



企画番号：19

企画タイトル：最強の焼き焼酎フローチャートの作成



No19. 最強の利き焼酎フローチャート作成 概要

・メンバー

Y200480 谷口 恵光 (リーダー)

Y200455 黒田 一成 (庶務)

Y200473 塩崎 龍太 (会計)

Y200473 瀬川 航平 (書記)

・活動目的

居酒屋で味や見た目の違いが全く分からなかった様々な焼酎の違いを、化学の力を使うことによって分析し、その分析方法をフローチャートにすることで、誰でも簡単に利き焼酎ができるようにする。

・調べた焼酎

・白岳 (米焼酎) ・黒霧島 (芋焼酎) ・二階堂 (麦焼酎) ・いいちこ (麦焼酎)

・キンミヤ焼酎 (穀物やサトウキビでできた焼酎) ・小鶴 ZERO (ノンアルコール芋焼酎)
アルコールを含むものはすべてアルコール度数 25 % である。

・活動内容

本企画で行った調査は主に三つである。一つ目は、各焼酎がアルコールを含む共沸混合物か否かを判断するための沸点測定を行った。結果としては、アルコールを含む焼酎は 65 °C 付近で初留が確認できたのに対して、ノンアルコール焼酎である小鶴 ZERO は 90 °C 付近で初留が確認された。この違いから、各焼酎からノンアルコール焼酎を見分けることができた。

二つ目は各焼酎の pH 測定である。麴はデンプンを分解してエタノールを作るが、その他にもクエン酸を作るため、焼酎によって pH が変わるのではないかという予想を元に実験を行った。結果としては、二階堂・いいちこ・白岳は pH 7.2 ~ 7.5 の中性であったのに対して、キンミヤ焼酎は pH 8.09 の弱塩基性、小鶴 ZERO と黒霧島は pH 3.7 ~ 4.6 という弱酸性の値を示した。この違いから、各焼酎から黒霧島・キンミヤ焼酎を見分けることができた。

三つ目は、各焼酎に含まれる微量成分を分析するための NMR 測定である。焼酎の味の違いや香りの違いは有機物 (芳香族や脂肪族など) にあると予想し、NMR で測定を行った。結果としては水のピークが大きく有効なデータが得られなかったため、この実験から確かめられることはなかった。

以上の結果を踏まえて現時点で書けるフローチャートを作製した。また、このフローチャートを完成させるために有効と思われる実験についても少し考察した。

報告書 最強の利き酒フローチャートの作成

以前居酒屋に行った際、芋焼酎と麦焼酎の違いが分からず悔しい思いをした。そこで、化学の知識を用いて各焼酎を分析することで、利き焼酎ができるのではないかと考えた。本企画では様々な分析法を用いて焼酎を分析し、最終的にその分析方法をフローチャート化して誰でも確実に利き焼酎ができるようになることを目的とし、活動を行った。

今回の企画では、以下のような焼酎を対象として利き焼酎を試みた。

キンミヤ焼酎 (アルコール 25%)
芋焼酎 黒霧島 (アルコール 25%)
米焼酎 白岳 しろ (アルコール 25%)
麦焼酎 いいちこシルエット (アルコール 25%)
麦焼酎 二階堂 (アルコール 25%)
ノンアルコール焼酎 小鶴 ZERO

このうちノンアルコール焼酎の小鶴 ZERO はアルコールを含まないため、沸点測定実験を行うことで他の焼酎とは異なる挙動を示すと予想した。(提案者 谷口恵光)
以下は、各焼酎に対して沸点測定を行った様子である。

沸点測定

実験日：7月11日、7月15日、7月19日

実験場所：HRC 棟 110

実験者名：谷口恵光、瀬川航平、黒田一成、塩崎龍太

目的

アルコールを含む焼酎については、水とアルコールの共沸が起こるのに対し、ノンアルコール焼酎では、共沸が起こらないと考えられる。この違いから、沸点の測定を行うことで温度上昇の様子を観察し、アルコールを含む焼酎とノンアルコール焼酎を区別することを目的とする。

実験器具

100 mL ナスフラスコ、10 mL メスシリンダー、パスツールピペット、ピペッター、ストップウォッチ、クランプ、スタンド、クランプ台、マントルヒーター、保温のための布、温度調節用スライダックス、クリップ付き導線、ジョイントクリップ、リービッヒ冷却管、ゴム管、分留塔、スチールウール、温度計、キムタオル、ゴム栓、冷却水循環装置、沸騰石、サンプル管

実験操作

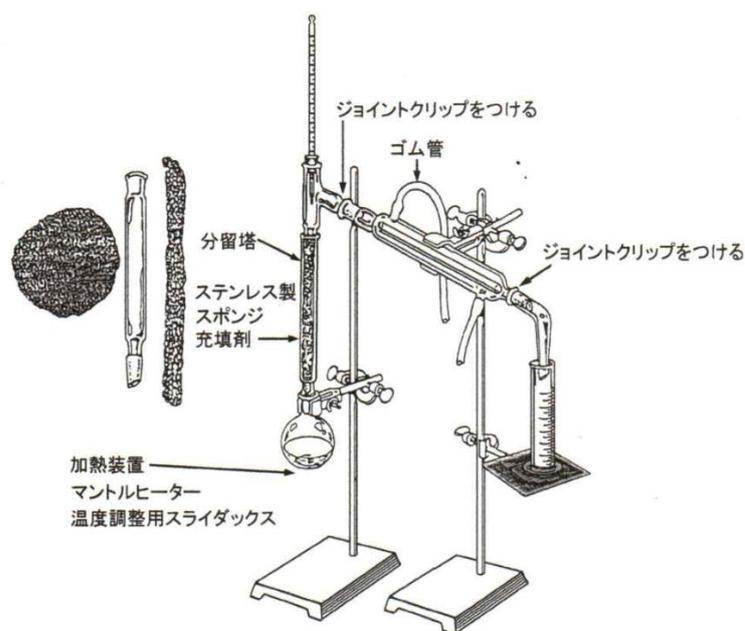


図-1 蒸留実験で用いた実験装置の概要,

最初に図1のような蒸留操作を組み立てた。10 ml メスシリンダーを使って 100 ml ナスフラスコに 20 ml のお酒と沸騰石 3 個入れ、マントルヒーターを約 80 V 付近まで加熱させお酒に入っているエタノールを沸騰させた。初留物が出てきた時間を 0 秒として、そのときの温度、時間を記録した。その後は留出液が 1 ml たまるごとに 10 ml メスシリンダーに温度、時間を測定した。90 °C 付近で安定した温度が 3 回測定された時点で終了した。実験操作後は、100 ml ナスフラスコに入った抽出物をサンプル瓶にいれ生成物名を記載して保管した。

