

味覚メディアのための味物質ワンソース発酵

宮下 芳明^{†1}

概要：これまでの味覚メディアは、外部から調達した味物質を混合して任意の味を生成してきた。本稿では、持続可能性や閉鎖環境での食を考慮し、味物質そのものを育てる「ワンソース発酵」の概念を提案する。ひよこ豆を主素材とし、糖化・乳酸発酵・蛋白質分解・焙煎によって複数の味溶液を生成した。本稿では、それぞれの味強度がかなり強い甘味液、酸味液、旨味液、苦味液を得ることができた。これらと塩を混合することで、梅干し、コーヒゼリー、甘酒、味噌汁に類似する味印象が得られた。

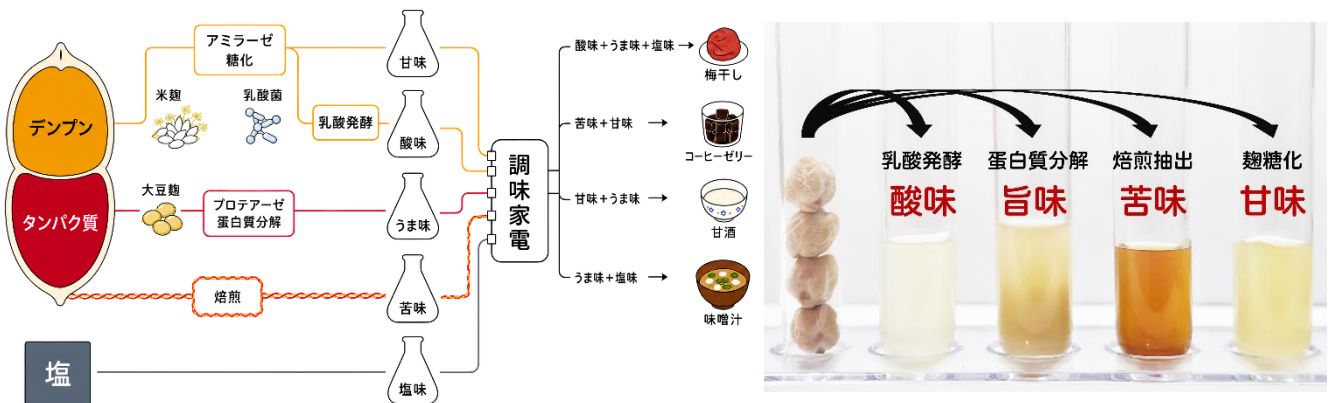


図 1 提案ビジョンおよび、ひよこ豆から実際に試作した酸味・旨味・苦味・甘味液。

1. 簡単な説明

アンディ・ウィアーの SF 小説『火星の人 (The Martian)』では、火星に一人取り残された宇宙飛行士が、ジャガイモを栽培してそれだけで数百日も生き延びるが、調味のバリエーションを生み出すことができず、医薬品をかけるシーンがある。味というエンタテインメントがそれだけ重要であることを示唆しているわけだが、本稿は、このように極限的な環境でも味物質を育てられないかを発想した。

まず、どのようなビジョン (図 1) を本稿で提案しているかを、高校生程度の知識でわかるように説明する。

光合成によって、光、二酸化炭素、水を植物に与えてデンプンを得ることができる。コウジカビが出す酵素、アミラーゼは、デンプンを分解して糖にする。この糖は「甘味」を呈する物質として使用可能である。

乳酸菌は、さらにこの糖を分解して乳酸を作り出す。乳酸は、「酸味」を呈する。つまり甘味液を作ったあと、それに乳酸菌を加えて酸味液に変えられる。

コウジカビが出す別の酵素、プロテアーゼは、蛋白質のペプチド結合を切断してアミノ酸を生み出す。このグルタミン酸などのアミノ酸は「旨味」を呈する物質である。

なおコウジカビは、株によってアミラーゼとプロテアーゼの酵素を出す比率が異なるので、使い分ければ甘味と旨味の割合を変えられる。本稿では米麹 (甘酒などで使われ

る) を用いて甘味液を作り、大豆麹 (味噌などで使われる) を用いて旨味液を試作している。

ここで、対象とする植物をひよこ豆にする。ひよこ豆にはデンプンと蛋白質が両方含まれているため、これを原料にすれば「甘味」「酸味」「旨味」を作り出せる。また、ひよこ豆は、コウジカビや乳酸菌を増やすための餌にもなる。

