

主に数値計算系の

卒論の書き方

慶應義塾大学理工学部物理情報工学科
渡辺

卒論を書く前に

Q: 卒論で一番大事なのは？

1. 結果の新規性
2. 適切な引用
3. 体裁
4. ストーリー



卒論を書く前に

Q: 卒論で一番大事なのは？

もちろん
大事ですが

1. 結果の新規性
2. 適切な引用
3. 体裁
4. ストーリー
5. バックアップ



期日までに提出することが最も大事

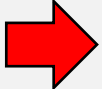
バックアップ方法

バックアップは**定期的**にとる

バックアップ頻度＝データが飛んだ時の手戻りの時間
最低でも毎日バックアップすること

バックアップは**リモート**にとる

自分のPCの別フォルダにコピーするのはダメ
USBへのコピーも信用できない

 **GitHubを使うことを強く推奨**

※ BoxでもDropboxでもなんでもよいが、どうせバージョン管理するので

GitHubによる卒論執筆管理

卒論執筆用リポジトリ

TeXファイル
bibファイル
図のファイル
図を作るためのデータ
図を作るスクリプト等

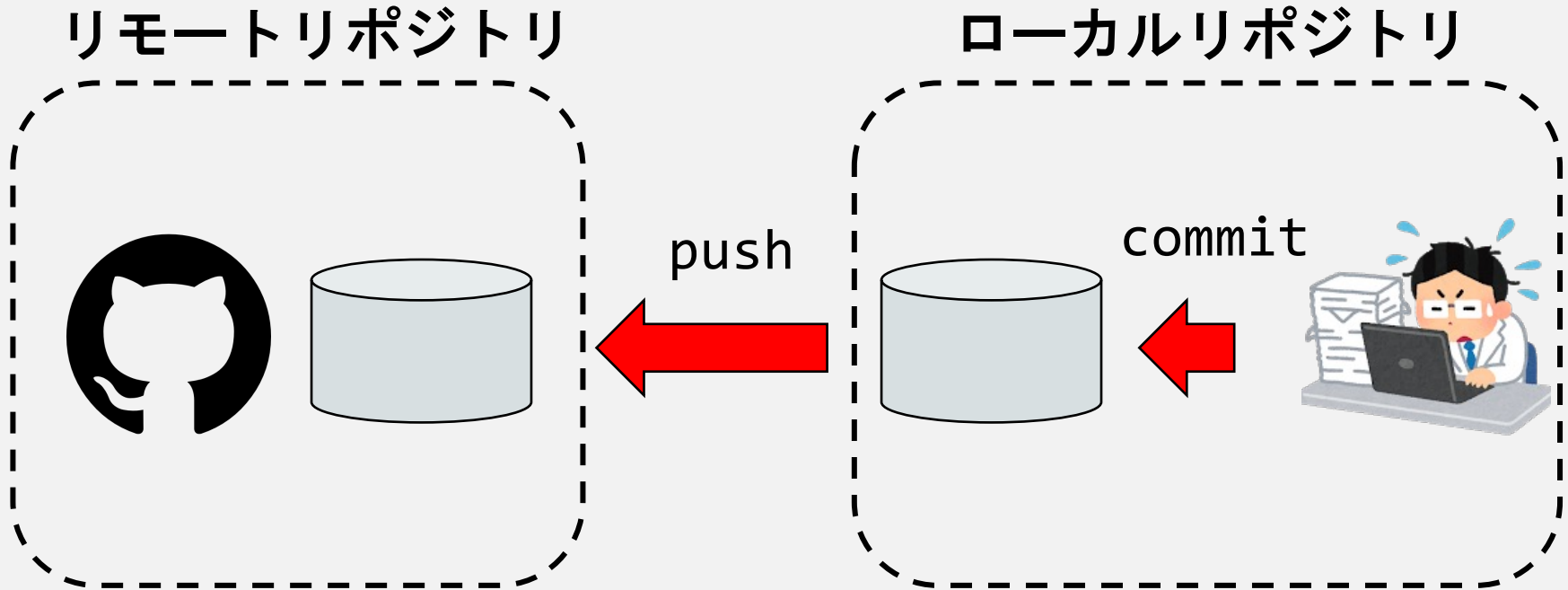
プログラム開発用リポジトリ

プログラムソース
インプットファイル
ジョブスクリプト等

- 卒論執筆用とプログラム開発のリポジトリを分ける
- 出力データはプログラム開発リポジトリにいない
- 図を作るためのデータは卒論執筆用リポジトリに入れる
- 大きなデータ(ダンプなど)はリポジトリに入れない

GitHubによる卒論執筆管理

Git/GitHubを使う場合のバックアップ＝push



コミットとプッシュの頻度



15分～1時間程度に一回

「ひとかたまり」の仕事ごとにコミット&プッシュ

いちいちパスワードを入力しないで済むようにssh-agentを使うこと

卒論を書く前に

Q: **卒論の中身**で一番大事なのは？

1. 手法の独自性
2. 結果の新規性
3. 十分なサーベイ
4. 適切な引用



卒論を書く前に

Q: **卒論の中身**で一番大事なのは？

もちろん
大事ですが

1. 手法の独自性
2. 結果の新規性
3. 十分なサーベイ
4. 適切な引用
5. **ストーリー**



「一つの論文」として、一貫したストーリーを持つことが大事

卒業論文の構成

背景・目的
手法
結果
考察

なぜこの研究を行うか(イントロダクション)

