

酒田港周辺で発生した流木・浮遊ゴミの漂流に関する研究

Study on the Floodwood and Suspended Trash Drifting in Sakata Port

瀬賀康浩¹・柴木秀之²・原崎恵太郎³・宇野喜之⁴

Yasuhiro SEGA, Hidenori SHIBAKI, Keitaro HARASAKI, Yoshiyuki UNO

The marina in Sakata Port was blockaded with the floodwood and suspended particles, and the blockage was deemed to be caused by the flood from Mogami River in July 2004 and the typhoon that approached the port in August 2004. In consideration of phenomena obtained from the interviews with the port managers, etc. and the records of the damage, numerical simulation was conducted with calculation of currents, waves and winds. The typical movement of suspended material under the two natural phenomena was reproduced with the simulation.

1. はじめに

近年, 日本沿岸で大量の流木や浮遊ゴミが漂流・漂着する事例が増えており, 海岸の景観や環境の悪化が危惧されている。平成 11 年に改正された海岸法では, 防護の他に利用や環境の面を考慮し海岸事業を行う重要性が指摘されており, 海岸管理者にとって流木や浮遊ゴミの漂着問題の解決は急務の課題である。

酒田港では, 2004 年 8 月に台風 15 号が通過した時, 大量の流木・浮遊ゴミが港内に漂着し, マリーナに係留されていた小型船舶の損傷や利用に支障をきたす被害が発生した。台風 15 号が通過する 1ヶ月前の 7 月に, 酒田港の南側に位置する最上川 (図-1) から, 時間平均流量にして約 $5,500 \text{ m}^3/\text{s}$ の大規模な出水が生じた。この時, 最上川から流木・浮遊ゴミが流出し, 河口部や導流堤, 酒田港南防波堤に漂着していた。

本研究では, 酒田港近隣の関係自治体, 関係省庁および漁業協同組合への現地ヒアリングと, 現存する気象・海象データや漂着物関連の資料に基づく実態把握を行った。そして, 実態把握の結果を踏まえ, 漂着物の発生現象を明らかにするための解析を行った。現象の解析は, 最上川出水時および台風時の流木・浮遊ゴミの漂流シミュレーションによる再現が主たるものである。この解析により, 2004 年に発生した酒田港内における大規模な流木・浮遊ゴミの漂着メカニズムや主要因を明らかにした。

2. 流木・浮遊ゴミの大規模漂着の実態調査

(1) 現地ヒアリングおよび資料収集

大規模な漂着状況に関する現地ヒアリングは, 7つの関係自治体, 関係省庁および漁業協同組合を対象に実施

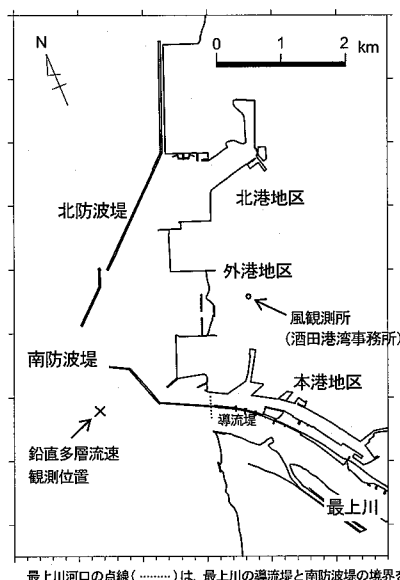


図-1 酒田港の概況図

した。ヒアリングの項目は, 2004 年 7 月の最上川出水時および台風 15 号通過時の流木・浮遊ゴミの漂着箇所, 漂着物の種類や大きさ, 撤去の実績である。

また, 流木・浮遊ゴミの漂流時の外力を明らかにするため, 酒田港で観測された波浪データ, および東北地方整備局酒田港湾事務所と海上保安庁飛島観測所で観測された風向・風速データ, 最上川水系砂越観測所で観測された流量データを収集した。

(2) 大規模な漂着現象の概要

a) 最上川の大規模出水時 (2004 年 7 月)

流木・浮遊ゴミの大規模な港内への漂着が発生した台風 15 号通過時の約 1ヶ月前, 7 月 17 日から 19 日にかけて, 豪雨による最上川の大規模な出水があった。この出水後, 最上川河口に隣接する導流堤や南防波堤の港外側消波部や天端上に, 大量の漂着物が堆積した (写真-1, 2004 年 7 月 19 日撮影)。しかし, 港内への漂着物はほ