さらに、ひよこ豆を強く加熱 (焙煎) すれば、デンプンと蛋白質がそれぞれカラメル化、メイラード反応によって褐変し、「苦味」を呈する。コーヒ豆の焙煎と同じである。

つまり、ここまでの原理で、ひよこ豆があればそれによってコウジカビと乳酸菌も育ち、それらの作用によって「甘味」「酸味」「旨味」を作り出せ、豆を焙煎して「苦味」も得られるということである。

ひよこ豆の栽培も難しくなく、乾燥・冷涼な気候でも育ち、百日前後で収穫できる。1 つの苗から 50~100 粒前後を回収できるので、増やすこともでき、毎日種をまいて毎日収穫するようなことをすれば継続的に供給できる。

残念ながら、「塩味」を呈するにはナトリウムなどのミネラルが必要なため、このように「育てる」ことができない。だが、人間の一生分に相当する塩分量を試算したところ、一辺 47cm の立方体サイズの岩塩がひとつあれば足りるため、備蓄可能であると想定する。そうすれば、原理上、これで基本五味を揃えることができ、それらを調合する味覚メディアによって多様な味を生み出せるというわけである。

^{†1} 明治大学
Meiji University.

2. はじめに

味覚メディアは[1], 味を記録・編集・再生可能な情報として扱う。TTTV (Taste the TV) シリーズ[2-6]では、塩味、甘味、酸味、旨味、苦味などの溶液をタンクに保持し、配合比を制御することで、飲食物の味を表現したり、飲食物の味を変化させたりできる。近年は、さらに味・香り・栄養・食感を横断した研究に発展している[7-11]。そして、この際に用いる味物質や香料、増粘剤、栄養に至るまで、空気、水、光、微生物などから生成する「究極の調味家電」構想を本稿著者は提案した [12]。

現在の味覚メディアは、プリンターとインクのように、混合する味物質を外部から補充することを前提としている。この前提は、通常の家庭利用では合理的であるが、物流が制限される閉鎖環境、災害時の長期自立、遠隔地、宇宙居住、あるいは循環型の食料生産を考えるとボトルネックになる。味のデータがあっても、それを物質として再生するカートリッジが枯渇すれば、味覚メディアは機能しない。

そこで本稿では、単一の栽培素材を出発点として、複数の味覚出力を枝分かれさせる「ワンソース発酵」を提案する。本稿ではひよこ豆を主基質として甘味・酸味・旨味・苦味の四つの出力を試作し、外部備蓄を想定した塩味を加えて出力と混合し、既知の食品に似た味印象が生じるかを探った。

3. 試作実験

試作実験の単一の栽培素材として、ひよこ豆を選択した。ひよこ豆は種子にデンプン質と蛋白質を併せ持ち、乾燥状態で保存しやすい [13]。デンプンを麹酵素で糖化すれば甘味を、糖化液を乳酸菌で発酵すれば酸味を、蛋白質をプロテアーゼで分解すればアミノ酸由来の旨味を得られる。さらに、豆そのものを焙煎すれば、苦味を生成できる。ひよこ豆粉の乳酸発酵については、選択した乳酸菌を用いた 24 時間発酵で pH 4 前後まで酸性化した報告がある[14]。

甘味液の作成には米麹を用いた。目的がデンプンの糖化であり、甘酒に近い温度帯と工程を家庭用機器で再現しやすいためである。一方、旨味枝には大豆麹を用いた。ひよこ豆の蛋白質の分解へ割り当てるためである。麹菌と総称される微生物であっても、種・株などによってアミラーゼ、プロテアーゼ、ペプチダーゼ等の分泌量と活性比は変化することが報告されている [15]-[17]。