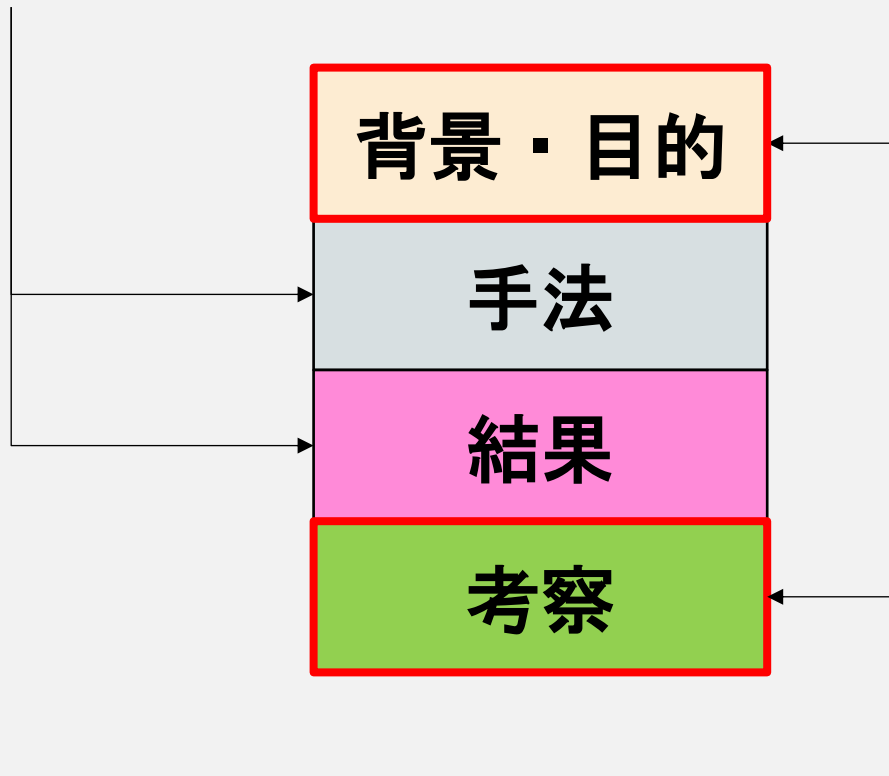
この研究をどのように行うか

どのような結果が出たか

この研究にはどんな意味があるか

卒業論文の構成

自分のやったことをがんばって書きがちだが



卒論は**こっち**を書く練習

卒論のストーリー

ありがちなパターン

背景

いまAという分野が注目されており、分野AではXという手法が主流である

目的

手法Xの精度を改善する

手法

手法Xを修正した手法X'を考案した

結果

X'はXに比べて20%精度が改善した

考察

手法Xの精度改善という目的を達成できた

対応している？

一見、目的と考察が対応しているように見える

卒論のストーリー

イントロダクション(背景+目的)の役割：
読者に「この研究は必要だ」と納得させる

背景

いまAという分野が注目されており、
分野AではXという手法が主流である

分野Aが注目されているのはなぜか？
手法Xが主流なのはなぜか？

目的 手法Xの精度を改善する

なぜ手法Xの精度を改善する必要があるのか？
どのくらい改善したいのか？

卒論のストーリー

背景

いまAという分野が注目されており、
分野AではXという手法が主流である



背景

近年、Aという分野は発展を続けており、
様々な応用例が提案されている[1-5]。Aと
いう分野では、X、Y、Zという多くの手
法が提案されたが、計算量と精度のバラ
ンスから、現在は手法Xが主流である[6,7]。

