

体 験 レ ポ ー ト

スポンジケーキの生地粘度と美味しさとの関係

1

国際文理コース 3年 島 貫 菜 摘
【バイオ化学工学科 高橋・高畑・松田研究室】

C- β -D-glucosylphloroacetophenone の合成と構造解析

5

国際文理コース 3年 島 貫 成 美
【バイオ化学工学科 佐藤研究室】

フルカラー電子ペーパー用電子インクの合成に関する研究

8

国際文理コース 3年 舟 山 真
【機能高分子工学科 川口研究室】

複雑ネットワークの分析

11

国際文理コース 2年 見 川 尚 輝
【情報科学科 田中研究室】



スポンジケーキの生地粘度と美味しさとの関係

山形県立小国高等学校 国際文理コース 3年 島貫 菜摘

1. はじめに

私は将来、食品の開発にかかわる仕事に就きたいと考えている。そこで、さまざまな分量でスポンジケーキを作ることで、その美味しさを科学的に分析する。

2. 研究内容

（1）実験方法

- ①条件を変えたスポンジケーキの生地を作る。
 - ②生地粘度を振動式粘度計で計測する。
 - ③焼き上がりのケーキの厚さを測り発泡率を算出する。
- ※ 発泡率＝焼き上がりケーキの厚さ÷焼く前ケーキの厚さ×100（%）
- ④研究室の皆さんに試食をしてもらい、美味しさのアンケートをとる。
- ※ 各項目5段階評価（右図）

島貫ケーキに対する評価	
ケーキ No. 5	
以下の項目にお答えください。	
年齢	50・40・30・20・10
性別	男性・女性
出身地	()
スポンジケーキの評価項目	
甘い	5・4・3・2・1
柔らかい	5・4・3・2・1
香り高い	5・4・3・2・1
粉っぽくない	5・4・3・2・1
食べ易い	5・4・3・2・1
美味しさ（総合評価）	高 5・4・3・2・1 低
その他、感想など ()	

（2）振動式粘度計について

【測定理論】

液体中で、振動子を一定振幅にて共振させ、振動子の粘性抵抗を、加振力となる電流値を測定することから粘度を求める。

【測定機構】

音叉形状を有する2枚の板バネの中央に電磁駆動部を設置し、板バネを一定の設定振幅にて共振させる。粘性抵抗により異なる駆動電流を検出し、あらかじめ記憶させている検量線と対応させて演算し、粘度を測定する。



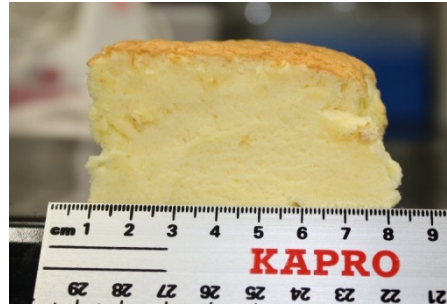
振動式粘度計

(3) 実験結果

No. 1 (基本)

初めに、基本となるケーキの生地を作り焼いた。

- | | |
|------------------|-------|
| ・小麦粉 | 100 g |
| ・グラニュー糖 | 100 g |
| ・卵 | 150 g |
| ・牛乳 | 40 ml |
| *生地の粘度：354 mPa s | |
| *焼く前ケーキ：2.8 cm | |
| *焼き上がりケーキ：5.2 cm | |
| *発泡率：186 % | |



しつとりと弾力のある食感となった。

No. 2 (牛乳⇒水)

次に、牛乳の脂肪分が粘度に関係してくるのかを調べるために、牛乳を同じ分量の水に変えた。

- | | |
|------------------|-------|
| ・小麦粉 | 100 g |
| ・グラニュー糖 | 100 g |
| ・卵 | 150 g |
| ・水 | 40 ml |
| *生地の粘度：353 mPa s | |
| *焼く前ケーキ：2.8 cm | |
| *焼き上がりケーキ：4.7 cm | |
| *発泡率：168 % | |



牛乳を水に変えても、粘度と発泡率は共にあまり変化が見られなかったが、風味が少し落ちてしまった。

No. 3 (牛乳 1/2)

次に、牛乳の量を基本の半分にした。

- | | |
|------------------|-------|
| ・小麦粉 | 100 g |
| ・グラニュー糖 | 100 g |
| ・卵 | 150 g |
| ・牛乳 | 20 ml |
| *生地の粘度：471 mPa s | |
| *焼く前ケーキ：2.2 cm | |
| *焼き上がりケーキ：4.9 cm | |
| *発泡率：223 % | |



