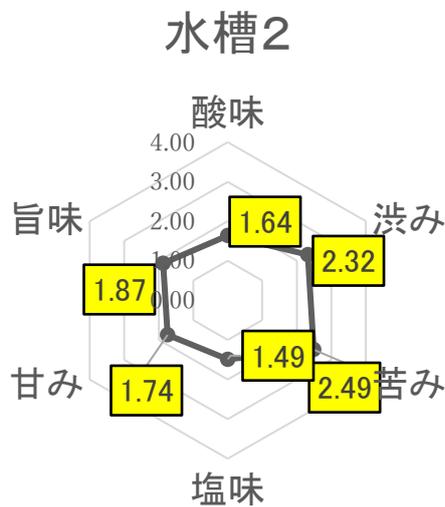
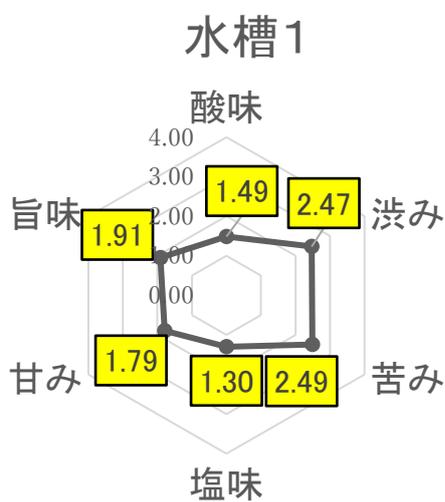
水槽4では、対象実験で、メダカのみを入れた実験では、pH が安定している。だが硝酸塩が、0ということから肥料は、作られていないことが分かる。

→対照実験はこの4つのシステムの中で2番目に成長している。ということは、野菜の生長を促進させる物質は硝酸塩や光合成以外にもあると考えられる

③味調査の結果と考察

2019年7月に2019年5月～2019年7月にかけて栽培したレタスの味調査を行った。

<グラフ20>試験区ごとのレタスの味の違い

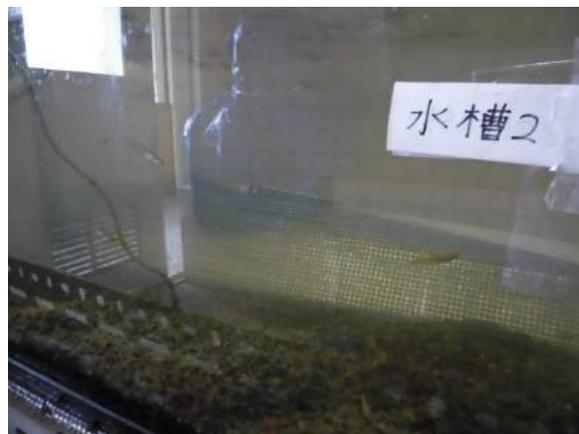


全体での平均値では水槽1と水槽2が似た傾向になり、水槽3と水槽4が似た傾向になった。より自然に近い環境や水質が良いと苦味や渋味が少なくなると思った。

- ・年代によって味の感じ方が違うことは前回のアクアポニックス1の実験をふまえると、ほぼ明確になった。
- ・年代が若いほど苦味や渋味などを感じやすく、年をとるほど全体的な感じ方が弱くなっている。
- ・野菜の味は水質が良いほど苦味や渋味がなくなりバランスがとれたものになる。

④観察の結果と考察

- ・ヤマトヌマエビ・ヒメタニシ・アナカリスでは初めてメダカの卵と稚魚を確認することができた。水槽の水も少し緑がかって澄んでおり、底砂の汚れも最も少なかった。
- ・えひめ AI-1は、水槽の底のデトリタス(微生物や微生物の死骸などで構成された汚れ)が最も多かった。また、メダカが実験中に3匹死んだ。原因はバクテリアの増殖による酸欠と考えられる。
- ・市販バクテリアは、特に何ににも影響を与えなかった。