結果

結果は以下のようになった。

表 1 白岳の沸点測定の結果 (マントルヒーター 80 V),

L(ml)	t(s)	T(°C)
初留	0	73.5
1	64	73.8
2	141	74
3	212	74.5
4	281	76.5
5	499	91.4
6	854	93.5
7	1045	93.8
8	1228	93.8
9	1410	93.8

表 2 小鶴 ZERO の沸点測定の結果 (マントルヒーター75 V),

L(ml)	t(s)	T(°C)
初留	0	90.5
1	519	92.4
2	1083	93.1
3	1459	93.1
4	1760	93.1
5	2084	93.1

表 3 キンミヤ焼酎の沸点測定の結果 (マントルヒーター75 V),

L(ml)	t(s)	T(°C)
初留	0	61.5
1	150	74.1
2	254	74.1
3	376	74.2
4	494	74.2

5	630	77.5
6	1275	93.4
7	1729	93.5
8	2245	93.5

表4 二階堂の沸点測定の結果 (マントルヒーター75 V),

L(ml)	t(s)	T(°C)
初留	0	74
1	65	74.7
2	163	74.8
3	259	74.9
4	361	74.9
5	460	76.5
6	712	93
7	1115	93.5
8	1337	93.5
9	1592	93.5

表5 いいちこシルエットの沸点測定の結果 (マントルヒーター75V),

L(ml)	t(s)	T(°C)
初留	0	74.1
1	141	76
2	263	76.2
3	386	76.2
4	512	76.4
5	766	85.9
6	1484	96
7	1982	96.1
8	2445	96.1