粘度と発泡率が共に上がり、フワフワとした軽い食感となった。アンケートの結果も好評であった。

No.4（牛乳3／2）

次に、牛乳の量を基本の1．5倍にした。

- ・小麦粉 100 g
- ・グラニュー糖 100 g
- ・卵 150 g
- ・牛乳 60 ml
- *生地粘度：263 mPa s
- *焼く前ケーキ：2.7 cm
- *焼き上がりケーキ：4.15 cm
- *発泡率：154%



牛乳が多くなったことで、びしゃびしゃとした生地になり、粘度が下がった。しかし、発泡率はそれほど下がらず、しっとりとした食感となりおいしく感じられた。

No.5（牛乳⇒水＋バター）

最後に、牛乳を水とバターに変えた。ただし、バターは基本の牛乳に含まれる脂肪分の割合と同じ分量とした。

- ・小麦粉 100 g
- ・グラニュー糖 100 g
- ・卵 150 g
- ・水 19.2 g
- ・バター 0.8 g
- *生地粘度：362 mPa s
- *焼く前ケーキ：2.7 cm
- *焼き上がりケーキ：4.8 cm
- *発泡率：126%



粘度は上がったが発泡率は下がった。すると、ケーキは歯ごたえが出るほど固くなってしまった。失敗作品と見なし、同じ分量でもう1つ焼いたが、同じ結果となった。

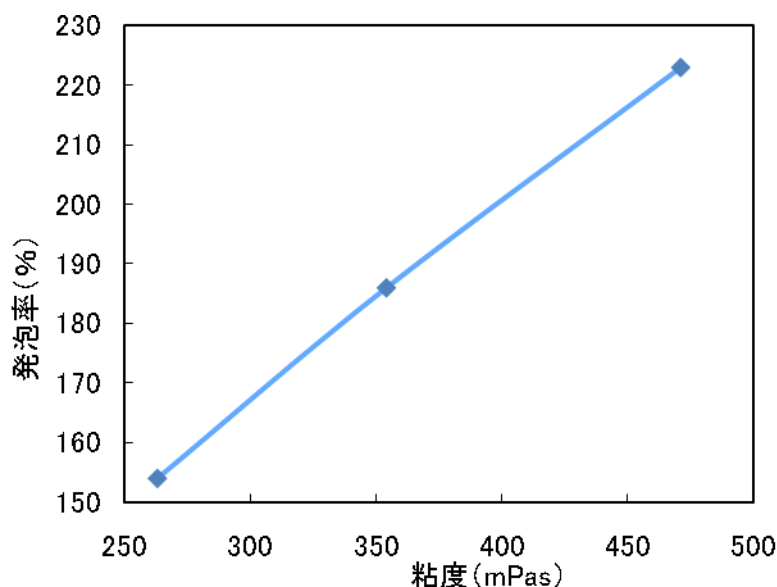
アンケート集計結果（回答数6）

	甘さ	柔らかさ	香り	粉っぽさ	食べ易さ	総合評価
No.1	4.3	3.7	3.2	2.0	4.5	4.2
No.2	3.8	3.2	3.2	2.5	4.0	3.8
No.3	4.3	3.3	3.2	2.1	3.7	4.0
No.4	4.0	2.8	3.7	3.5	4.2	4.2
No.5	4.0	1.3	3.0	2.2	3.2	2.8

参考

粘度 (mPa s)	発泡率 (%)
354	186
353	168
471	223
263	154
362	126

粘度と発泡率の関係（総合評価 4.0 以上）



（４）考察

生地粘度は水分量で決まり、美味しいと感じられるケーキの生地粘度と発泡率には相関関係があることがわかった。（上図） 発泡率が高いほどフワフワとした、低いほどしっとりとした食感となり、いずれも美味しいと感じられる。この相関関係を満たさない場合、美味しいとはあまり感じられない。また、牛乳を入れることで風味が良くなることもわかった。風味はバター脂肪分では補えず、牛乳そのものの美味しさが大きな役割を果たしている。