〈写真8〉各水槽のちがい

(4) 第2期のまとめ

- ・水槽内の生態系(バクテリア)がレタスに与える影響

レタスをおいしく作るためには、バクテリアが適切な量だけ生態系に関わることがとても大切であると分かった。生態系のバランスは、水質の変化を介して、レタスの成長に大きく影響する。具体的には、バクテリアが魚の糞をすべて分解できる量でありながら、レタスの養分までを奪ってしまうことのない量いる、というのが1番良い。味に関しても、質の良い水で育ったもののほうが苦味、渋味を感じにくい人が多いという結果になった。

魚にとっても水質などの水槽内の環境は重要である。今回、メダカは初めて卵を産んだが(水槽1)これは水槽内であまりストレスを感じなかったからだと考えられる。したがって、生態系の整った水槽は、魚の養殖においてもよい環境といえるだろう。

- ・HOSOKURA System について

HOSOKURA System は、成功したといえる。これまでよりも水が安定して循環し、レタスによる水の浄化の効果も従来のシステムに勝っていると思った。しかし、デメリットとして植物のサンプルを採取する際に、根がちぎれることのないように気を配らなくてはならないこと、レタスのコンテナがハイドロボールを入れることによって重くなってしまふことが挙げられる。今後も改善し、より良いシステムを作っていきたい。

7、全体のまとめと今後の研究

今回の研究は、アクアポニックスの可能性を大いに広げるものであったと思う。

1、バクテリアの働きがレタスの味と成長をよくしたこと

下の写真で最も色が濃く大きいのは、水槽 1 のものだ。水槽 1 とほかの水槽の 1 番大きな違いは、水槽の底にデトロイトと呼ばれるバクテリアの死骸があったかなかったかだ。デトロイトがなかった水槽 1 では、バクテリアの量が適切に保たれていたのだろう。

このことから、よりおいしいレタスを作るためには、水槽内のバクテリアの量を適切に保ち、「アンモニア→亜硝酸イオン→硝酸イオンの循環」が安定して保たれることが大切であると分かる。

2、生態系を複雑化させることでアクアポニックスの循環が安定すること第2期の実験で最も循環が安定していたのは水槽 1 である。水槽 1 の特徴として、いろいろな生物がいたことで、生体系が複雑になっていたことが挙げられる。

循環が安定していた理由は、生き物の種類が多いと、アンモニアの排出をする魚、分解するバクテリア、消費するレタスのバランスが崩れにくくなるからであると考えられる。

3、循環の安定は、レタスの味に良い影響を与えること

4、バクテリアの働きが水質に影響を与えること

- ・適量の硝酸イオンが含まれた、レタスにとってよい水。
- ・水が澄んでいて、藻などが発生しにくいメダカにとって良い水。

このシステムで作った野菜はやはり市販の野菜と比べると圧倒的に小さいことが分かる。それは、水槽の中の栄養が土壌栽培よりも少ないと考えられる。工場等で行われている水耕栽培は大きな水槽に多くの魚を入れ、pH なども調整している。

しかし我々は、アクアポニックスの実用化に向けて今後もこの大きさの水槽でより効率よく野菜を育てる方法を実験を通して模索していく。



・HOSOKURA System'について

この実験が終わった後、去年の結果も踏まえてよりよいシステムを作った。それは、HOSOKURA System の照射するライトを紫(赤+青)にした「HOSOKURA System'」である。去年の研究を通して、赤と青のライトがレタスの成長と味に良い影響を与えることが証明できていた為だ。また、赤の光と青の光の色の比はインターネットで調べた結果最も良いとわかった5:1とした。まだ実験途中だが、この結果もまた来年へとつなげていきたいと思う。

8、謝辞

実験に使用したレタスの苗は、谷野ファーム様にご提供いただきました。誠にありがとうございました。そして、味調査に参加し貴重な記録を下さった、保護者の方、生徒の皆さんにも感謝申し上げます。最後になりますが、これまでの実験を支え続けてくださったトップガンの先生方、本当にありがとうございました。たくさんの方々に支えていただいていることを忘れずに、これからも研究を続けていきたいです。