1 正会員 工修 東北地方整備局 酒田港湾事務所 所長
2 正会員 博(工) 株式会社エコー 環境水工部 部長
3 正会員 修(工) 株式会社エコー 調査解析部 課長
4 正会員 修(工) 株式会社エコー 調査解析部 主任

とんど見られなかった。河川の水位から判断し、導流堤や南防波堤の天端を越流する状況ではなかった。このことから、出水後に堆積した天端上の漂着物は、導流堤や南防波堤沿いに漂流し、堤体の消波部に漂着した流木の一部が、波や風により打ち上がったものと考えられる。

b) 台風15号通過時 (2004年8月)

台風15号は8月20日午前酒田港沖に接近し、強風と高波、高潮を発生させた。台風15号通過後の大浜地区マリーナの水域一帯にわたり、流木・浮遊ゴミが大量に漂着し、小型船舶の損傷や利用の困難な状況が発生し



写真-1 最上川の大規模出水後に撮影された漂流物の堆積状況



写真-2 台風15号通過後に撮影された酒田港大浜地区マリーナにおける漂流物の堆積状況

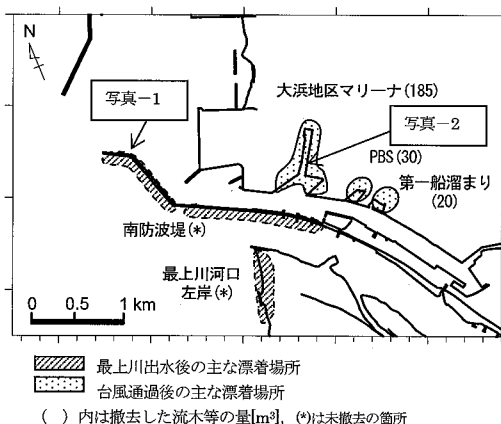


図-2 酒田港港内の漂着物の堆積分布

た(写真-2, 2004年8月20日撮影)。

また、最上川導流堤および南防波堤の一部の天端上に、長さ3m以上の流木が打ち上がり、被覆のアスファルトが一部はがれる等の被災が生じた。

c) 流木・浮遊ゴミの漂着マップ

図-2は、流木・浮遊ゴミの主な漂着場所を、最上川出水後と台風通過後に分けて図示するものである。出水後に、主に漂着した箇所は、南防波堤の天端上と港外側消波部、最上川河口の南側海岸であった。一方、台風通過後に漂着した箇所は、港内本港地区の大浜マリーナ、PBS(プレジャーボート・スポット)や第一船溜まりであった。また、南防波堤の天端上と消波工内、最上川導流堤の天端上には、2m以上の流木が点在していた。港内に漂着した流木等の大きさは、枝屑から長さ5m以上の幹までであった。浮遊ゴミは、ペットボトルや発泡スチロールが主なものであった。

(3) 流木・浮遊ゴミの大規模漂着時の気象・海象条件

a) 最上川の大規模出水 (2004年7月)

図-3は、出水時における観測データの時系列であり、最上段から順に風向・風速、波高・周期、最上川流量、酒田港内潮位を示す。

最上川のピーク時の時間平均流量は約5,500m³/sとなり、最大有義波高は1.9mであった。2004年の雨量年表によれば、山形県で集中的な降雨が発生したのは、17日9時から12時であった。最上川流域が広いため、2,000m³/sを超える時間平均流量が発生した時間帯は、降雨後の17日12時から7月19日8時までの44時間であった。

b) 台風15号接近時 (2004年8月)