表6 黒霧島の沸点測定の結果 (マントルヒーター75 V),

L(ml)	t(s)	T(°C)
初留	0	56.1
1	122	75.9

2	287	76.1
3	448	76.1
4	584	76.9
5	734	77.2
6	1176	95.1
7	1677	96.1
8	2152	96.1

これらの結果をグラフ化したものが以下の図である。

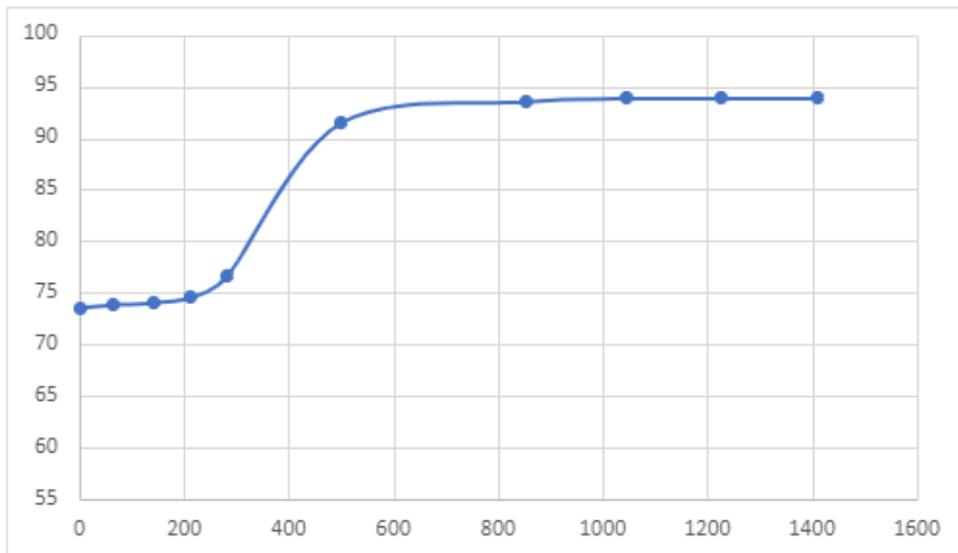


図-2 白岳の沸点測定結果のグラフ,

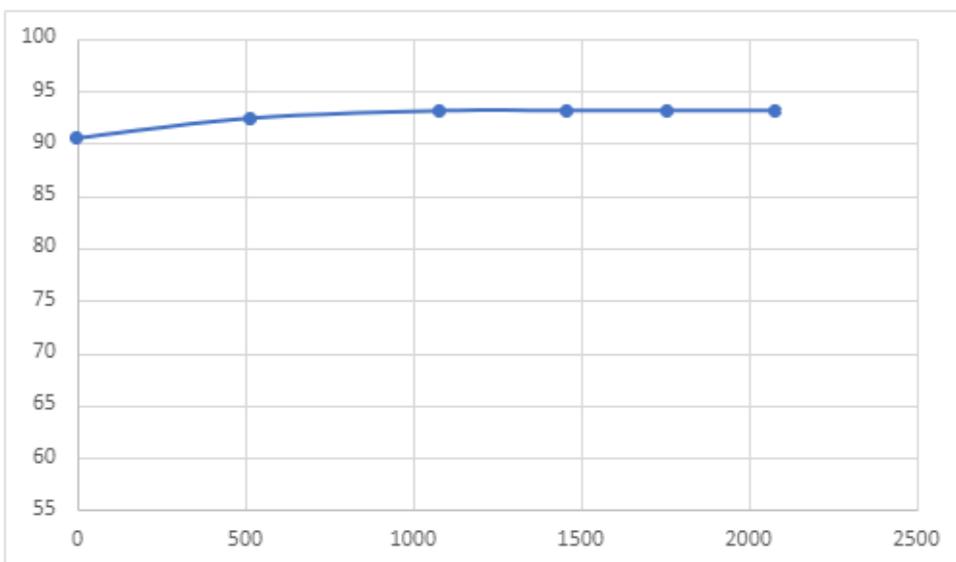


図-3 小鶴 ZERO の沸点測定結果のグラフ,

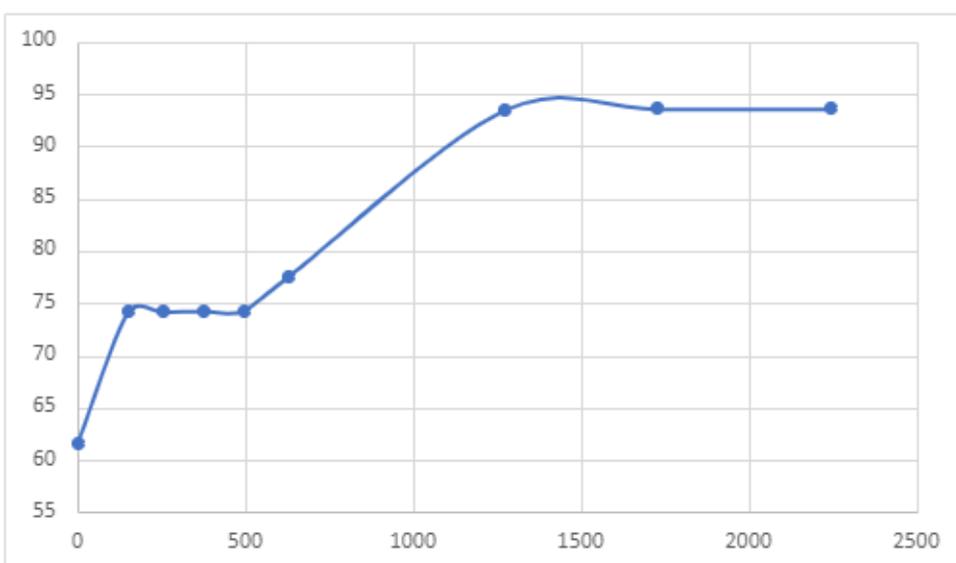


図-4 キンミヤ焼酎の沸点測定結果のグラフ,

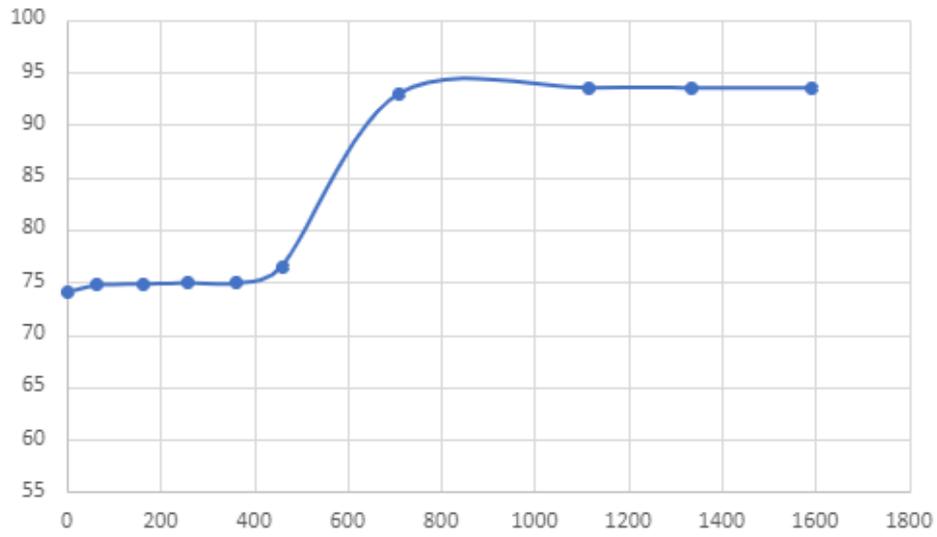


図-5 二階堂の沸点測定結果のグラフ,

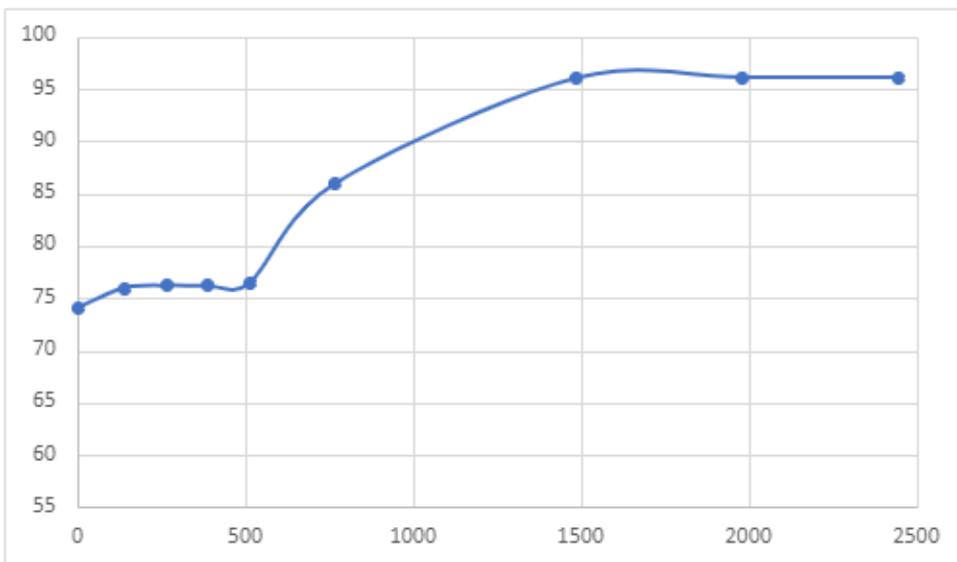


図-6 いいちこシルエットの沸点測定結果のグラフ,

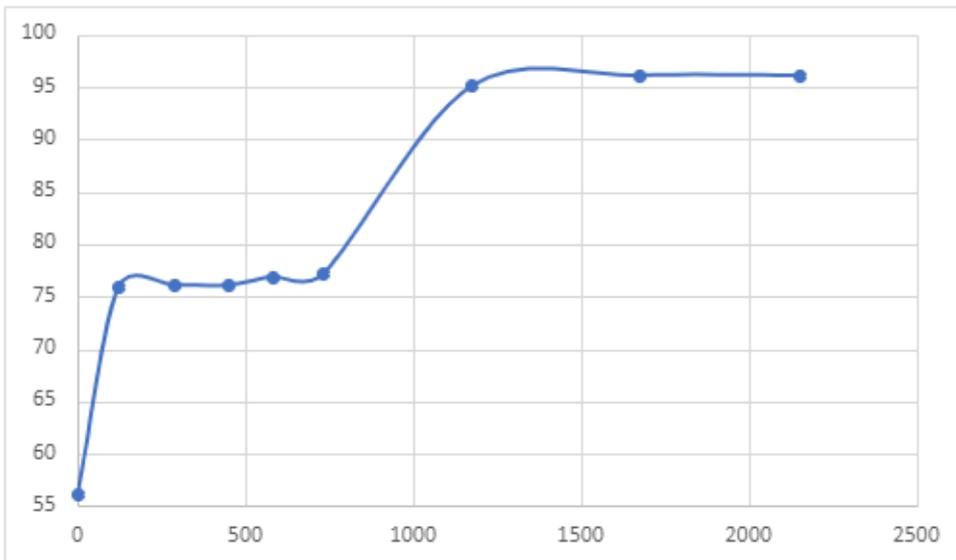


図-7 黒霧島の沸点測定結果のグラフ,

考察

実験結果からアルコールを含む焼酎は 70°C 付近で温度が安定、または徐々に上がり始める挙動が観測できたためアルコールと水の共沸が起きていることが確認できた。また、ノンアルコールは終始 90°C 付近で温度が安定している様子が観測できたため共沸が起きていることが確認できた。以上の結果からアルコール含む焼酎とノンアルコールの焼酎の沸点の違いから判別が可能であることが分かった。(考察者 谷口恵光、瀬川航平)