9、図表・画像

乾燥重量

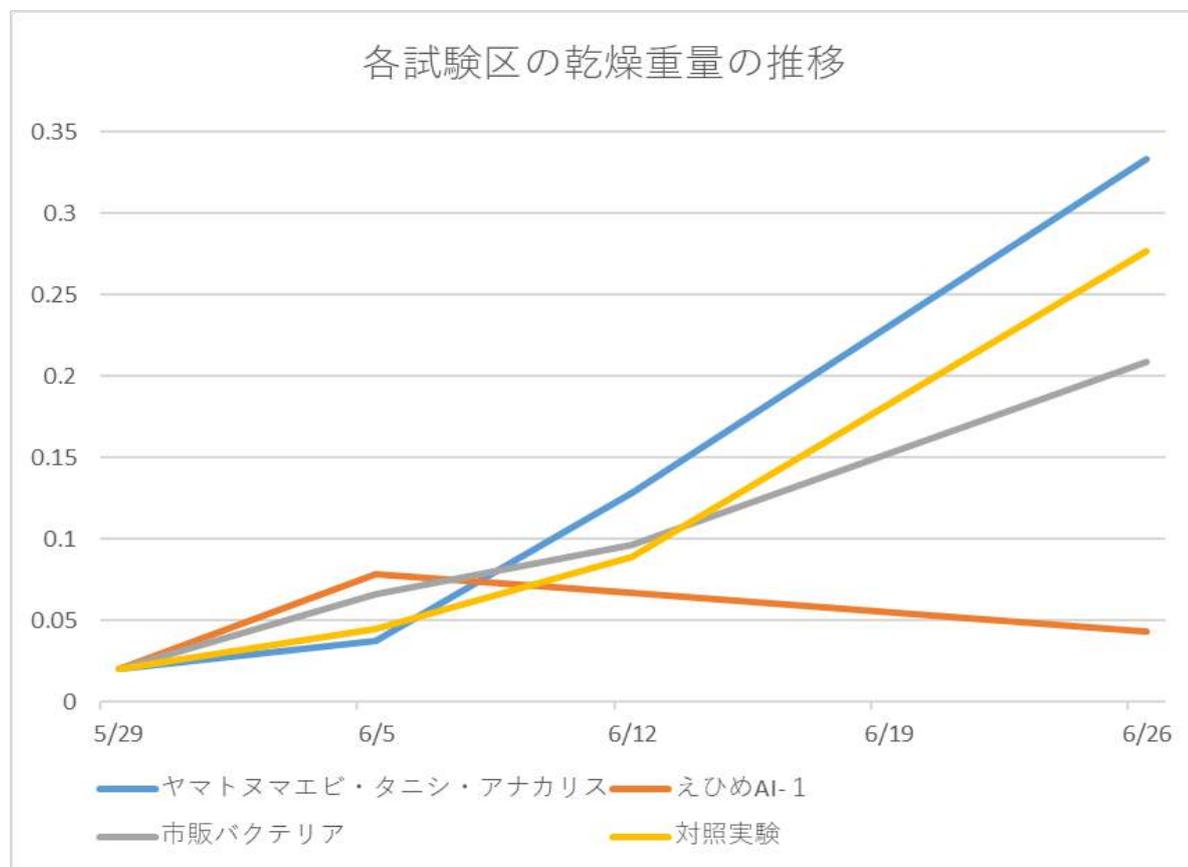
<表10> 第1期 全体のデータ

			1/9 (平均)	1月23日	2月20日	3月6日 (g)
水槽2	コンテナ1	根	0.001	0.007	0.006	0.424
		茎	0.000以下	0.006	0.007	0.033
		葉	0.0265	0.054	0.045	0.469
	コンテナ2	根	0.001	0.011	0.058	0.014
		茎	0.000以下	0.007	0.028	0.021
		葉	0.0265	0.077	0.369	0.188
水槽4	コンテナ1	根	0.001	0.001	0.014	0.01
		茎	0.000以下	0.006	0.091	0.003
		葉	0.0265	0.051	0.054	0.082
	コンテナ2	根	0.001	0.003	0.019	0.013
		茎	0.000以下	0.005	0.013	0.017
		葉	0.0265	0.049	0.096	0.11