図-4は、台風15号通過時の観測データの時系列であ

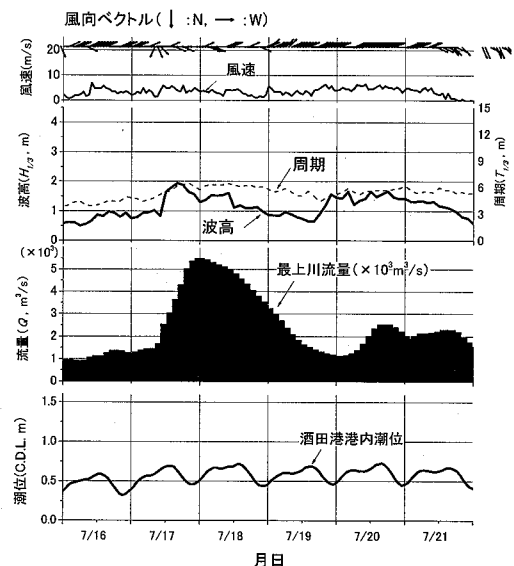


図-3 最上川出水時の気象・海象状況

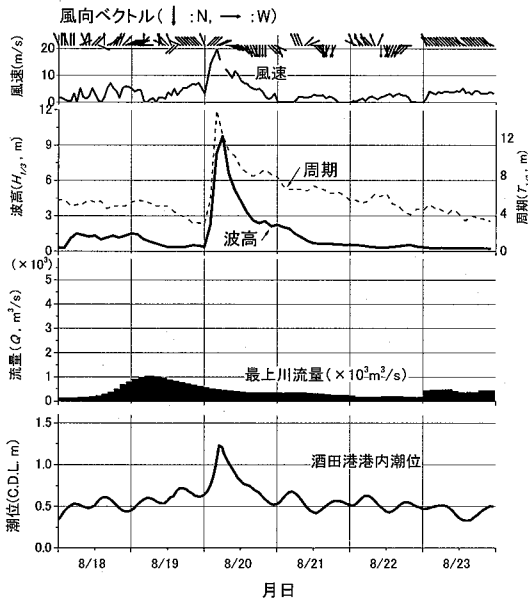


図-4 2004年台風15号接近時の気象・海象状況

り、最大有義波高9.7mは、過去35年間で2番目に大きい波高であった。台風は酒田港沖を通過したことから、酒田港湾事務所で観測された風は、20日2時から11時にかけて、風向がSW方向からWNW方向に変化し、最大平均風速19.7m/sであった。

波高が最大となる20日6時に、港内で観測された潮位はC.D.L.+1.23mであった。南防波堤の河口部位置から沖側約500mまでの区間の天端高はC.D.L.+3mであることや、堤体前面に到達する波浪条件から単位幅当りの越波流量を推定すると、約0.1m³/sとなる。このことから、前述した出水時に堆積した流木・浮遊ゴミが、越波により港内側に流入したと考えられる。

3. 流木・浮遊ゴミの漂流計算

(1) 漂流計算手法

漂流計算は、後藤(1983)の提案したモデルにない実施する。このモデルは、津波伝播による表層の流れに伴う流木の挙動を追跡するものである。そのため、本研究で対象とする漂流物の移動現象への適用にあたり、河川流、吹送流、海浜流および越波による流れを新たに考慮する必要がある。各流れの成分は個々に計算し、これらをベクトル合成することにより全流速を求めた。また、対象とする漂流物は砕けた流木や浮遊ゴミである。そのため、拡散係数の値は、試計算の結果をもとに倍率を乗じ、 $10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$ を設定した。

台風時の海上は、風波やうねりが卓越していることや流木や浮遊ゴミが強風を直接受ける。このような外力による漂流物の移動を計算によって再現するため、福島

表-1 漂流物計算条件一覧

項目	出水時	台風時
範囲、格子幅	$\Delta s=20 \text{ m}$, $\Delta T=2 \text{ s}$ 沿岸方向1,400m×岸沖方向1,200m	
考慮した外力	風圧流、波浪流、河川流、海浜流、吹送流	風圧流、波浪流、海浜流、吹送流、越波による流れ
漂流物条件	流木、長さ1～5m、直径0.2～0.4m、	
漂流物設置	河口部から1.5km上流	南防波堤港内側 (出水時計算結果を考慮)
漂流物の流出時刻	流量ピーク時から24時間 (7/18 0:00～7/19 0:00)	波高ピーク2時間前～ 波高ピーク時 (8/20 4:00～8/20 6:00)