分野Aが注目されているのはなぜか？
→ 多くの応用成功例があるから
手法Xが主流なのはなぜか？
→ バランスが良いから

適切に引用しながらストーリーに説得力をもたせる

卒論のストーリー

目的 手法Xの精度を改善する



目的 手法Xを分野Bにも適用したいが、分野Bで実用的に使うには最低でも正解率〇〇%は必要となる。そのためには精度を40%改善したい。

なぜ手法Xの精度を改善する必要があるのか？

→ 分野Bにも適用したいが、現状では精度が足りないからどのくらい改善したいのか？

→ 40%は改善したい

読者が納得するような「ストーリー」を作る

卒論のストーリー

考察では「イントロで提示した問題」に答える

手法Xを分野Bに適用したいから精度を改善したい



「考案した手法X'は分野Bに適用できるのか？」
に答えなくてはならない

対応しているか？

本研究により20%という精度改善を得られた。しかし、分野Bに利用するためにはさらなる改善が不可欠である。より精度を改善するには・・・

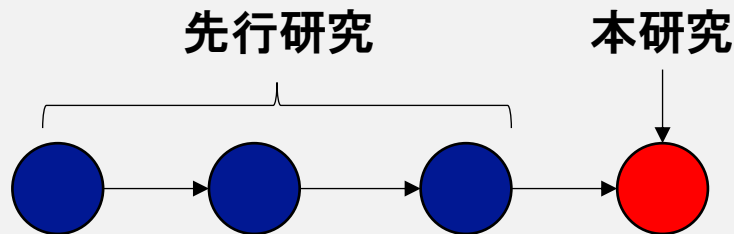
卒論のストーリー

研究の「ストーリー」は、概ねこんな形となる

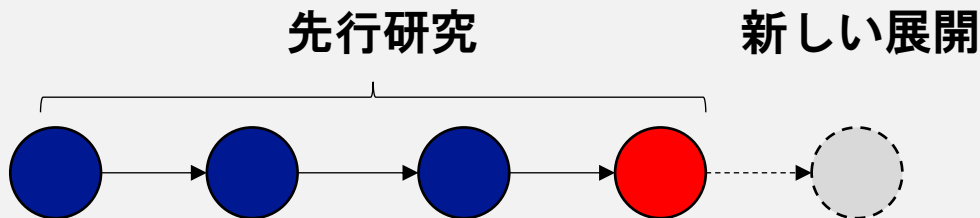
- [大きな背景] なにか大きな目的Aを達成したい
- [小さな背景] その目的Aのサブタスクaを達成したい
- [先行研究紹介] そのためにこんな研究が行われてきた
- [問題提起] でもまだこんな不満がある
- [目的の説明] その不満をこんな形で改善したい
- [手法の説明] 具体的な不満の改善方法
- [結果の説明] どれくらい不満は解決できたのか？
- [まとめと考察] この研究はどんな意味を持つか？

研究の流れ

研究には「流れ」があり、新しい研究は、その一部となる



いずれこの研究も「先行研究」の一部となる



考察には

- この研究は「研究の流れ」においてどんな意味を持つか
 - この研究の先にどんな展開があるか
- を書く

ここまでのまとめ

卒業論文で重要なのは
「バックアップ」と「ストーリー」

「がんばったこと」ではなく「読者が知りたいこと」を書く
「大きな研究の流れ」の中の「本研究の位置づけ」を明確に

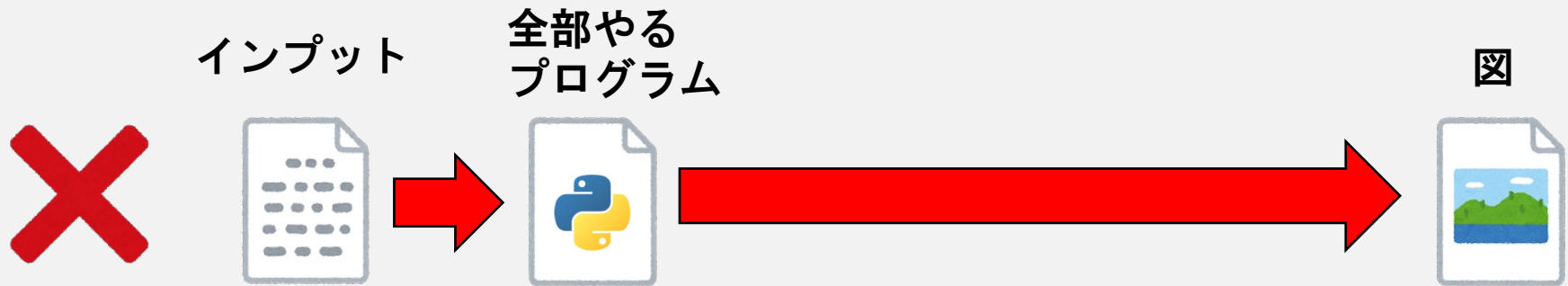


上記を実施するには論文をたくさん読む必要があります。がんばりましょう・・・

以下、テクニカルな注意点

図とデータ

計算と図の作成を一度にやらない



- 線の太さや軸のフォントなど、図はなんども作り直すから
- 結果ファイルと図の作成プログラムを論文リポジトリに入れたい

図とデータ

図はデータからコマンド一発で作る

手順の記録

Excel等で作ると、後でどうやってその図を作ったか忘れてしまう。最初は面倒でも、スクリプトにしておけば、後から何をしたかがわかる

修正が容易

「図のフォントを全部大きくして」と言われても、スクリプトで作ってあればsed一発で済む

図とデータ

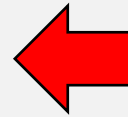
図とスクリプトのファイル名は揃える

pressure.plt

```
set term pdf
set out "pressure.pdf"
set xlabel "t"
set ylabel "P"
p "pressure.dat" pt 6 t "Data"
```