<表11>第2期 全体のデータ

水槽	試験区名	部位	6月5日	6月12日	6月26日
1	ヤマトヌマエビ・ヒメタニシ・アナカリス	根	0.004	0.014	0.022
		茎	0	0.021	0.042
		葉	0.033	0.093	0.269
2	えひめAI-1	根	0.015	0.004	0
		茎	0.007	0.006	0
		葉	0.056	0.053	0.043
3	市販バクテリア	根	0.02	0.014	0.019
		茎	0.009	0.008	0.019
		葉	0.037	0.074	0.171
4	対照実験	根	0.007	0.011	0.02
		茎	0.004	0.011	0.035
		葉	0.034	0.067	0.222

(g)



<グラフ 2 1>各試験区の乾燥重量の推移

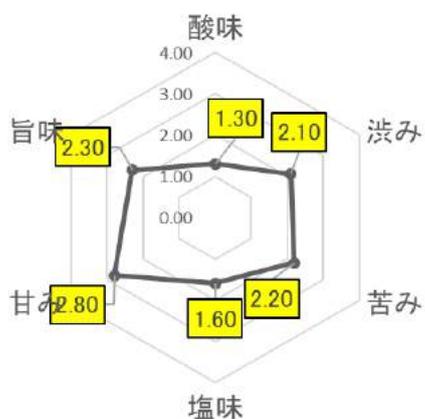
味調査

(1) レタスの味評価 2018年10月～2019年3月 ASUNARO System の実施

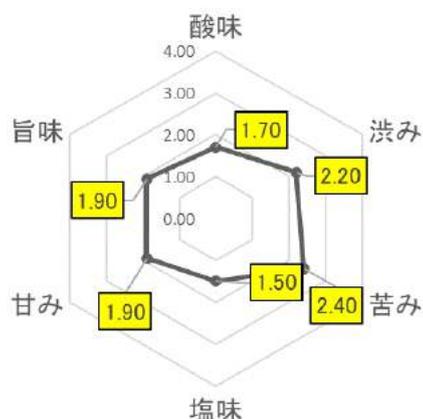
<グラフ22>

10代(中学1年～3年)10人															
水槽1								水槽2							
味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味	味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味
人数	4					2	1	人数	4						
	3	1	4	4		5	3		3	2	3	5	1	3	2
	2	1	3	4	6	2	4		2	3	6	4	3	3	5
	1	8	3	2	4	1	2		1	5	1	1	6	4	3
	平均評価	1.30	2.10	2.20	1.60	2.80	2.30		平均評価	1.70	2.20	2.40	1.50	1.90	1.90

白色LED(水槽1)



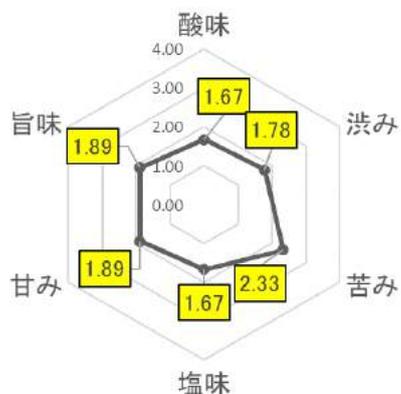
白色LED(水槽2)