pH 測定

実験日：8 月 30 日

実験場所：HRC 棟 110

実験者名：瀬川航平、黒田一成、塩崎龍太

・目的

焼酎を製造する過程で使用される麹は、デンプンからエタノールだけでなくクエン酸も生成する。そのため麹の種類によってクエン酸の生成量が変わるため、もろみの pH が変化する。焼酎の製造の際に行われる蒸留によって酸は一部発揮するが、出来上がった焼酎の pH はおおよそもろみの時点での pH に左右される。そこで各焼酎の pH を調べることで各

焼酎に使われた麴の特性を分析し、各焼酎を区別する。(提案者 黒田一成)

・実験器具, 試薬

pH メーター、pH メーター校正用溶液(pH 6.86, pH 4.01)、蒸留水、パスツールピペット、ピペッター、キムワイブ

実験操作

① pH メーターの測定部に標準溶液を浸けて校正した。(pH 6.86 と pH 4.01 それぞれ)

② 各焼酎を少量とり、pH メーターの測定部全体がしっかりと浸かるように各焼酎を滴下し、各焼酎の pH を測定した。なお、1 回の測定が終わるごとに pH メーターの測定部を蒸留水で洗い、キムワイブで拭き取って測定対象の焼酎で共洗いしてから、次の pH 測定を行った。1 つの焼酎につき誤差が 0.02 となるようなデータが 3 個そろそろまで繰り返し測定を行った。

③ 測定結果を表にまとめ、各焼酎について 3 個の測定データの平均値を求めた。この平均値を本実験での焼酎の pH とし、得られた結果から考察する。

・結果

結果は以下の通りであった。

表 7 pH 測定の結果,

N 回目\名称	二階堂	いいちこ	キンミヤ	ノンアル	黒霧島	白岳
1	7.49	7.37	8.09	3.72	4.6	7.2
2	7.5	7.38	8.09	3.73	4.61	7.19
3	7.49	7.38	8.09	3.71	4.6	7.19
平均	7.493	7.377	8.09	3.72	4.603	7.193

二階堂、いいちこ、白岳の pH は中性である 7.2~7.5 であった。キンミヤ焼酎の pH は弱塩基性である 8.09 であった。黒霧島、ノンアルコール焼酎の pH はそれぞれ、弱酸性である 4.603, 3.72 であった。この結果から、焼酎は pH による判別が可能であることが分かった。

・考察

今回の実験では、芋焼酎が極端に低い pH の値、米焼酎や麦焼酎が中性に近い値、キンミヤ焼酎が弱塩基性になった。原因としては以下のような可能性が考えられる。

□米、麹菌、酒母、水を加えたものを発酵させてつくる「醪(もろみ)」が、酸性の度合いを強くしている。

これは、目的で予想した通り、醪の原料である麹菌が、クエン酸を生成し、pH を下げたと考えたためである。

□常圧蒸留、減圧蒸留とよばれる単蒸留式で作られる甲類焼酎、連続蒸留式で作られる乙類焼酎など、蒸留方法に違いがあるから。

初めに、芋焼酎である黒霧島と小鶴 zero は、常圧蒸留である横型蒸留機を採用し、素材の味そのものを活かした方法をとっており、この蒸留方法が原因で、pH が低くなっている可能性があるのではないかと考える。次に、米焼酎や麦焼酎は、減圧蒸留である縦型蒸留機を採用し、すっきりとした飲みやすさにするためにこの方法をとっており、この蒸留方法が原因で、pH が中性になっている可能性があるのではないかと考える。最後に、キンミヤ焼酎は、乙類焼酎で連続式の蒸留機を採用していることから、アルコールの純度を高め雑味や癖がないようにするためにこの方法をとっており、この蒸留方法が原因で、pH が弱アルカリ性になっている可能性があるのではないかと考える。また常圧蒸留と減圧蒸留になぜ違いが出るのかというと、常圧蒸留は 90-100℃ 付近の沸点で蒸留するので、蒸留しにくいクエン酸、香料、甘味料などが、エタノールと一緒に共沸し、pH が低くなるのではないかと考えられる。逆に、減圧蒸留は 40-50℃ 付近で、蒸留しにくい物質が取りにくく、純度の高いエタノールが取り出すことができるので pH が中性になるのではないかと考えられる。

□醪の影響で強くなった酸を取り除く役割をする除酸剤が関係している。

これは、酒税法施行規則第 2 条であげられている炭酸石灰、炭酸カリ、炭酸ソーダ、重炭酸ソーダ、アムモニヤなどが用いることができる。なので、いずれかの物質が用いられ、pH が中性または、弱アルカリ性など、低くなる可能性があるのではないかと考えられる。

焼酎は主にエタノールと水でできており、今回の分析で用いる焼酎は全てアルコール度数が一定のため、主成分から焼酎を区別することはこれ以上は困難と予想したため、焼酎に含まれる微量成分を分析することにした。

以下は、焼酎に含まれる微量成分を調べるために、NMR で焼酎を分析した時の様子である。

NMR 測定

実験日 : 8 月 30 日

実験場所 : 1 号館 2 階 NMR 室

実験者名 : 瀬川航平、黒田一成、塩崎龍太

・目的

焼酎に含まれる成分を分析することにより、化学シフトのピークの位置の違いから各焼酎に含まれる成分の違いを分析する。

・実験器具・試薬

サンプル瓶, 精密天秤, パスツールピペット, マイクロピペット, DMSO-d₆, NMR チューブ, NMR 装置, エバポレーター, キムワイプ, サンプルゲージ

・実験操作

①空のサンプル瓶を秤量した後、サンプル瓶にパスツールピペットを用いて焼酎 10 ml を秤量した。

また、液体での NMR 測定だけではなく、粉末状での NMR 測定も行うためにエバポレーターを用いて、いよいよこの沸点測定の際に得た溶液から水やエタノールを除くことで粉末を得た。