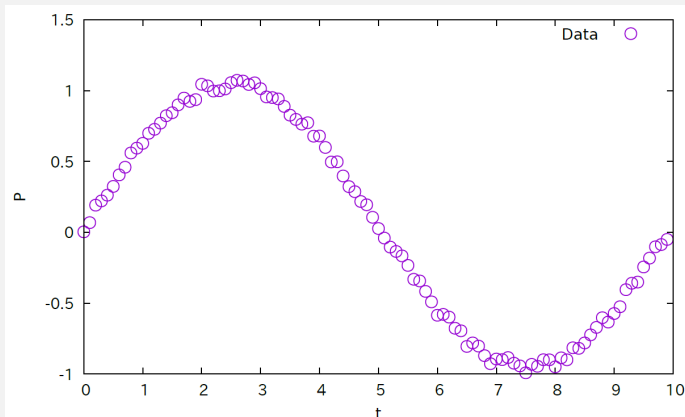
pressure.dat

```
0.000000 0.041263
0.100000 0.143985
0.200000 0.188462
0.300000 0.241296
0.400000 0.264365
0.500000 0.309186
0.600000 0.444013
....
```



\$ gnuplot pressure.plt

pressure.pdf



hoge.pdfを作りたいければhoge.pltや
hoge.pyを探せばよい

図とデータ

コマンド一発で図が全てできるのが望ましい

pressure.datとtemperature.datから
pressure.pltとtemperature.pltを使って
pressure.pdfとtemperature.pdfを作る

} Makefile

```
all: pressure.pdf temperature.pdf

%.pdf: %.plt %.dat
    gnuplot $<
```

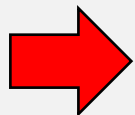
「そのディレクトリに入ってmakeしたら必要なものが揃う」
という状況を作る

※ Pythonやシェルスクリプト等でも良い。とにかくコマンド一発で。

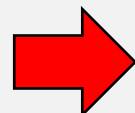
図の作り方

図の役割は主に**比較**

理論値と実験値が**合っている/合っていない**
提案手法が既存手法よりも性能が**向上した/していない**
パラメータを変化させると計算量が**増えた/減った**
etc.