3. まとめ

私は5日間、高橋・高畑・松田研究室で研究活動を行った。学生同士はもちろん、学生の皆さんと先生方も仲が良く、それぞれ各々のテーマにそって楽しそうに研究を進めていた。私も将来、このような研究室で研究を進めていきたいと感じ、山形大学工学部に入学したいと改めて思った。

また、女性も比較的多い研究室で、お昼を一緒に食べたり、大学構内を見学させていただいたり、たくさん面倒していただき、大学生活を味わうことができた。とても楽しかったし、貴重な体験ができた5日間だった。

お世話になった皆さん、ありがとうございました。

C- β -D-glucosylphloroacetophenone の合成と構造解析

山形県立小国高等学校 国際文理コース 3年 島貫 成美

1. 目的

将来、薬学に関わる仕事をしたいと考えている。そこで、薬に関する基礎研究を体験し、将来につなげる。

2. 研究概要

生理活性を示すフラボノイド C-配糖体全合成の基本骨格である、C- β -D-glucosylphloroacetophenone（以下：X）を合成・精製し、その構造を分光学的測定により解析する。

（1）フラボノイドについて

フラボノイドは、植物中に含まれる C₆-C₃-C₆ 単位の化合物（2つのフェノール C₆ を 3つの炭素 C₃ で繋いだ構造）の総称で、いわゆるポリフェノールと呼ばれ、植物の色素や苦みの成分である。中国の漢方薬に主成分として含有されたり、欧米では予防薬としてビタミン P などと呼ばれてサプリメントのような服用がなされ、活性酵素の除去、抗がん作用、高血圧の改善、抗アレルギーの作用など、さまざまな健康増進機能が期待されている。

フラボノイドは通常、グルコースやガラクトースといった天然に多く存在する一般的な糖がフェノール水酸基に結合した「配糖体」として存在するが、中にはフェノール水酸基を介せずに直接ベンゼン環と結合した「C-配糖体」というフラボノイドも存在する。この化合物は安定で動物体内でも糖は脱離せずに残り、血圧降下作用などの生理活性を示す。

3. 研究内容

（1）合成

- ① フロロアセトフェノン（物質質量 168）1.0g（5.95mol）及び D グルコース（物質質量 180）2.14g を 50ml 容ナスフラスコにはかりとる。
- ② ①に炭酸水素ナトリウムを加える。
- ③ 少量の蒸留水で溶解後、80℃のオイルバス上で 1.5 時間加熱し、反応を進める。
- ④ 反応の終了を、シリカゲル TLC（薄層クロマトグラフィー）で 2 種類の溶媒系（A：トルエン・酢酸エチル・酢酸 B：アセトン・酢酸エチル・水・酢酸）を用い確認する。



シリカゲル TLC
（左：A 右：B）

(2) 分離・精製

- ① 反応液を冷却後、塩酸水で中和し水で薄める。
- ② ダイヤイオンCHP 20P樹脂を水でカラム管に重鎮した上に載せ、①をゆっくり通すことにより、生成物を樹脂に吸着させる。
- ③ さらに蒸留水を樹脂量の3～5倍量流し、未吸着分を溶出する。
- ④ 50%アセトン水を3倍量流し未吸着分を溶出し、さらにアセトンメタノール液を2倍量流して溶出させる。(→濃縮する。)
- ⑤ これをシリカゲルクロマトグラフィーにかけ目的物を分離・精製する。
- ⑥ 溶出液を細かく分けながら試験管にとる。
- ⑦ 溶出液は減圧濃縮して取り除き、残留物はメタノールを使って溶かしながらさらに減圧濃縮をする。
- ⑧ 最後にエタノールから再結晶してXを得る。



吸着後



⑤の操作



⑦の操作

(3) 解析

- ① 融点測定、NMR (核電磁共鳴)、I R (赤外分光法)、MS (質量分析法) を行う。※NMRは構造を、I Rは官能基を、MSは分子量を調べることができる。
- ② 次に、ここまでで得たサンプルが目的の化合物か同定するためにXをアセテート体に変換する。
※アセテート：ここでは化合物の水酸基に対しアセチル基を導入させた化合物
- ③ Xの一部を正確にはかりとり、無水酢酸 1.5ml、ピジリン 1.5ml を加え、溶解後、DMAP (触媒) を2, 3片加える。
- ④ 一晚室温で攪拌し反応を進める。
- ⑤ 反応液は氷水に注いでしばらく攪拌し、無水酢酸を分解後、酢酸エチルで2回抽出する。
- ⑥ ここで得たものを飽和食塩水で洗浄後、無水硫酸ナトリウムで乾燥、溜去する。
- ⑦ これをシリカゲルカラムクロマトグラフィー (展開溶媒：ヘキサン、酢酸エチル) で精製し、純粋なXのアセテート体を得る。
- ⑧ さらにこれをNMR、FD-MS (電界脱離質量分析)、I Rの機器分析にかける。これらのデータを解析してXであることを確かめる。