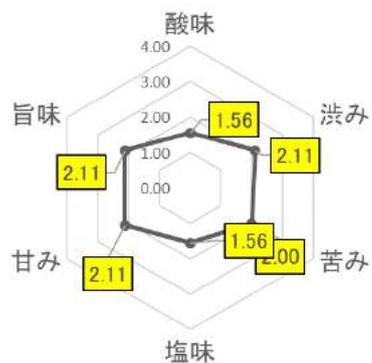
<グラフ23>

30代 1人 40代 7人 60代 1人															
水槽1								水槽2							
味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味	味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味
人数	4							人数	4			1			
	3	2	2	4	1	1	1		3	1	1	1	1	4	4
	2	2	3	4	4	6	6		2	3	8	4	3	2	2
	1	5	4	1	4	2	2		1	5		3	5	3	3
	平均評価	1.67	1.78	2.33	1.67	1.89	1.89		平均評価	1.56	2.11	2.00	1.56	2.11	2.11

白色LED(水槽1)

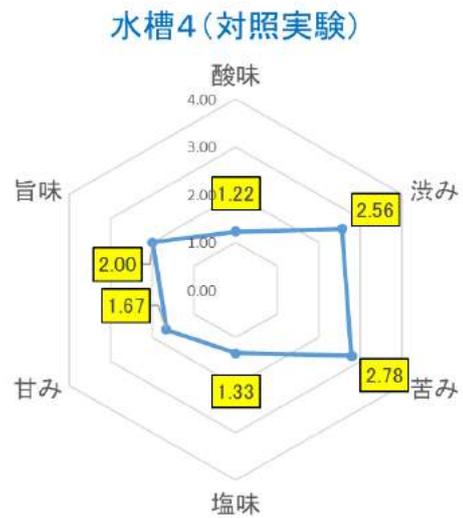
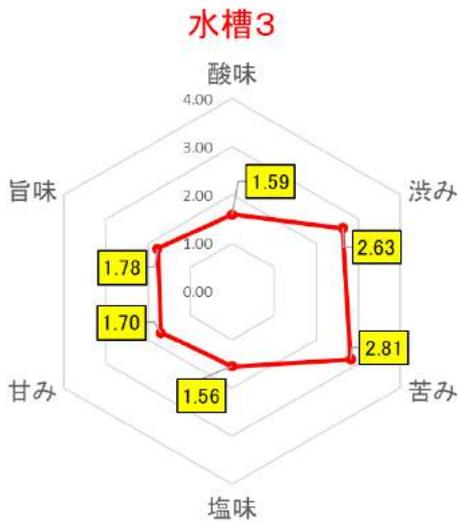
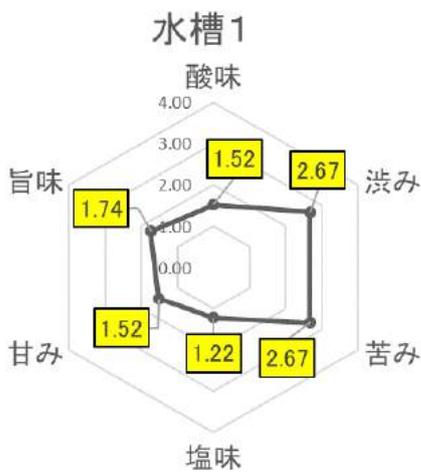


白色LED(水槽2)