②焼酎の入ったサンプル瓶にマイクロピペットを用いて DMSO-d₆ 7 ml を加え、攪拌した後に NMR チューブに移した。

③NMR チューブおよびスピナーをキムワイプを用いて拭き、サンプルゲージを用いてサンプルをスピナーにセットした。

④サンプル定義を行い、核種を ¹H に設定し測定を行った。

焼酎を作るときに使う麴はデンプンを分解してエタノールを作るが、それと同時に周りを自分の生きやすい環境にするためにデンプンを分解してクエン酸を作る。この性質から、焼酎を作るときに使う麴の種類が変われば各焼酎の pH に違いが出るのではないかと考えた。(提案者 谷口恵光)

以下は、それを調べるために行った NMR 測定実験の様子である。



図-8 NMR 測定実験の様子,

・結果

各焼酎の NMR 測定結果を以下に示した。

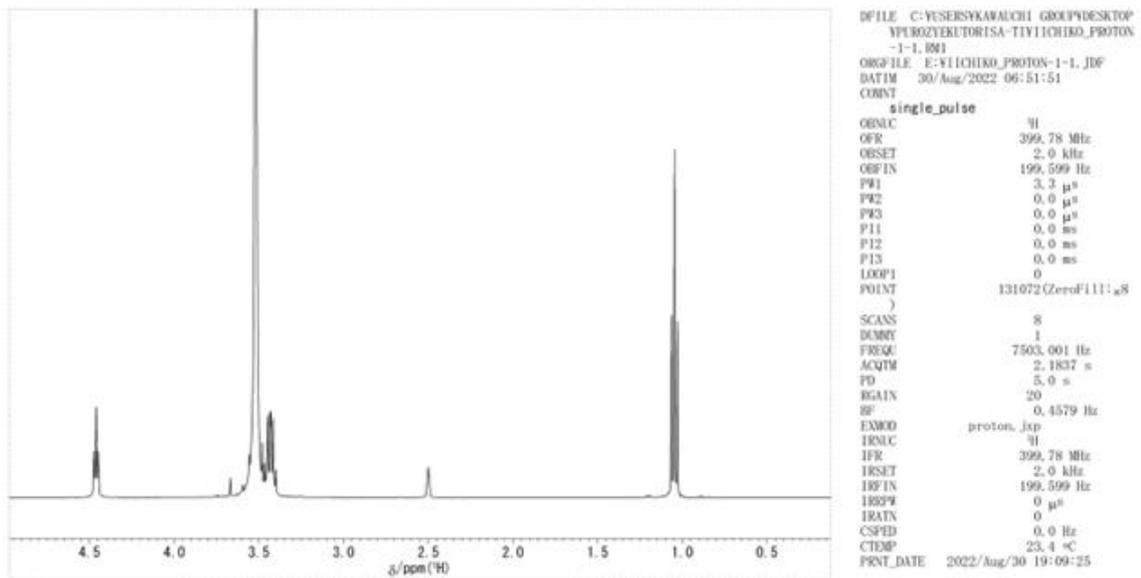