⑤の操作

4. 感想

今回、5日間を通して1つの実験を行いました。学校で行う実験とは比べ物にならないほど大変で大掛かりでした。様々な物質、機器、実験方法があって最初から最後までわからないこともたくさんありました。しかし、先生や大学生の皆さんに手取り足取り教えていただいたりしながら、何をしているのか、何のためにこの操作を行っているのかなどを理解することができました。大変でしたが、1つ1つの操作は楽しく、また、流れを理解することでより一層、興味をそそられました。

時間が足りず、最後まで終わらせることができませんでしたが、本当に良い経験になりました。今回の目標である将来につながる学習は達成できたと思います。今回の経験をこれからの糧にしていきたいです。

最後に、私を受け入れてくださった、佐藤教授をはじめ、やさしく指導してくださった研究室の皆さんに感謝します。ありがとうございました。

フルカラー電子ペーパー用電子インクの合成に関する研究

山形県立小国高等学校 国際文理コース 3年 舟山 真

1. はじめに

今回は8月2日から8月6日までの5日間、機能高分子工学科の川口教授のもとで研究活動を行った。高分子合成のためのモノマーの精製(減圧蒸留)や開始剤の再結晶などを行い、化学実験に必要な基本操作を体験した。また、精製した試薬を用いて分散重合を行うことによって高分子カラー微粒子を合成した。得られた微粒子を走査型電子顕微鏡で観察し、微粒子径や多分散度についての知見を得た。さらに、カラー微粒子を応用した最新の技術である電子ペーパーについても詳しく知ることができた。

2. 研究内容

(1) モノマーについて

モノマーとは重合反応によってポリマーを生成するときの基本となる物質である。つまり、多くのモノマーが結合しポリマーとなる。つまり、多くのモノマーが結合し高分子化合物であるポリマーとなる。ポリマーはとても巨大な分子であり、分子量が10000以上もある。また、重合には逐次重合や連鎖重合などがあり、さまざまな種類の高分子化合物が生成され、身の回りのさまざまな製品に使われている。

(2) 重合について

重合とは同じ反応を何回も繰り返し高分子を生成する反応であり、大きく分けて連鎖重合と逐次重合の2種類がある。

連鎖重合には、付加重合と開環重合、さらに付加重合の中には、ラジカル重合、アニオン重合、カチオン重合がある。逐次重合には、重縮合、重付加縮合、付加縮合の3種類があり、他にも、特殊な条件が必要な、分散重合、乳化重合、懸濁重合など多くの重合法があることを知った。

(3) 減圧蒸留によるモノマーの精製と再結晶

モノマーは熱や光に不安定であるため、市販されているモノマーの試薬は、通常、光を防ぐために茶色や黒っぽいびんに入れられている。また、重合を阻害する重合阻害剤などの不純物も入っている。これらを取り除くための精製方法として、沸点を下げ熱による分解を防ぐことができる減圧蒸留を行う。今回研究に用いたモノマーは、メタクリル酸メチルとアクリロニトリルである。以下に、減圧蒸留の流れを示す。

<減圧蒸留の流れ>

- ① 水酸化カルシウムでモノマーを脱水する。
- ② ウォーターバスにつけ沸騰させる。
- ③ 初留を少量とり不純物を取り除く。
- ④ 本留をとる。
- ⑤ ある程度溶液を残した状態で蒸留を終了する。

その他の試薬の精製法として、AIBN（アゾビスイソブチロニトリル）という試薬の再結晶を体験した。連鎖重合のうち、ラジカル重合の際に開始剤として用いられるAIBNには安定剤などの不純物が含まれている。そこで、それらを取り除くためにメタノールから再結晶を行った。