 比較したいものを一つの図にまとめる

図一つにつき、メッセージ一つ

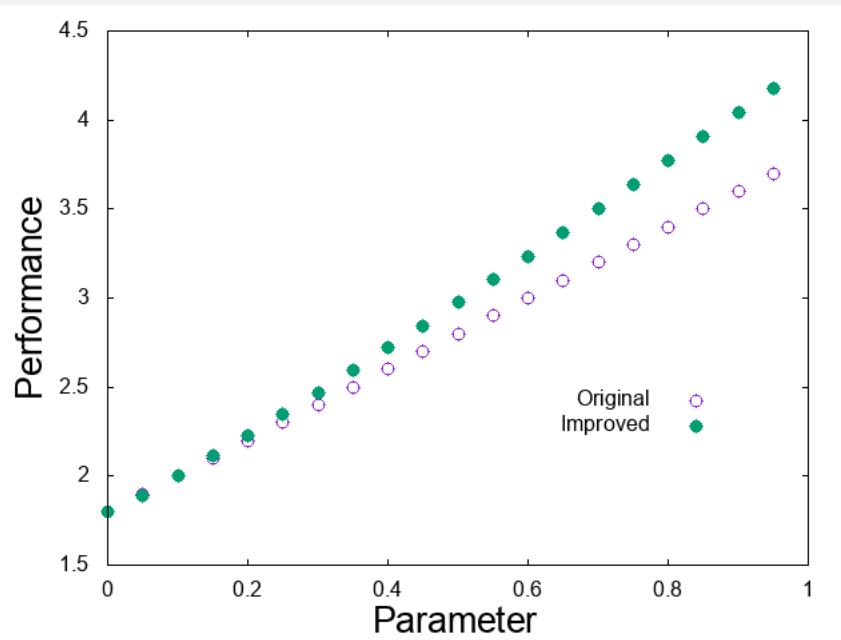
 複数の情報を一つの図に詰め込まない

図の作り方

主張

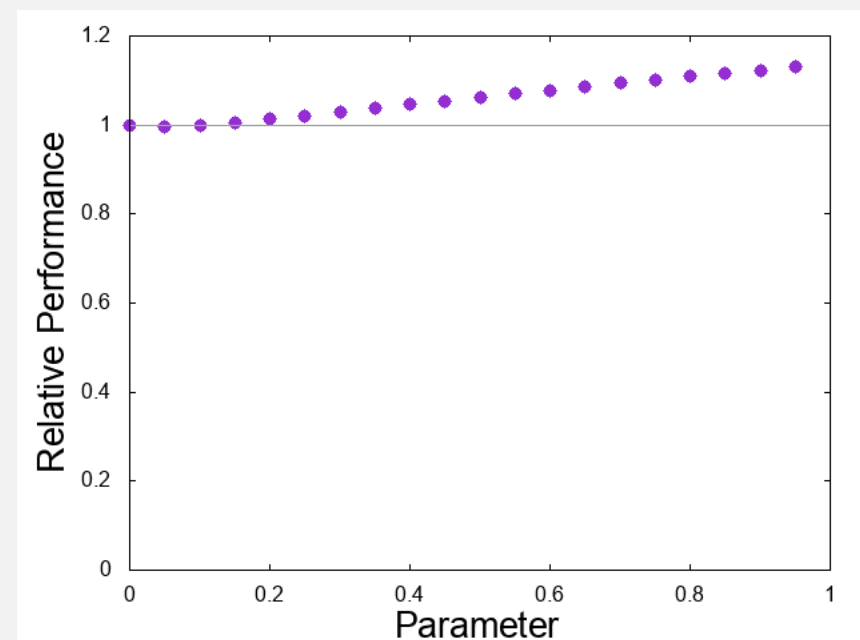
パラメタが大きいところで既存手法Xに比べて提案手法X'の方が性能が良い

それぞれの性能の絶対値をプロット



どれくらいよくなったのか
わかりづらい

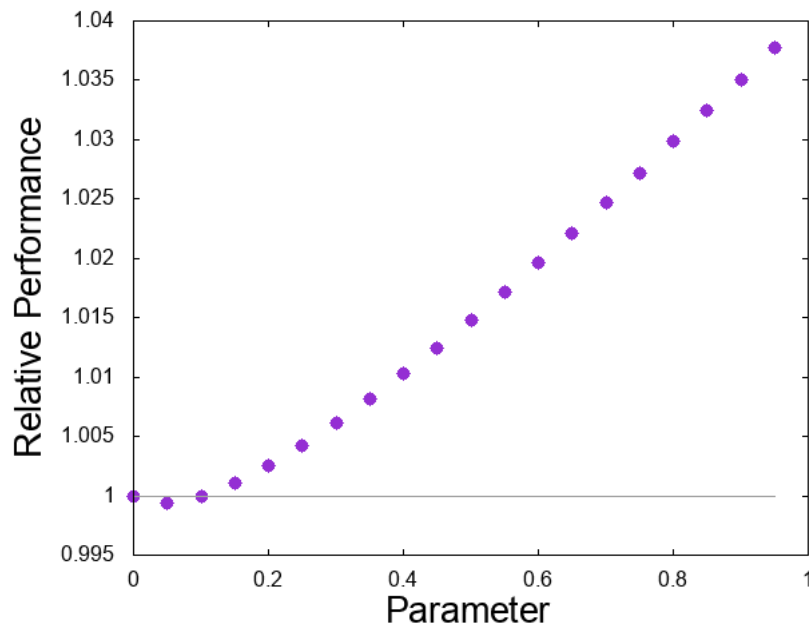
X'とXの性能比をプロット



性能向上が10%以上20%未満で
あることがすぐにわかる

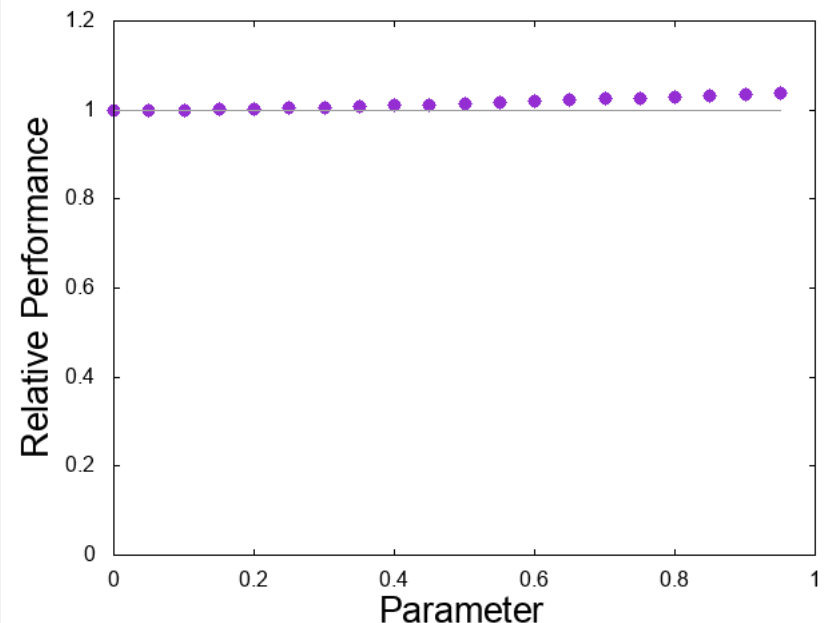
図の軸の「範囲」は適切に

X'/Xの性能比 (不適切版)



一見、大幅に性能向上しているように見えるが . . .