ナトリウムと塩素は元素であり、糖や有機酸のように発酵によって無から生成できない。このため、本稿では塩味をワンソース発酵の生成物に含めず、外部から備蓄するミネラル入力として扱う。この前提で、塩化ナトリウムの必要量を物理的に保有できるかを概算した。厚生労働省の「日本人の食事摂取基準 (2025 年版)」における 18 歳以上男性の食塩相当量の目標量 7.5 g/日未満 [18] を、上限まで 80

年間毎日使用するという仮定を置くと、総質量 M は $7.5 \times 365.25 \times 80 \div 1000 = 219.15 \text{ kg}$ となる。NaCl 結晶の密度を 2.165 kg/L とすれば、体積 V は 101.22 L 、これを空隙のない立方体にした一辺は約 46.6 cm となる。

なお、今回の試作では米麹、大豆麹、乳酸菌を外部入力しているがこれらはひよこ豆を餌として育てられる想定で行っている。ただし、麹を添加する際に、付着した米や大豆要素が入ってしまうことが大きな制約である。

3.1 実験手順

ひよこ豆を主基質として、苦味、甘味、酸味、旨味の 4 液を個別に試作した。各条件は 1 回のみ実施し、独立反復は設けなかった。材料は市販のひよこ豆、米麹、大豆麹、乳酸菌種菌を用いた。発酵温度の保持には、温度と時間を設定して一定温度を維持できる家庭用発酵器であるヨーグルティア S (タニカ電器) を使用した。

3.1.1 苦味液

乾燥ひよこ豆 30 g を 200°C で 20 分焙煎 (図 2) し、コーヒールで粗挽きにした。粉碎物をお茶パックに入れ、約 100 mL の水に浸して 24 時間水出しした。抽出液を濾過し、乾燥・濃縮した最終試料を得た。



図 2 焙煎したひよこ豆。

3.1.2 甘味液

水煮ひよこ豆 100 g に水 220 g を加え、ブレンダーで均一化した。 90°C 前後で 10 分加熱し、 58°C まで冷却した後、米麹 40 g を加えた。ヨーグルティア S を用いて 58°C で 10 時間保持し、糖化した。みそこしおよびメッシュで固形分を濾しながら煮詰めた。

3.1.3 酸味液

甘味液と同じ条件で糖化液を作り、このうち 300 g を 85°C で 5 分加熱し、 40°C まで冷却した。市販の乳酸菌スターター (種菌) PLANTA を 2 包加えてよく混合し、 40°C で 24 時間発酵させた。異臭がなく、pH 4.2 以下となることを工程終了の目安とし、本試作では pH 3.51 で終了した。



図 3 pH 3.51 となった酸味液。

3.1.4 旨味液

ひよこ豆を鍋で加熱し、豆 287 g, 煮汁 184 g, 追加水 100 g, 大豆麴 200 g を混合した。48℃で 18 時間保持したところ、表面に白色の菌糸状物が生じた。上部をすべて除去し、残部を 85℃で 5 分加熱し、2 倍に希釈して茶こしで粗濾過し濃縮した。



図 4 大豆麴による菌糸状物。

4. 測定

L-グルタミン酸は、LED 比色計を用いる L-グルタミン酸簡易測定セット「うまミエール」(エンザイム・センサ)で測定した。Brix はデジタル屈折計 HI96801 (HANNA) で測定した。塩分は高精度デジタル塩分計 SO-304 WH (タニタ)で測定した。pH は食品用 pH 計 (Slyfox)で測定した。また、著者 1 名がそれぞれの溶液を個別に試食した。さらに、各味液を、少量ずつ任意の組み合わせで混合して試食し、想起された食品名を記録した。



図 5 L-グルタミン酸簡易測定セット「うまミエール」。

4.1 結果

苦味液は Brix 0.0, L-グルタミン酸測定値 14 mg/L であり、4 出力の中で糖とグルタミン酸が最も低かった。甘味液は Brix 37.1 で最も高くシロップ状になった。甘味液は同時に L-グルタミン酸測定値も 2120 mg/L を示した。酸味液は pH 3.51 で、他の三出力 (pH 5.68-6.11) から明確に低下した。旨味液は L-グルタミン酸測定値 2880 mg/L で最大であり、Brix は 9.0 で、甘味液 より低かった。塩分計表示値はすべて 0.1%であった。