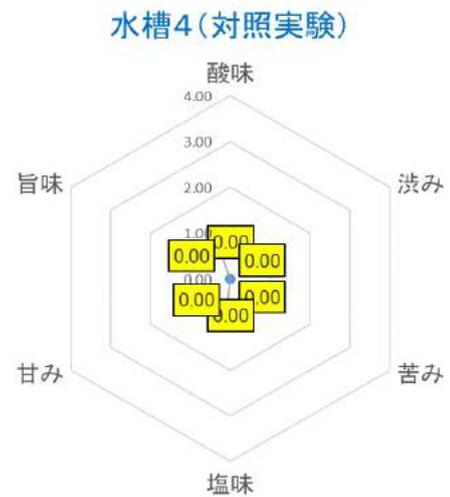
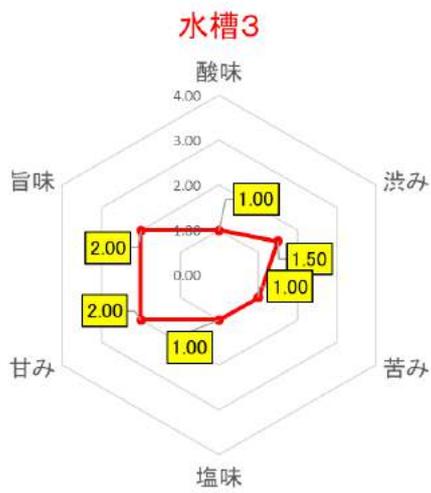
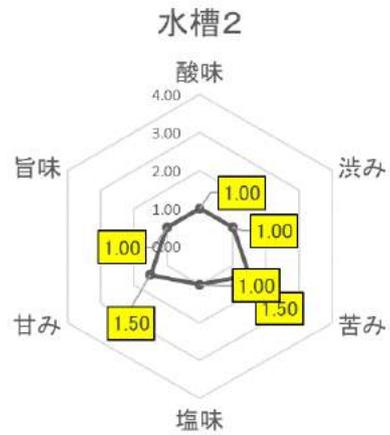
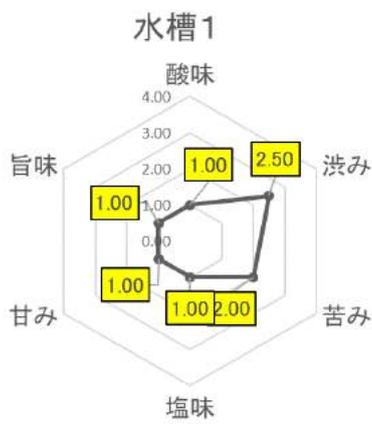


(2) レタスの味評価 2019年5月～2019年8月 ASUNARO System II の実施

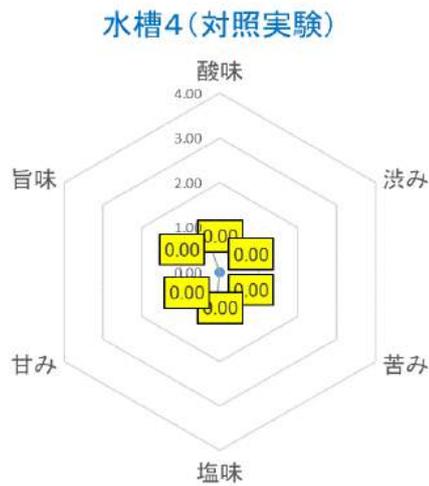
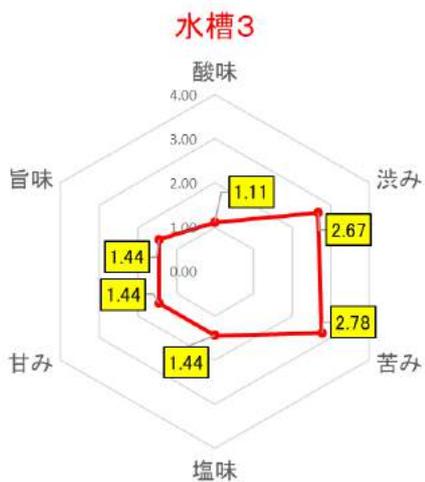
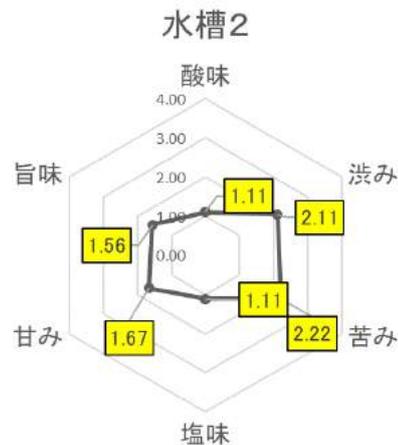
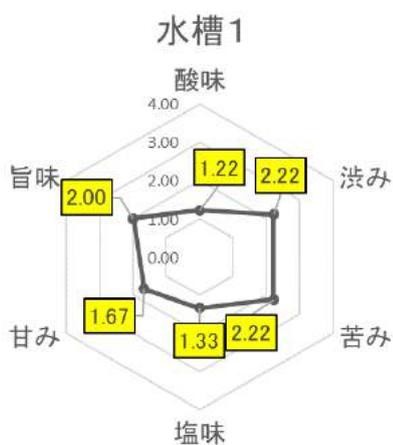
10代(中学1年～3年)27人															
水槽1								水槽2							
味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味	味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味
人数	4		4	7				人数	4	1	8	8			
	3	3	14	11		4	5		3	6	6	9	3	5	7
	2	8	5	2	6	8	10		2	8	6	5	10	10	11
	1	16	4	7	21	13	12		1	12	7	5	14	12	9
	平均評価	1.52	2.67	2.67	1.22	1.52	1.74		平均評価	1.85	2.56	2.74	1.59	1.74	1.93
水槽3								水槽4							
味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味	味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味
人数	4		5	5	1			人数	4		2	3			1
	3	4	10	13	2	3	4		3		2	2		1	1
	2	8	9	8	8	13	13		2	2	4	3	3	4	4
	1	15	3	1	16	11	10		1	7	1	1	6	4	3
	平均評価	1.59	2.63	2.81	1.56	1.70	1.78		平均評価	1.22	2.56	2.78	1.33	1.67	2.00