X'/Xの性能比 (適切版)



y軸の範囲を0からとると性能向上はさほどでもないことがわかる

比較したいものを同じ図に

主張

手法Xに比べ、手法Yは**精度**を上げやすいが**計算量**も増える

図1(a) 手法Xの精度と計算時間

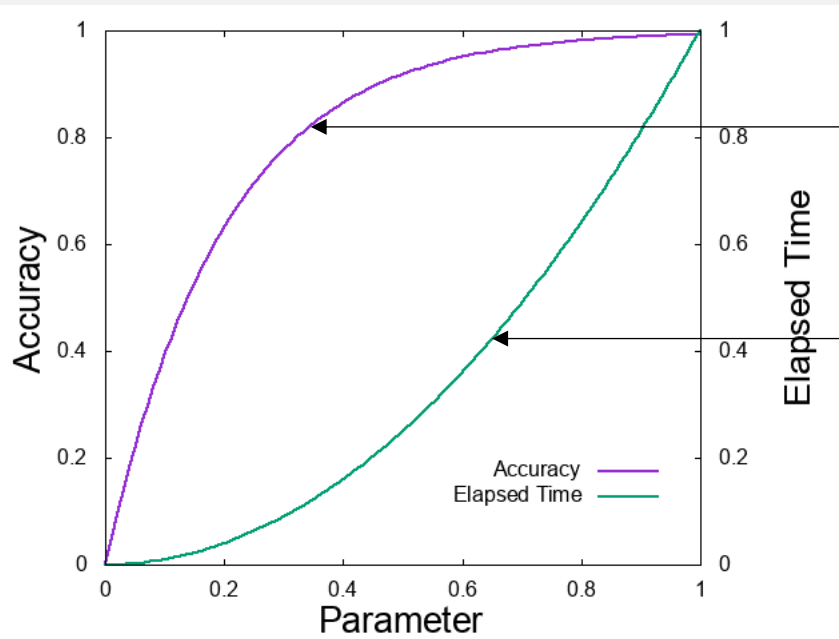
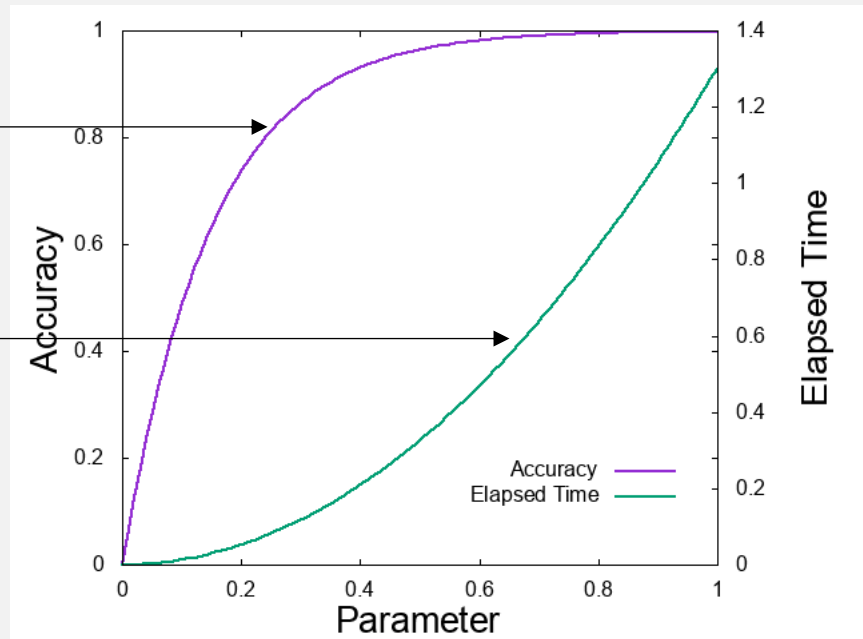


図1(B) 手法Yの精度と計算時間



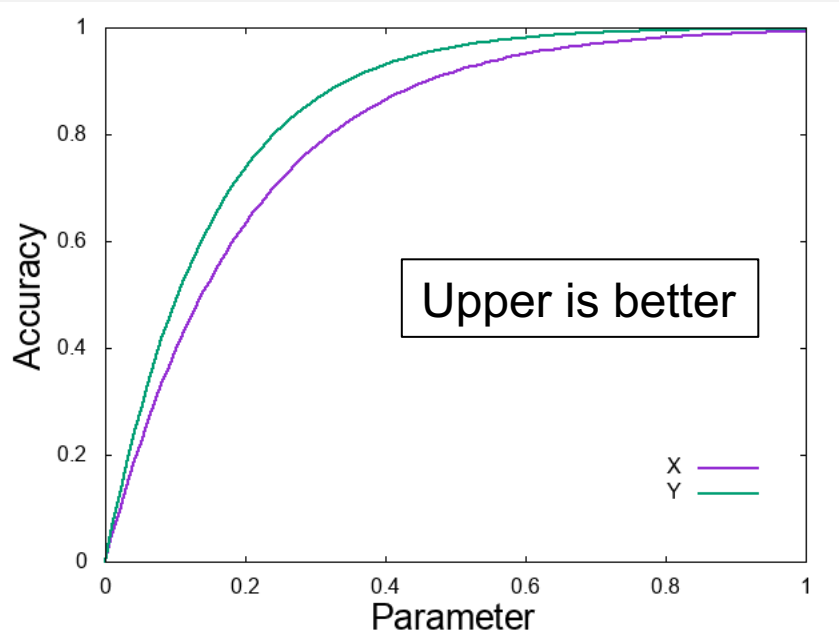
- 比較したいものが別の図に分かれていて分かりづらい
- 高いと良いもの(精度)と低いと良いもの(計算時間)が混在している