表 1 最終試料の簡易測定値。

溶液	L-グルタミン酸 測定値 (mg/L)	Brix 指示値	塩分計 表示値 (%)	pH
苦味	14	0.0	0.1	6.11
甘味	2120	37.1	0.1	5.86
酸味	1200	14.0	0.1	3.51
旨味	2880	9.0	0.1	5.68

苦味液を作成する工程では、デンプンや蛋白質は高分子のまま水へ移行しにくく、抽出されるのは主に苦味成分、焙煎由来の褐変成分、および香気成分と考えられる。これらは屈折計にもグルタミン酸測定法にもほとんど寄与しない。すなわち苦味液は、糖とアミノ酸をほとんど含まない苦味・香ばしさ特化型の出力であり、濃縮しても Brix が上がらないことは、他の三液との分離を裏づけている。また、pH が明確に低下したのは乳酸発酵を行った酸味液のみであり、他の溶液は弱酸性域にとどまった。なお、糖化を狙った甘味が同時に 2120 mg/L の L-グルタミン酸測定値を示した理由についての考察は後述する。

4.2 味・香り・外観

苦味液を嗅いだところ、濃いほうじ茶、黒豆茶、コーヒーを想起させる香りを示した。香ばしさは明確であった。試食したところ、たしかに苦いが、苦味出力としてはさらに焙煎を強くする余地があると感じられた。

甘味液は、シロップ状で豆由来の雑味がほとんど感じられず単独でも好ましい甘味が感じられた。

酸味液は、レモン果汁に似た強度の爽やかな酸味を示したが、わずかな発酵臭が残った。乳酸試薬 (食品添加物規格品) と比較したところ、酸味の大部分が乳酸に由来するように感じられた。

旨味液は相分離しており、上澄みと沈殿部で印象が異なった。当研究室にあるアミノ酸の試薬 (全て食品添加物規格品)、アラニン、グルタミン酸、グルタミン酸ナトリウム、アスパラギン酸、アルギニンなどと味を比較して上澄みはグルタミン酸試薬に類似する直接的な旨味を示した。また、沈殿部は味噌または甘酒を想起させる味と質感を示した。

4.3 混合と試食

各味液および外部備蓄した塩味溶液を探索的に混合したところ、酸味液に旨味液と塩味液を加えた組み合わせでは、強い酸味、塩味、旨味によって「梅干し」を想起させる印象が得られた。苦味液と甘味液の組み合わせでは、苦味液の焙煎香と苦味に甘味液のシロップ状の甘味が重なり、「コーヒーゼリー」様の印象となった。甘味液と旨味液の組み合わせでは、糖化由来の甘味と麴・豆由来の複合的な発酵感が結びつき、「甘酒」を想起させた。旨味液に塩味を加えた組み合わせでは、アミノ酸系の旨味と塩味に、旨味液の沈殿部がもつ味噌様の印象が加わり、「味噌汁」の印象が得られた。

5. 考察

本試作では、四枝の処理に対応した方向へ測定値が分かれた。焙煎・水出しした苦味液は Brix と L-グルタミン酸がほぼ検出下限側にあり、糖化した甘味液は Brix が最大、乳酸発酵した酸味液は pH が最小、蛋白質分解を狙った旨味は L-グルタミン酸測定値が最大となった。同じ主素材を、処理条件によって異なる味軸へ偏らせる、ということには十分成功したと考えている。

ただ同時に、各出力は純粋ではない。甘味液は高い Brix とともに 2120 mg/L の L-グルタミン酸測定値を持ち、酸味液にも 1200 mg/L が残った。これは本方式の性格を表しているといえる。

甘味液と旨味液の L-グルタミン酸測定値が高かった理由は、本実験だけでは特定できない。ひよこ豆蛋白質の分解によって遊離した可能性、米麴・大豆麴が元から持つ遊離アミノ酸または蛋白質が寄与した可能性、濃縮により値が上がった可能性がある。特に旨味液では大豆麴自体に含まれている可能性は否定できない。また、うまミエールは食品中の L-グルタミン酸を簡便に測れる一方、試料中の還元性物質等によって測定できない場合があるとされる。