(2006) および谷澤ら(2003)を参考にし、風および波による漂流を表す風圧流 V_e および波浪流 V_w による移動量を加えた。風圧流および波浪流の算定式は式(1)および式(2)で表される。波浪流の第一項は、大型船舶の場合以外では無視できるため、本研究では第二項のみによる波浪流を求めた。

$$V_e = 0.035 \sqrt{\frac{A}{B}} V_w \dots \dots \dots (1)$$

$$V_w = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Lg}{B}} \sqrt{\frac{C_w}{C_d}} \frac{H_{1/3}}{1.6} + \pi^2 \sqrt{\frac{g}{k}} \frac{(1-e^{-2kd})}{2kd} \left(\frac{H_{1/3}}{1.6\lambda} \right)^2 \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 V_w は風速、 L は漂流物の代表長さ、 A は漂流物の水面上の面積、 B は水面下の面積、 k は波数、 λ は波長、 g は重力加速度、 C_w は波漂流力係数、 C_d は抗力係数、 d は漂流物の喫水である。

表-1に、本研究の漂流計算に用いた差分条件、漂流物条件および外力条件等の一覧を示す。水面下に対する水面上の面積比(A/B)は1.1を与え、風による移動方向の偏角は、風向に対して $\pm 30^\circ$ の幅を有するものとし、一様乱数により確率的なバラつきを考慮した。漂流物の流出時間等の明らかでない条件については試計算を行い、出水時及び台風時について表-1のように設定した。

(2) 風、波浪場・流れ場の推定

a) 海上風の推定

海上風は、海上保安庁飛鳥観測所の風速を10m高度に換算したデータと酒田港湾事務所屋上の風データを比較し、事務所屋上の風速データを1.15倍することにより酒田港周辺の海上風データとする。これは、飛鳥観測所が高高度に位置し、周辺に遮蔽物がないことから、海上風の推定に適すると判断したためである。なお、風向は酒田港湾事務所の観測値をそのまま用いた。

b) 波浪の推定

波浪は、全国港湾海洋波浪情報網NOWPHASで観測された酒田港データを沖波条件とし、エネルギー平衡方程式を用いた波浪変形計算により、酒田港周辺海域の波高・波向分布を推定した。波浪変形計算では、合田

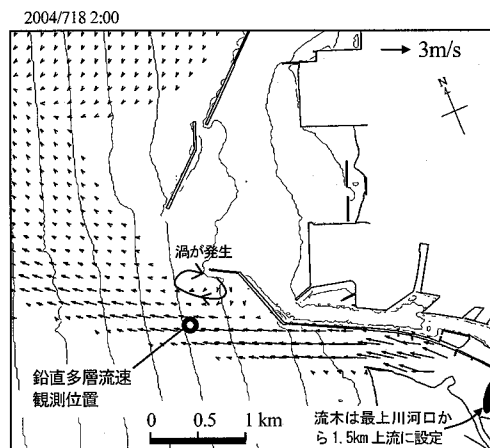


図-5 最上出水時（流量ピーク時）の流況図

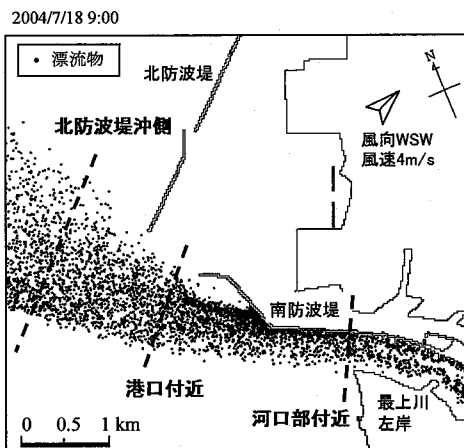


図-6 最上出水時の流木・浮遊ゴミの漂流計算結果

(1997) による越波を考慮した伝達率を適用して、導流堤および南防波堤での港内への伝達波を考慮した。

c) 流れの推定

河川流および吹送流は、柴木・渡辺 (2002) で詳述された多層レベルモデルを適用し、海面から海底までを層厚 5.0 m の 4 層モデルとして使用する。最上川からの出水による河川流は、1 時間毎の観測流量をタイムステップ毎に内挿したものを境界条件として与える。また、吹送流は、酒田港の推定海上風を入力条件とし、本多・光易の海面抵抗係数を用いた風による海面せん断力を外力として与える。海浜流計算は単層モデルを用い、波浪変形計算より算出されるラディエーションストレスの発散を外力とする。