比較したいものを同じ図に

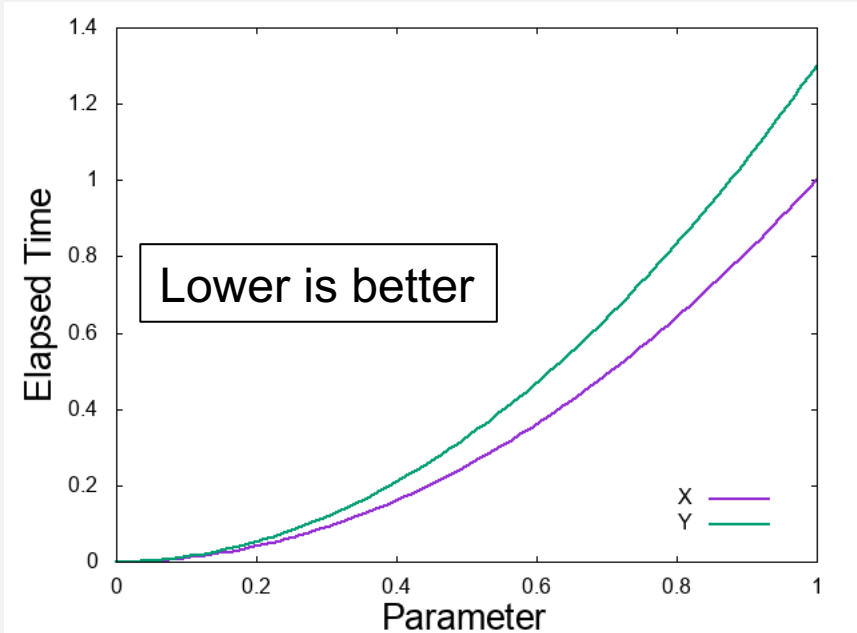
主張

手法Xに比べ、手法Yは**精度**を上げやすいが**計算量**も増える

手法X,Yの精度



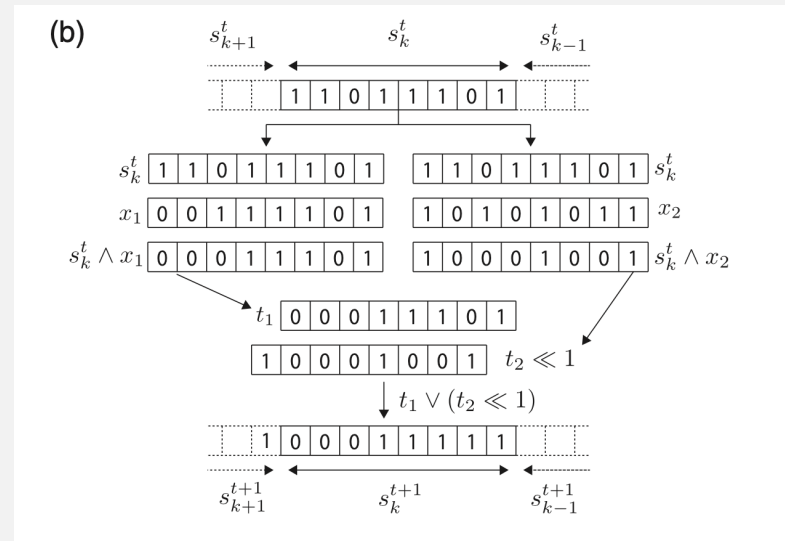
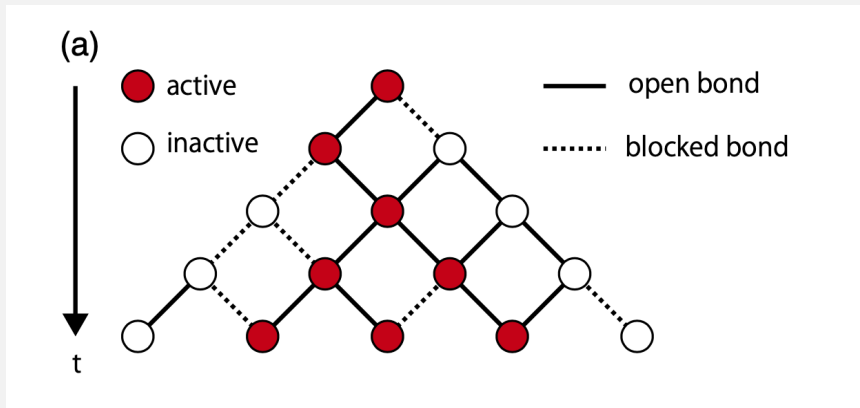
手法X,Yの計算時間