（４）分散ラジカル重合法によるカラー微粒子の合成

先に減圧蒸留によって精製したモノマー、開始剤、反応性染料を用いてラジカル分散重合を行うことによって、カラー微粒子の合成を行った。重合によって得られた微粒子を回収し、遠心分離操作を行うことによって微粒子の精製を行った。遠心分離を行うと、微粒子サイズごとに層ができ沈降してくる。微粒子径が小さな分子は上方に、微粒子径が大きな分子は下方に分離される。これを、遠心沈降法といい目的の粒子を選び出すとともに、精製も行うことができる。

<遠心分離の流れ>

- ① サンプルを溶媒とともに遠心分離用のチューブに入れる。
- ② 遠心分離機にかける。
- ③ 上澄み液を捨て、ヘキサンを加え溶媒を交換する。
- ④ これを２回繰り返す。
- ⑤ ヘキサンを真空乾燥させる。

（５）SEM（走査型電子顕微鏡）による微粒子観察

これまでの実験で合成したカラー微粒子をSEMで観察しところ、きれいにサイズの揃った粒子がたくさんできていた。また、100個の粒子の大きさの平均や収率（回収した収量の割合）を算出した。（下図）

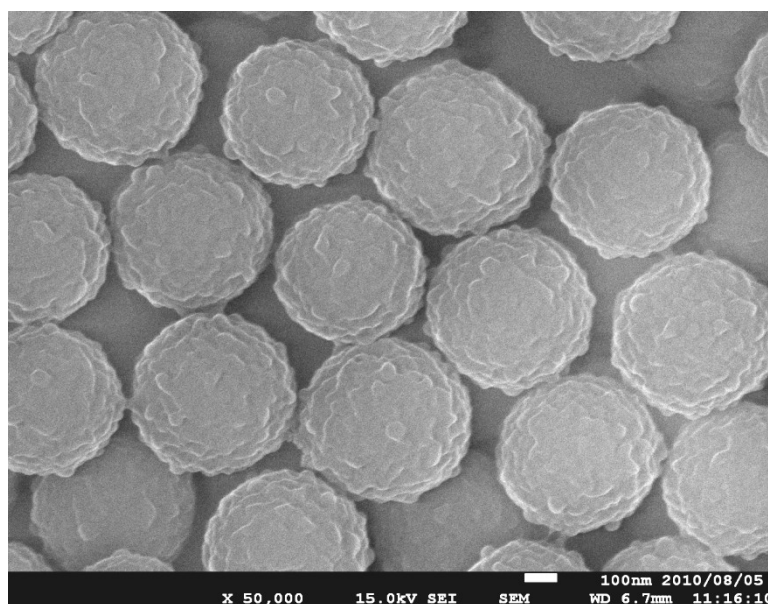
Table . Result of preparation of SR49-VBC particles.

Run ^{a)}	AN(g)	MMA(g)	Dye			Yield(%)		Particle Size ^{b)} (nm)	Particle Size ^{c)}			
			(g)	mol%	wt%	Particle	Coagulum		dn(nm)	dv(nm)	σ	Cv
1	2.40	1.60	0.46	1.00	11.48	51.90	0.00		535.00	536.00	0.33	4.32

a)AN:MMA=6:4, FM-0721; 20 wt% to monomer, IsoparG; 20 ml, AIBN; 0.2 g, Temp; 60 °C, Reaction Time; 24h.

b)Determined by DLS.

c)Determined by SEM.



収率 51.9%
dn=535nm
dv=536nm
Cv=4.32

3. 電子ペーパーについて

高分子微粒子の合成は、電子ペーパーのフルカラー化に応用される。

電子ペーパーとは、紙のように薄く柔軟性がある新しいディスプレイの1つである。普通の紙への印刷では大量に紙資源を消費しなければならない、環境への負荷が大きい。また、従来のディスプレイは消費電力が大きいという問題がある。一方、電子ペーパーは紙のように見やすく手軽で印刷物とは違い書き換えが可能で、**電源を切っても画像が残るメモリー性**を有していることを特徴とするものである。このようなディスプレイが開発できれば、紙の消費量低減化、超低消費電力化が可能となり、期待されている技術である。以下に電子ペーパーの特徴をまとめた。

＜電子ペーパーの特徴＞

- ・低消費電力で書き換えが可能
- ・電源を外しても画像が残るメモリー性を有する。
- ・紙のような優れたコントラスト・視認性を有する
- ・本を読むのと同じ原理を用いているので、目が疲れない。
- ・フレキシブル・軽量・耐衝撃性・薄いディスプレイで携帯可能
- ・バックライト不要で、野外でも文字が読みやすい など