図-9 いいちこの測定結果,

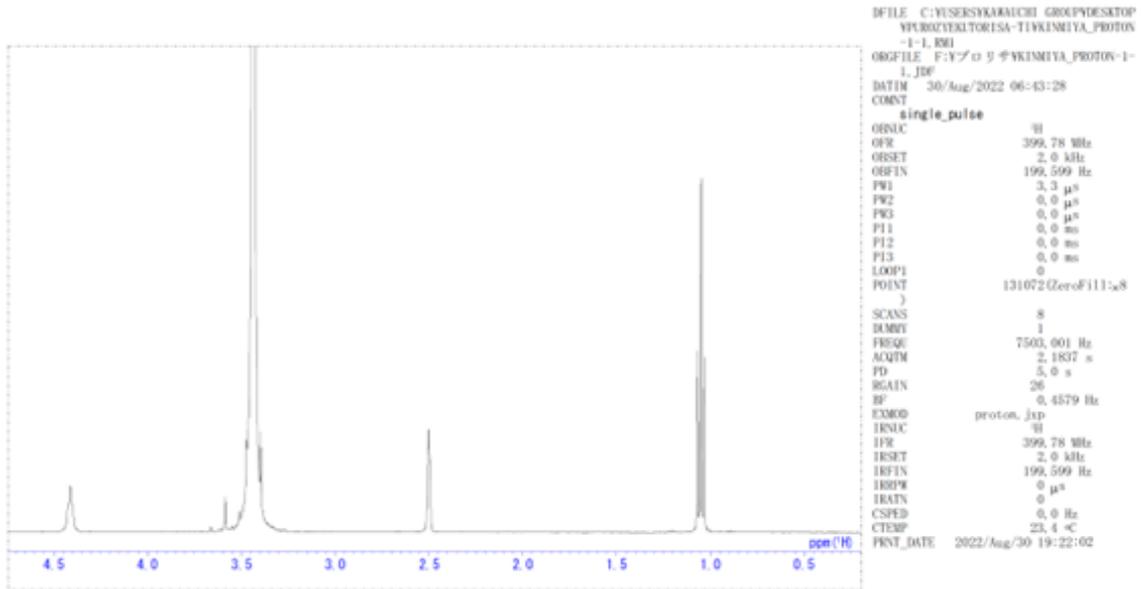


図-10 キンミヤの測定結果,

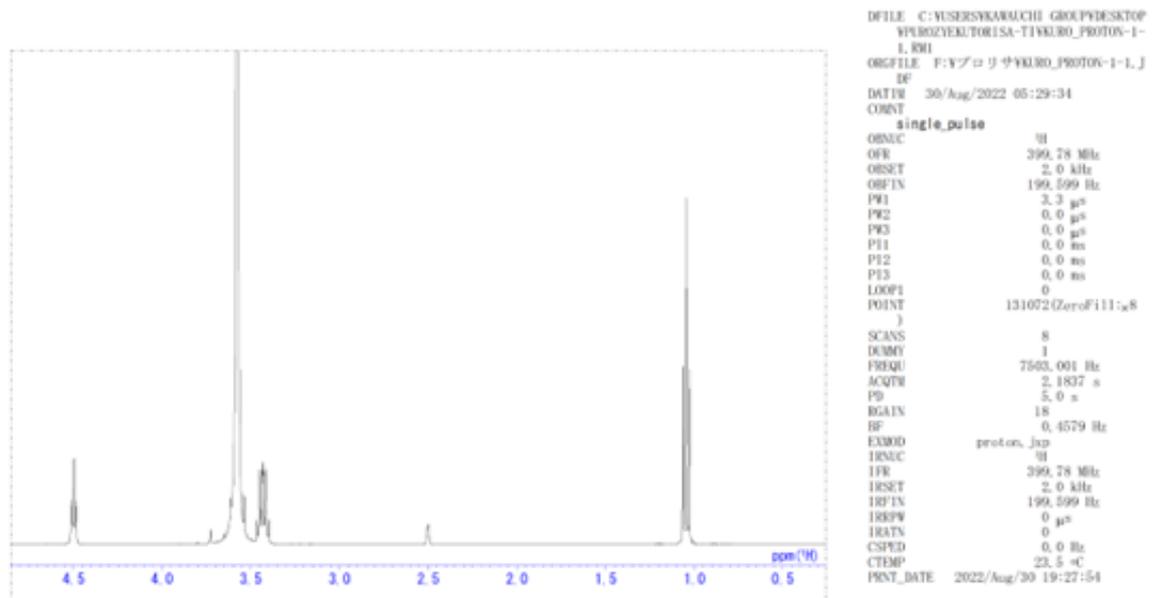


図-11 黒霧島の測定結果,

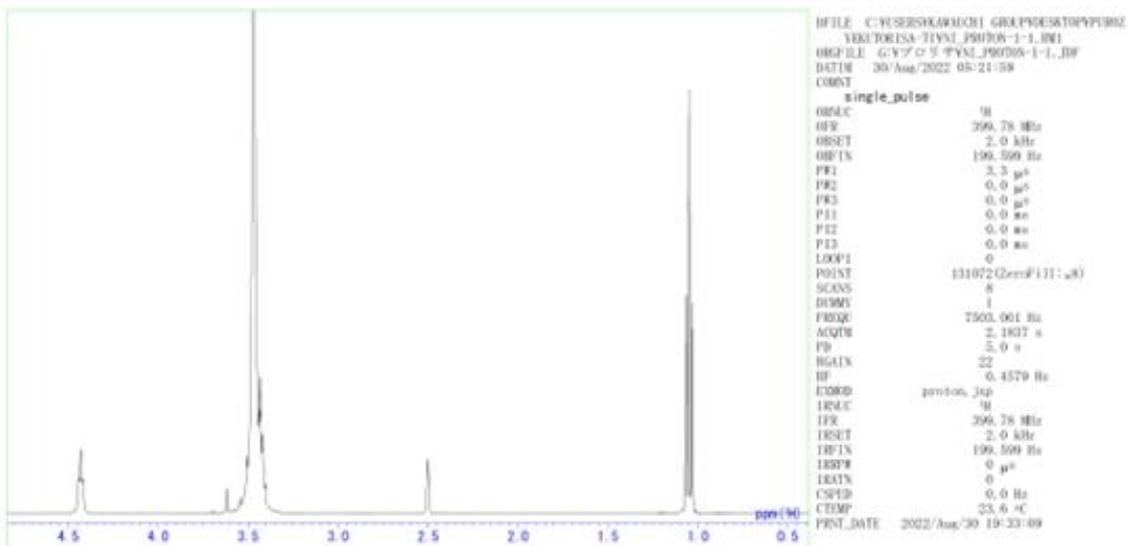


図-12 二階堂の測定結果,

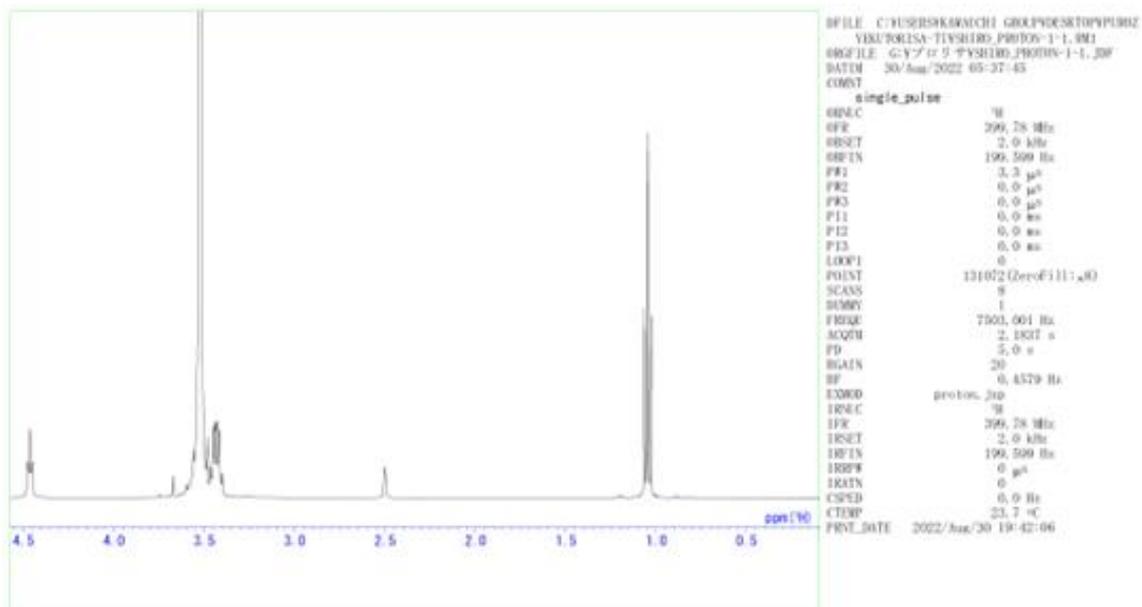


図-13 白岳 しろの測定結果,

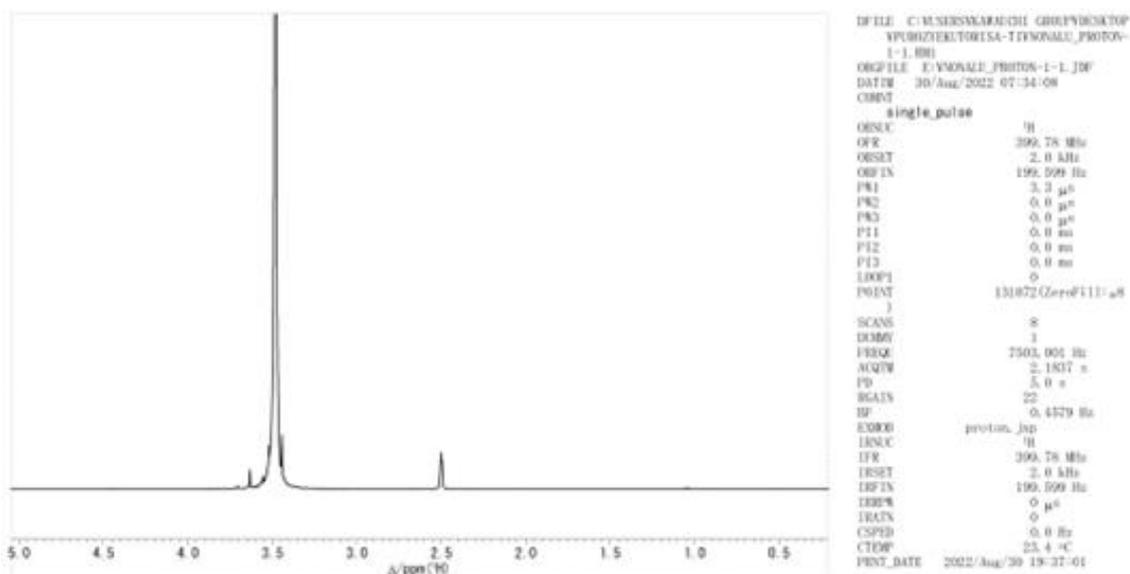


図-14 小鶴 ZERO の測定結果,

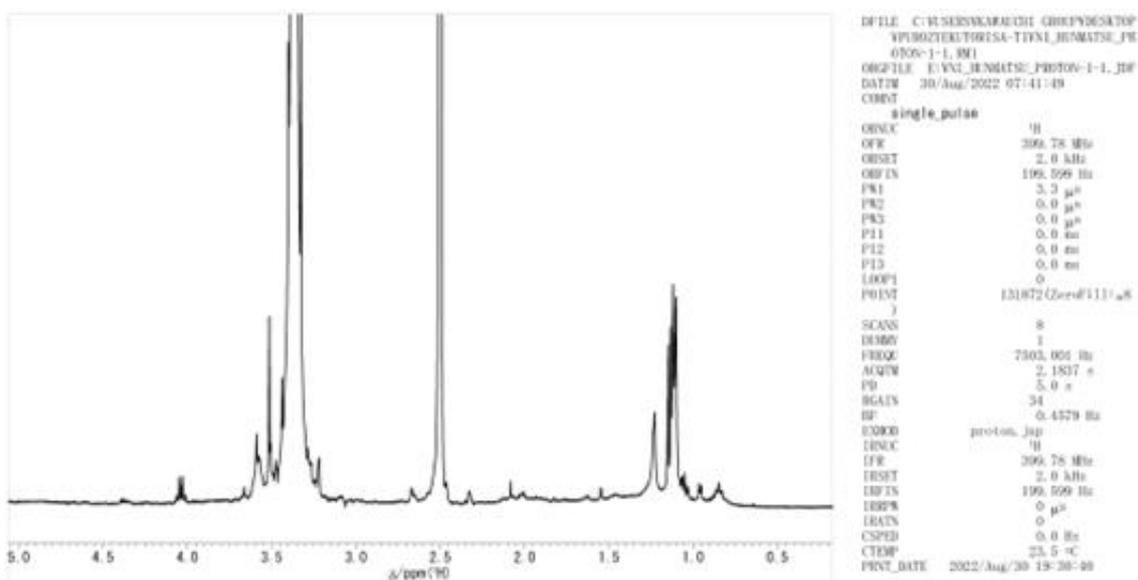


図-15 二階堂（粉末）の測定結果,

各焼酎の測定結果を重ね合わせ、違いが現れていた 1.2~1.8 ppm のピークを以下に示した。