台風時は、南防波堤を越波することにより、天端上に堆積した流木が港内に流入するとともに、港内の流れも発生していると考えられる。そこで、合田 (1997) により算出される期待越波流量を、南防波堤上を通過する流量として与える。

図-5 は、最上川出水時の 18 日 2 時（流量ピーク時）の河川流、吹送流、海浜流および越波による流れを合成した流況分布図である。図によれば、出水時の流れは、河川流成分が他の成分と比べて支配的である。また、強い流速帯が導流堤および南防波堤に沿って沖側に流出し、港口付近から北防波堤沖側へと次第に流向を変化しながら拡がる。

出水時に、図の流速観測地点において、多層の流速が観測されているため、この観測値と計算値の比較を行った。流量ピーク時における表層の流速と流向の観測値は、1.07 m/s および N 方向から時計回りに 116° であったのに対し、計算値は 1.23 m/s および 105° であった。

(3) 最上川出水時の漂流計算

出水時の漂流計算は、河口部から 1.5 km 上流を、漂流物の流出開始地点とする。図-6 は、毎秒 1 個の漂流物を

流出させた試行計算における 18 日 9 時の漂流物の分布を示す。計算結果より、流量ピーク時 (18 日 2 時) の漂流速度は、河口部付近で 2.5 m/s、港口部で 1.0 m/s、北防波堤沖側で 0.7 m/s と推定された。沖へ流出した漂流物は、河川流の流向変化と拡散により、移動距離とともに幅を持った分布となる。その拡がりの幅は、河口から 4 km 離れた位置で約 2 km になると予測された。

流出した漂流物のうち、南防波堤に漂着する量がどの程度となるかを評価するため、河口部から流出する漂流物を 5 秒に 1 個とする試行計算を行い、南防波堤沿いの 1 格子 (20 m) 内を通過する個数を集計する。流出する全漂流物の 43 % が南防波堤沿いの格子内を漂流した。これら南防波堤沿いを漂流する漂流物の一部は、風や波の作用を受けて南防波堤の天端上や港外側の消波部に漂着したと考えられる。導流堤や南防波堤沿いを漂流せず、沖側に流出したものは全漂流物の 56 % となり、港口から港内に流入したものはわずか 0.9 % となった。

出水時の最大平均風速は 5 m/s 程度であり、台風時の風速と比べて大きくない。しかし、風向により帯状の漂流物群が南北方向に移動し、風向が北寄りの時は最上川河口の南側海岸に漂着し、南寄り時は南防波堤に漂着する傾向が予測された。

(4) 台風 15 号接近時の漂流計算

台風通過後に、酒田港内の大浜マリーナ地区や PBS に集積した漂流物は、導流堤や南防波堤を越えて流入するものと特定し、出水時と同様の流れ及び漂流の計算を行う。台風時の漂流計算は、漂流物の投入開始地点を南防波堤港内側に設定する。初期の漂流物の設置位置は、出水時の漂流計算から予測される漂着数の分布結果および現地の漂着物の存在量を反映する。

漂流計算において、漂流物に作用する海上風は水面近傍の値であることから、大浜マリーナの狭い水路内は、

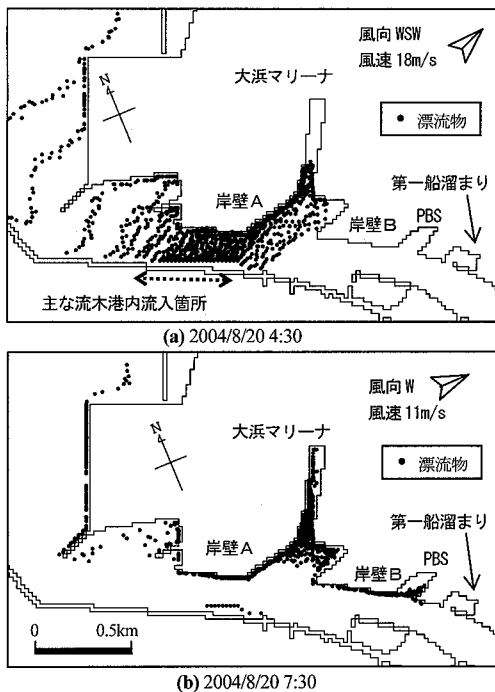


図-7 台風15号接近時の流木・浮遊ゴミの漂流計算結果

水路方向に平行に風が吹くように、風向を偏向する。

図-7は、漂流計算により推定される台風15号接近時の(a)20日4時30分と(b)7時30分の漂流物の分布を表す。港内の本港地区は流れが弱いため、漂流物の移動は海上風による風圧流成分が支配的となり、移動方向も風向とほぼ同方向になると予測される。