しかし、現段階では高精細なディスプレイは開発されていない。原因としては、素子が従来の方法で設計されていること、精密な設計（形状・分散安定性・帯電制御）がなされていないことなどがあげられる。また、フルカラーでの表示はできず、動画にも対応できていない。

電子ペーパーは、電子新聞、電子書籍、電子広告、電子掲示板、モバイルノートなどに応用されるが、動画表示が可能になれば、パソコンのディスプレイ、テレビのディスプレイ、携帯電話のディスプレイなどにも利用することが可能になる。

電子ペーパーの種類として、帯電粒子を流動させるものと液晶の2つがある。帯電粒子を流動させるものには、マイクロカプセル型電気流動式というものがある。これは電子ペーパーのフレキシブル基盤中に、絶縁体の液体が入ったマイクロカプセルを導電性のフィルムで挟み、電場をかけることで文字が浮かんだり消えたりする仕組みである。これによって、高コントラストを実現できる。

川口研究室では、絶縁体液体となじみのある非極性媒体中で高分子微粒子より比重が軽く分散しやすい高精細な素子となる微粒子を、分散重合により合成することに成功している。

4. 感想

今回の研究活動では、見たこともない器具を使い、体験したことのない実験ばかりで、初めはとても難しく感じられました。しかし、大学での研究に触れたことで、まだ自分が知らなかった多くのことを学ぶことが出来ました。また、新たな技術として電子ペーパーというものを学び、その発想に驚きました。これからは地球環境に配慮した技術を開発しなければならないということを、改めて実感しました。

大学での勉強は高校の勉強よりもはるかに難しいということを実感できたことで、今は、高校でしっかりと知識を養い、大学での勉強についていけるようにしたいです。

複雑ネットワークの分析

山形県立小国高等学校 国際文理コース2年 見川 尚輝

1. はじめに

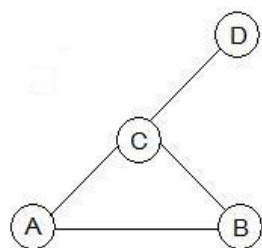
山形大学工学部と小国高校の研究活動協定に基づき、2010年8月2日から6日までの5日間、山形大学工学部情報科学科の田中研究室で、複雑ネットワークの分析に関する研究および大学生活を体験してきた。

2. 複雑ネットワーク

インターネット、道路網、航空路線、送電線 etc…といったあらゆるものが、複雑なネットワークを構成している。ネットワークとは一般に、ノード（頂点）とリンク（枝）から構築されている。例えば、インターネットでノードに相当するものはルータであり、リンクに相当するものはルータを繋ぐ配線である。また、いくつかの点（ノード）を無作為に打ち、それらを適当に線（リンク）で結んだものもネットワークとなる。

これらの例でのリンクは全て物理的な線で表されるが、それ以外にも関係性が見出されれば全てネットワークとなる。例えば、一人の人間をノード、その人の友人・知人の関係をリンクと見なせば、それは友人・知人のネットワークとなり、人間関係などを知る手がかりとなる。今回の研究体験で私が研究したものは、まさにこれである。

このように、さまざまなネットワークを分析することで、効果的な情報伝達や効率的な物流網づくりなどに役立てることができる。



ノードとリンクのイメージ

A～D：ノード

ノード結ぶ線：リンク

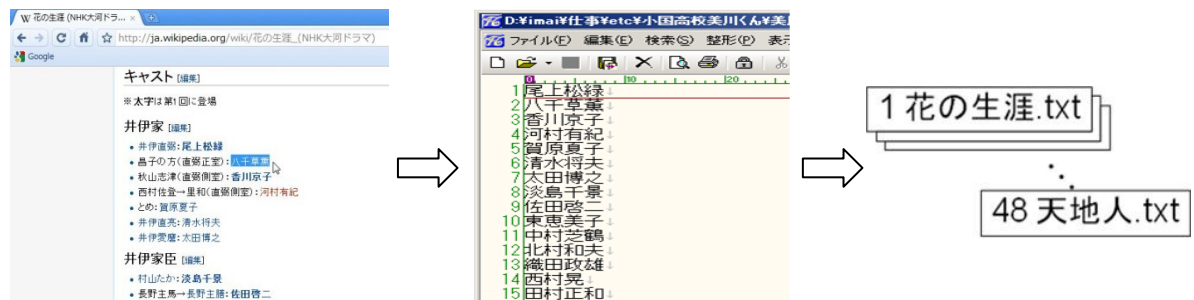
3. 研究概要

2009年までのNHK大河ドラマ48作品において、1人の役者を1つのノードとし、同じ作品に共演した役者同士を1本のリンクで結ぶ。このときに出来た大河ドラマ出演者のネットワークを解析する。