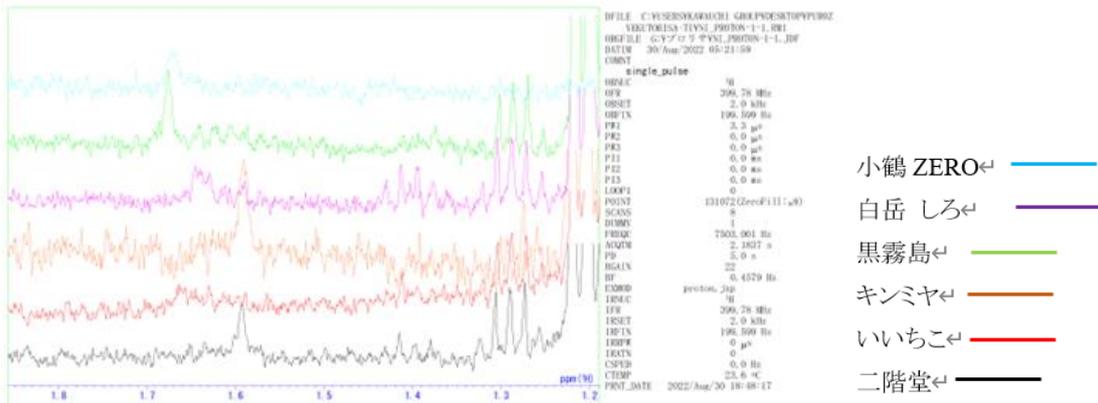


図-16 各焼酎の 1.2~1.8 ppm の測定結果,

・考察

今回の実験の結果において、出現した水とエタノールのピークが大きく、微量成分の分析が難しかったため精密な分析が困難であった。加えて NMR の分析の経験不足により、見えていないピークがあった可能性も考えられる。しかしながら、今回の分析結果にいくつかのピーク帯で多少の差異は認められたため、脂肪族や糖類の成分の違いから分析できる可能性がある。これらのことを考慮すると、今回の実験で用いた NMR の結果は様々な難点を含んでいるため、NMR による分析の際に試料の製造方法を工夫する必要があったと考えられる。結果として、水とエタノールのピークによって微量成分のピークがつぶれてしまった今回の NMR の分析では、あまり有意な結果が得られなかった。(考察者 塩崎龍太)