本試作では、200℃の焙煎、長時間の保温、加熱濃縮、乾燥はかなりのエネルギーを消費している。器具洗浄も含めると多くの水も用いている。そういった点で持続可能性に寄与できているかどうかは未検討である。

香りは副次的な観察にとどめたが、苦味液ではほうじ茶・黒豆茶・コーヒーに似た焙煎香が生じ、酸味液ではわずかな発酵臭が残った。発酵臭を除くことも、熟成香として活かすことも今後、利用できるかを考えていく。

食感については、甘味液のシロップ状粘度、旨味液の沈殿部が示した味噌・甘酒様のペースト感、ひよこ豆煮汁（アクアファバ）の泡立ちが候補となるかもしれない。上澄みと沈殿を分画して分ければ、単一主素材から味とレオロジーを同時に編集できる可能性がある。このような食感表現については前例[19][20][21]およびデザインシステム[22]も存在するため応用を考えたい。

なお、4種類の味覚液をシャーレ上で乾燥させたところ、いずれも粉末にはならず、粘着性のある膜状・ペースト状の残留物となった。糖や有機酸は乾燥時に必ずしも結晶化せず、飴状の非晶質膜を形成する。残留水分や空気中の水分を吸収すると軟化するため、さらさらした粉ではなく、ぬちゃぬちゃした質感になったと考えられる。旨味液を削ると鯉節のような薄片状になり、干し椎茸を思わせた。甘味液は黒蜜様に感じられた。酸味液は杏ジャム様の印象を得た。苦味液はサルミアッキ様の印象を得た。甘味、酸味、旨味は液体時より弱く感じられた。焙煎由来の苦味成分は乾燥後も残りやすいため、苦味は比較的強く知覚されたと考えられる。



図 6 乾燥させた溶液。旨味（左上）、酸味（右上）、苦味（左下）、甘味（右下）。

6. おわりに

本稿では、味物質を外部から取り寄せて混合する従来の味覚メディアに対し、単一の主素材から味覚出力そのものを育てる「ワンソース発酵」を提案した。ひよこ豆を主基質として、焙煎・水出しによる苦味、米麴糖化による甘味、糖化液の乳酸発酵による酸味、大豆麴による蛋白質分解を狙った旨味を枝分かれ生成した。探索的試作では、甘味液が Brix 37.1、酸味液が pH 3.51、旨味液が L-グルタミン酸測定値 2880 mg/L を示し、処理に対応する異なる味軸が得られた。さらに、酸味液＋旨味液＋塩味から梅干し様、苦味液＋甘味液からコーヒーゼリー様、甘味液＋旨味液から甘酒様、旨味液＋塩味液から味噌汁様の印象が得られた。これは食品を完全再現した結果ではないが、不完全な複合出力を再混合するだけでも、食のカテゴリを想起させる味の骨格を作れる可能性を示した。

現在、発芽させたひよこ豆でプランター栽培を行っている。今後、ひよこ豆麴による厳密なワンソース化の実験や、香り・食感へのアプローチ（すなわち香料や増粘剤などの生成）を試みたい。



図 7 発芽したひよこ豆（左）とプランター栽培（右）。

参考文献

- [1] Homei Miyashita. Taste Media: Innovative Technology Transforms the Eating Experience, International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence, Springer, pp. 8–16 (2024).
- [2] Homei Miyashita. TTTV (taste the TV): Taste presentation display for “licking the screen” using a rolling transparent sheet and a mixture of liquid sprays, Adjunct Proceedings of the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 37–40 (2021).