4. 研究内容

(1) テキストファイルの作成

インターネット上の出演者のデータをもとに、テキストファイル「1作目.txt」～「48作目.txt」を作成する。



(2) テキストファイルの加工

テキストファイルを解析できる形式に加工する。使用したソフトウェアは以下の通りである。

- ・NoEditor (テキスト編集ソフトウェア)
- ・Pajek (ネットワーク解析ソフトウェア)
- ・OpenOffice (表計算ソフトウェア)

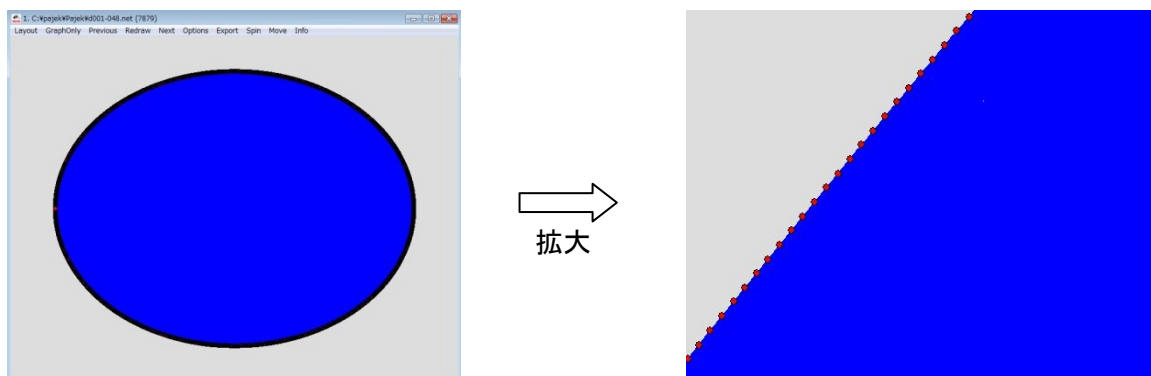
これらを用い、ネットワークデータファイル「d001-048.net」を作成する。

(3) データの解析

『Pajek』を用い「d001-048.net」を解析し、「役者A」と「役者B」を結ぶ距離を表示する。すなわち、役者間ネットワークの可視化を行う。

(4) 解析結果

ノード数が 7879、リンク数が 505314 となった。



上図の左が可視化したグラフである。右の拡大図でようやく見える赤い点がノードである。青い部分は無数のリンクが重なっている。

また、役者間の距離は以下の通りとなった。

ホップ数	役者ペア数
1 ホップ ○—○	746, 352
2 ホップ ○—○—○	17, 310, 834
3 ホップ ○—○—○—○	2, 513, 574

この結果から、大河ドラマの共演者ネットワークにおける役者間の距離は、最大でも3ホップ（多くは2ホップ）であることがわかった。

例) アグネス・チャンと妻夫木聡は、3ホップで繋がっている。(右図)

このネットワークでは、その規模に比べて極めて小さいホップ数で繋がっている。これを「スモール・ワールド現象[1]」という。



[1] 「知り合い関係を芋づる式にたどっていけば、比較的簡単に世界中の誰にでも行き着く」という仮説。

5. おわりに

私は8月2日に初めて、「大学」という場所に足を踏み入れました。最初は期待よりも不安のほうが大きく、5日間という短い期間ながらもやっていけるのか心配でした。しかし、田中先生や今井さん、そして研究室の大学生と大学院生の皆さんが話しかけてくださったおかげで、気持ちが楽になりました。

今回の研究体験では、「地道な作業の繰り返しで、新たな発見や結果を生む」ということを、よく学ぶことができました。そして結果が出たときの喜びは、とても大きなものでした。

最後になりますが、お世話になった田中先生、懇切丁寧にアドバイスをくださった今井さん、研究室の大学生と大学院生の皆さん、本当にありがとうございました。