以上までの実験が、今回のプロジェクトリサーチで行った実験である。これを基に、以下のような利き焼酎のフローチャートを作製した。

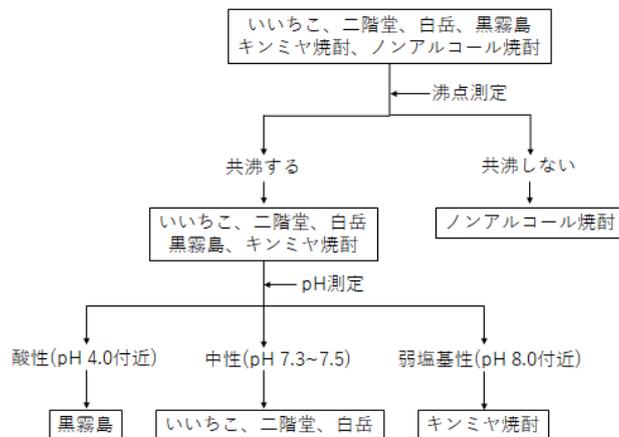


図-17 利き焼酎のフローチャート，

今回用意した焼酎の中でノンアルコール焼酎・黒霧島・キンミヤ焼酎については利き焼酎をすることに成功したが、いいちこ・二階堂・白岳に関しては利き酒を行うことができなかった。本当であれば利き酒できなかった3つの焼酎は、微量成分の違いからNMRで利き酒できることをのぞんでいた望んでいたが、技術不足や経験不足もありうまく分析できなかった。

残った焼酎を分析するためには、HPLC・GC・紫外可視光吸光度測定などを用いて分析できる可能性があるため、これ以降の実験はプロジェクトを来年以降に受け継いでくれるグループがいれば、そのグループに託そうと思う。(作成者 谷口恵光)

・感想

今までどの種類の焼酎も根本的な違いはほとんど無いと考えていたけれど、プロジェクトリサーチの活動において様々な実験を行ったことで様々な発見が得られた。特にpHの測定結果で測定対象の焼酎の間で酸性だったり、弱塩基性だったり大きな違いが出たものもあったため、色々な方向から見てみれば焼酎という分類は変わらなくても、種類によって性質が異なることを発見することができた。今回の活動では3種類の方法でしか実験できなかったが、今後多種多様な実験方法を学んで、色々な方法で分析して違いを見てみたいと思った。(塩崎 龍太)

プロジェクトリサーチを通して、種類によって味や同じ度数でも強さが異なる焼酎について化学的に分析することで、その違いを測定結果より視覚でわかるようになり、味覚では感じることのなかった違いまで発見することができた。

特に NMR 測定ではそのことが顕著に表れており、改めて化学を用いることの有能さを感じ、再び興味を持つきっかけになった。

また、今回は焼酎について化学的に分析を行ったが、同じような機会があれば他の飲料についても行ってみたいと感じた。(黒田 一成)

今回の利き焼酎を通して非常に痛感したことは、様々な分析機器を用いて調べ切れなかった焼酎の違いを「舌」というのは敏感に違いを感じ取ることのできる非常に優秀な分析装置であるということだった。私の舌はバカなので上手く利き焼酎をすることができなかったが、味の違いに敏感な人は今回用意した焼酎の違いを、匂いと味で簡単に見分けることができってしまう。昔の科学者は新しく生成した物質を一度舐めて味を確認し、情報を得ていたとも聞くので、そう考えると「舌」というものは分析において有用なのではないかと感じた。

また今回 NMR を用いて思ったことは、難しい分析方法を用いれば焼酎の違いが分かるわけではなく、ちゃんとした根拠を持って行った実験であれば例え簡単な実験であっても良い結果が得られるということであった。今回、沸点測定と pH 測定に関しては、それぞれ「アルコールが含まれるなら共沸が起こるはずだから」「麴の違いによってクエン酸の生成量が異なるはずだから」という予想を元に実験を立てていた。そのため、実験結果は非常に望ましいものが得られた。しかし NMR に関しては「微量成分が異なるはずだから」という非常に曖昧な理由で行き当たりばったりな計画を立ててしまっていた。もっと

具体的に、「エタノール以外のアルコール類の含有量の違いから」や「糖類や脂肪族の含

有量の違いから」など明確な分析対象を設定できていれば、NMR でも好ましい結果を得

ることができていたかもしれない。今回の経験は苦い経験ではあったが、卒業研究の前に経験することができて非常に良かった。

実験以外の話で言うと、リーダーという仕事の責任の重さを痛感した。実験で用いる機材の調達、日程の調整、実験計画の作成、メンバーへの仕事の割り振りなど考えることが多く、教授や大学院生など目上の人とも関わる機会が多かったので精神的に疲れることも

多かった。しかし、プロジェクトリサーチを無事に終えることができ、達成感も大きかった。今回のプロジェクトリサーチの経験は学ぶことが非常に多く、有意義な時間を過ごすことができたと思う。(谷口 恵光)

今回のプロジェクトリサーチを通して、お酒の蒸留の仕方や添加物によって味や性質が変わることを分析または、調査をして深く知ることができた。特に、霧島酒造や濱田酒造で用いられている優れた蒸留機が、大学で学ぶような複雑な構造になっていたことを知り、改めて、最新の化学を大学で学ぶことの重要性の良さを感じた。他にも、今回は時間の都合上、焼酎しか分析できなかったが、ビールやワインなど、違うお酒についても分析してみたいと感じた。(瀬川 航平)

・参考文献

[1]『新版・入門機器分析化学』 庄野利之・脇田久伸・栗崎 敏・田中 稔・中野裕美・

藤岡稔大・藤原 学・松下隆之・山口敏男・横山拓史 著, 三共出版株式会社 発行, 2015年11月20日 初版, P120~137

[2]『第9版マクマリー有機化学 中』 John McMURRY 著, 伊藤 椒・児玉三明 訳, 株式会社 東京化学同人 出版, 2017年2月10日 初版, P605~656

[3]「芋焼酎の発酵および酒質に及ぼす二次醜 pH の影響」高峯和則・小島舞・奥津果優・二神泰基・玉置尚徳・吉崎由美子,

<https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2030922477.pdf> (2022年10月20日 確認)

[4]「旧式焼酎の pH と緩衝基について」加藤百一, 島田豊明, 萱島昭二

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jbrewsocjapan1915/53/1/53_1_85/_pdf/-char/ja (2022年10月20日 確認)

[5]「本格焼酎ができるまで」霧島酒造 ,

<https://www.kirishima.co.jp/knowledge/technology/> (2022年10月20日 確認)

[6]伝兵衛蔵だより「単式蒸留」の際の二つの蒸留方式の違いについて

濱田酒造 https://www.hamadasyuzou.co.jp/denbee/column/post_31.html (2022年10月20日 確認)

[7]「酒類の添加物について」岩崎 亨

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jbrewsocjapan1915/57/4/57_4_268/_pdf/-char/ja (2022年10月20日 確認)