図-7(a)に示すように、酒田港湾事務所の風向がWSWとなる20日4時～6時は、南防波堤天端上の主な流入箇所(図中の両矢印の範囲)から、港内に流入した漂流物は、岸壁A沿いに大浜マリーナへと移動する。最大風速発生時(20日6時)の漂流速度は約0.7m/sと推定される。マリーナのような奥まった水域に、漂流物が集積する現象は、風圧流のようにマリーナの奥へ漂流物を押し込む力が作用したものと推定され、本計算結果と一致している。また、計算結果から岸壁Aに沿って移動したことが流木を集積した要因であると考えられる。

図-7(b)は、20日7時から8時にかけて、風向がW～WNWへと変化した時の漂流物の分布を示す。PBSの出入り口付近にある漂流物は、主に港内へ流入した後、西寄りの風的作用を受けて、岸壁Bに沿って移動したものと考えられ、さらに東方向に移動しPBSおよび第一船溜まりに漂着したと推定される。

また、南防波堤の先端部位置から流入した流木は、主に越波による流れと港口部の海浜流、海上風に伴う吹送流および風圧流により、外港地区や北港地区に移動する。

台風通過後のヒアリング結果からも、北港地区の奥に漂流物が漂着したことが確認されている。

4. おわりに

本研究は、2004年に酒田港で発生した流木等の大規模な漂着現象を解明するために、関係者へのヒアリングや、観測資料の収集整理により実態把握を行った上で、漂流計算を用いて漂流・漂着現象の再現を試みた。この現象の再現にあたり、出水時の漂流・漂着と、その後に来襲した台風時の漂流・漂着に現象を分類し、各々の状況下で影響する流れ、波および風を外力とする漂流モデルを提案した。主要な結論を以下にまとめる。

- ①最上川出水時に、河川流を主な外力とする流木・浮遊ゴミの漂流が発生し、これらの漂流物の一部は、河口から港口に向かって移動する過程で最上川導流堤および酒田港南防波堤付近に漂着したと推定される。これらの流木・浮遊ゴミは、1ヶ月間撤去されなかった。
- ②酒田港内の大浜マリーナに漂着した大量の流木・浮遊ゴミは、最上川出水の約1ヶ月後に来襲した台風15号通過時に、南防波堤および導流堤からの越波により港内に流入したと推定される。
- ③台風15号通過時に港内へ流入した流木・浮遊ゴミは、風速最大時頃の風向WSWの海上風により岸壁に沿って漂流し、大浜マリーナに漂着した。この3～4時間後、風向がW～WNWに変化し、岸壁に沿ってさらに東方向に漂流し、大浜地区の東に位置するPBSや第一船溜まりに漂着した。
- ④出水時の漂流・漂着現象と、台風時の漂流・漂着現象を、個別に扱う漂流計算を行い、酒田港で発生した大規模な漂着物の漂流過程を推定するとともに、出水後及び台風通過後の漂着箇所を再現した。

ヒアリングおよび資料収集にご協力頂いた酒田河川国道事務所、山形県総合支庁港湾事務所、山形県漁業協同組合(酒田統括支所、加茂支所、吹浦支所)の関係者の皆様に、心より感謝の意を表します。

参考文献

- 合田良實(1997): 港湾構造物の耐波設計～波浪工学への序説～, pp. 78-82, 118-132.
 後藤智明(1983): 津波による木材の流出に関する計算, 第30回海岸工学講演会論文集, pp. 594-597.
 柴木秀之・渡辺 晃(2002): 密度成層とWave Setupを考慮した多層高潮推算に関する研究, 土木学会論文集, No. 719/II -61, pp.47-66.
 福島繁樹(2006): 漂流予測の高度化のための基礎調査～風圧流と偏角について～, 海洋情報部技報, Vol. 24, pp. 107-115.
 谷澤克治・井本泰司(2003): 波による漂流速度成分を考慮した漂流経路予測手法, 海技研研究発表会資料, pp. 1-2