- [3] Homei Miyashita. TTTV2 (Transform the Taste and Visual Appearance): Tele-eat virtually with a seasoning home appliance that changes the taste and appearance of food or beverages, Proceedings of the 28th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, pp. 1–2 (2022).
- [4] 宮下芳明, 村上崇斗, 大友千宙, 深池美玖. TTTV3 (Transform The Taste and reproduce Varieties): 産地や品種の違いも再現する調味機構と LLM による味覚表現, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム論文集, Vol. 2023 (2023).
- [5] 笠原暢仁, 深池美玖, 宮下芳明. TTTV4: 一口ごとに味を提示する味覚のパーソナルメディア, 第 32 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2024) 予稿集, pp. 1–6 (2024).
- [6] Nobuhito Kasahara, Miku Fukaike, and Homei Miyashita. TTTV4: Cutlery-Type Taste Display Toward Personal Taste Media. In Adjunct Proceedings of the 38th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST Adjunct '25). Association for Computing Machinery, pp.1–3, (2025).
- [7] 菅原歩華, 宮下芳明. Virtual Roast: 焼かずに焦げを付加・調整するデバイス. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2026 論文集, Vol.2026, (2026).
- [8] 薄井夏陽, 宮下芳明. Oral Mirage : 口内送気で飲食物の存在感を幻出させる試み. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2026 論文集, Vol.2026, (2026).
- [9] 大岩千夏, 宮下芳明. TTTVape : 気体混合方式のシーシャ型嗅覚メディア. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2026 論文集, Vol.2026, (2026).
- [10] 岸本詩乃, 宮下芳明. S.A.K.E. (Sake Amakuchi-Karakuchi Editor) : 日本酒の甘口・辛口の印象を 1 本のスライダーで制御するデバイス. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2026 論文集, Vol.2026, (2026).
- [11] 榎谷海斗, 田中涼, 山本貴之, 土屋瞳, 宮下芳明. SporT-TTV : 運動条件および個人特性に応じてパーソナライズされた栄養と甘味を提供するシステムを目指して. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2026 論文集, Vol.2026, (2026).
- [12] 宮下芳明. 味覚・嗅覚・栄養のメディア化による食の再構築, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2025 論文集, pp.143–148 (2025).
- [13] 文部科学省. 日本食品標準成分表 (八訂) 増補 2023 年, 豆類/ひよこまめ/全粒/乾, 食品番号 04065 (2023).
- [14] Sáez, G. D., Sabater, C., Fara, A. and Zárate, G. Fermentation of chickpea flour with selected lactic acid bacteria for improving its nutritional and functional properties, Journal of Applied Microbiology, Vol.133, No.1, pp.181–199 (2022). doi:10.1111/jam.15401.
- [15] Zhang, L., Kang, L. and Xu, Y. Phenotypic, Genomic, and Transcriptomic Comparison of Industrial *Aspergillus oryzae* Used in Chinese and Japanese Soy Sauce: Analysis of Key Proteolytic Enzymes Produced by Koji Molds, Microbiology Spectrum, Vol.11, No.2, e00836-22 (2023). doi:10.1128/spectrum.00836-22.
- [16] Suzuki, S. et al. Lipase and protease activities in Koji cheeses surface-ripened with *Aspergillus* strains, Food Science and Technology Research, Vol.27, No.3, pp.543–549 (2021). doi:10.3136/fstr.27.543.
- [17] Chancharoonpong, C., Hsieh, P.-C. and Sheu, S.-C. Production of Enzyme and Growth of *Aspergillus oryzae* S. on Soybean Koji, International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics, Vol.2, No.4, pp.228–231 (2012). doi:10.7763/IJBBB.2012.V2.106.
- [18] 厚生労働省. 「日本人の食事摂取基準 (2025 年版)」策定検討会報告書 (2024).
- [19] 宮下芳明, 千田知佳, 奥野達也. Virtual Cream Generator : 多様なクリームを脂質・糖類ゼロで生成する装置に向けて. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2024 論文集, Vol.2024, pp.229–232, (2024).
- [20] 小平乙寧, 宮下芳明. Virtual Oil Generator: 多様な油を脂質ゼロで生成する装置実現に向けて. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2024 論文集, Vol.2024, pp.483–487, (2024).
- [21] 千田知佳, 小平乙寧, 長谷川紗智, 飯塚奈夏, 齋藤詞音, 遠藤雅大, 堤賢太, 田崎秀征, 宮本靖久, 細田奈央子, 宮下芳明. PTTVX : 風味と食感制御を可能にするゾルフードプリンタ. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2025 論文集, Vol.2025, pp.458–463, (2025).
- [22] 小平乙寧, 千田知佳, 宮下芳明. 食感デザインのための物性・感性を目的とした物質配合の設計支援. 第 33 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2025) 予稿集, pp.1–3, (2025).