主張したいことが明確になるように図を作る

ポンチ絵の作り方

ポンチ絵：読者の理解を助けるための概念図



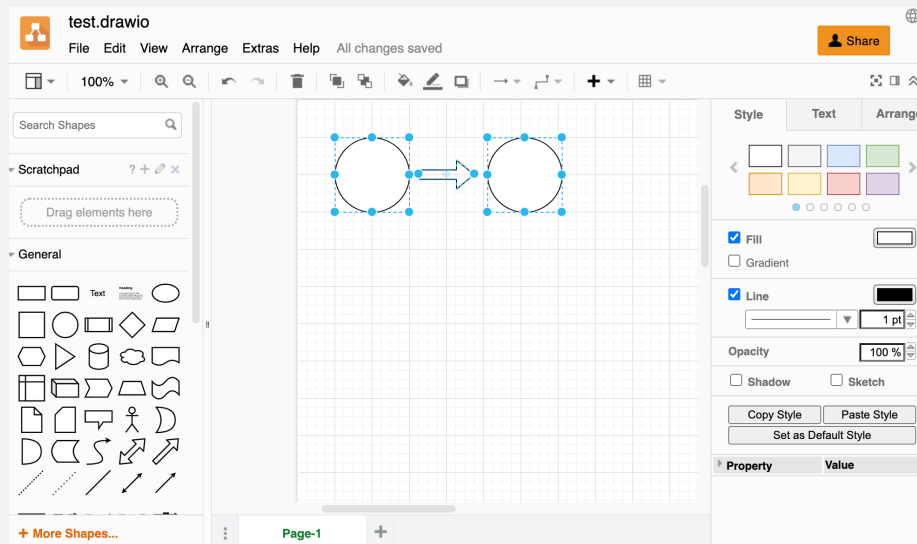
HW, S. Morita, S. Todo, N. Kawashima, J. Phys. Soc. Jpn. **88**, 024004 (2019)

複雑な手順や、実験のセットアップ等、文章だけでは
わかりづらいものを図示する

ポンチ絵の作り方

ポンチ絵を作る手段

- PowerPointで作ってPNGで「図として保存」
- Adobe Illustratorで作成してPDFで保存
- draw.ioで作成してExport asでPDFで保存



好きな方法で作成して良いが「元のファイル」を一緒にバージョン管理すること (PowerPointならpptx、イラレならai等)

※ (僕がいうのもなんだが)卒論の図では「いらすとや」の多用などは避ける

引用の仕方

著作権法第32条1項

公表された著作物は、引用して利用することができる。この場合において、その引用は、**公正な慣行に合致**するものであり、かつ、報道、批評、**研究**その他の引用の目的上**正当な範囲**内で行なわれるものでなければならない。

引用は

- 卒業論文の執筆にその引用が不可欠であり(**必然性**)
 - どこまでが引用かがはっきりわかる形で(**明瞭区別性**)
 - 引用する側が質・量ともに主となるように(**主従関係**)
 - どこから引用したかがわかるように(**出典の明示**)
- 行う必要がある(※)

引用の仕方

引用の無い文章は「著者のオリジナル」とみなされる

Aという手法にはBという問題がある。

→ 著者がそう思っている。

Aという手法にはBという問題がある[4]。

→ 文献[4]の著者がそう指摘している。

Aという手法にはBという問題がある[4-8]。

→ 多くの人が問題だと認識している。

引用の仕方

引用するのは原則として書籍か査読論文

 できるだけウェブサイトの引用は避ける

- ・ 「まっとうなサイト」なら、文献が引用されているはず
- ・ 必ず「原典」にあたって、内容を確認する

 arXivを引用する際は出版されていないか確認する

- ・ 機械学習の論文はarXivを引用することが多いが、有名な論文はカンファレンスペーパーになっていることが多い
- ・ タイトル等で検索してみる

体裁等についてはBibTeXを使えば自動的に満たされるはずなので略

引用の仕方

コピペはダメ！ゼッタイ！



引用の仕方

たとえ引用をしていても「コピー」はしてはいけない

- 引用は、その文献を読んで**自分の言葉で**理解したことを書く
- 文章をそのまま載せたい場合は、カギカッコで示すか、quotation 環境を使うなど「引用である」ことがわかるようにする

※ 理系で参考文献の文章をそのまま引用することは少ないはず

目立つのが、語句説明のWikipediaからのコピー

※ たまに投稿論文で見つけてびっくりする

- Wikipediaに頼りたくなるのは**文献の読み込み不足**
- 教科書や論文をちゃんと読み、**自分の言葉で書く**こと

インターネットの画像について

原則としてインターネット検索で見つけた図は卒論で使わない



特に画像検索で見つけた図は、著作権者がわかりにくいことが多い
企業などのサイトにある画像の利用は、ほとんどの場合において事前に
書面による許諾が必要

 必要な図は自作する



結果について

「当初の見込みに沿った結果が出るのが成功」ではない
「やったけれどできなかった」は立派な成果

- 研究の目的は「人類の知に資する」こと
- 「ネガティブな結果」も、後進の試行錯誤を減らす

今回の研究結果



変に取り繕ったりせず
結果は誠実に書くこと

まとめ

- 卒業論文は期日までに完成版を提出するのが最重要課題。計画的に執筆し、バックアップもしっかり取ること。
- 卒業論文はフォーマットやストーリー、引用の仕方など、科学技術論文の書き方を学ぶのが大きな目的。細かい記述ミスがないがしろにしないこと。