30代2人															
水槽1								水槽2							
味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味	味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味
人数	4							人数	4						
	3		1	1					3						
	2		1						2			1		1	
	1	2		1	2	2	2		1	2	2	1	2	1	2
平均評価	1.00		2.50	2.00	1.00	1.00	1.00	平均評価	1.00	1.00	1.50	1.00	1.00	1.50	1.00
水槽3								水槽4							
味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味	味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味
人数	4							人数	4						
	3					1	1		3						
	2			1					2						
	1	2		1	2	2	1		1	1					
平均評価	1.00		1.50	1.00	1.00	2.00	2.00	平均評価	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



40代9人															
水槽1								水槽2							
味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味	味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味
人数	4		1	1				人数	4		2	2		1	
	3		2	2	1	1	3		3		1	2			1
	2	2	4	4	1	4	3		2	1	2	1	1	3	3
	1	7	2	2	7	4	3		1	8	4	4	8	5	5
	平均評価	1.22	2.22	2.22	1.33	1.67	2.00		平均評価	1.11	2.11	2.22	1.11	1.67	1.56
水槽3								水槽4							
味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味	味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味
人数	4		1	2				人数	4						
	3		5	4	1				3						
	2	1	2	2	2	4	4		2						
	1	8	1	1	6	5	5		1						
	平均評価	1.11	2.67	2.78	1.44	1.44	1.44		平均評価	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



50代以上7人																
水槽1				水槽2												
味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味	味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味	
人数	4			1		1	3	人数	4		1	1				
	3	1	1	1	1	3	2		3	3	1	1	2	2	4	
	2	4	5	4	3	2	1		2	1	2	4	2	4	2	
	1	2	1	1	3	1	1		1	3	3	1	3	1	1	
	平均評価	1.86	2.00	2.29	1.71	2.57	3.00		平均評価	2.00	2.00	2.29	1.86	2.14	2.43	
水槽3				水槽4												
味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味	味項目	評価	酸味	渋み	苦み	塩味	甘み	旨味	
人数	4			1				人数	4					1	1	
	3	1	2	3	2	1	1		3							
	2	3	4	2	2	5	5		2			2	2	2	1	1
	1	3	1	1	3	1	1		1	2						
	平均評価	1.71	2.14	2.57	1.86	2.00	2.00		平均評価	1.00	2.00	2.00	2.00	3.00	3.00	

