

格子上の場の理論 ハンズオン part2

Julia で格子QCDを始めてみよう



<https://github.com/JuliaQCD>



A. Tomiya, Y. Nagai

<https://arxiv.org/abs/2409.03030>

2024/09/05 東京女子大学 富谷昭夫 akio@yukawa.kyoto-u.ac.jp

もくじ

- 格子QCDのコード？
- JuliaQCDの構造
- ハンズオンでやることと 熱浴法について
- ハンズオン追加課題

格子QCDのコード？

格子QCDの計算には手間がかかる

- 今までの講義でみてきた通り...
 - 格子QCDの標準アルゴリズム: HMC(ハイブリッドモンテカルロ)
 - SU(3)変数の解析力学系
 - ディラック演算子 = 1万x 1万 の連立方程式
- 毎回上記のコードを書くのは大変& 無駄。
 - 環境依存性があると移植が大変
 - 高速化のノウハウが失われる
- 格子QCDが扱える公開コードがほしい → いっぱいある。

格子QCDのコード?

QCDの公開コードたち



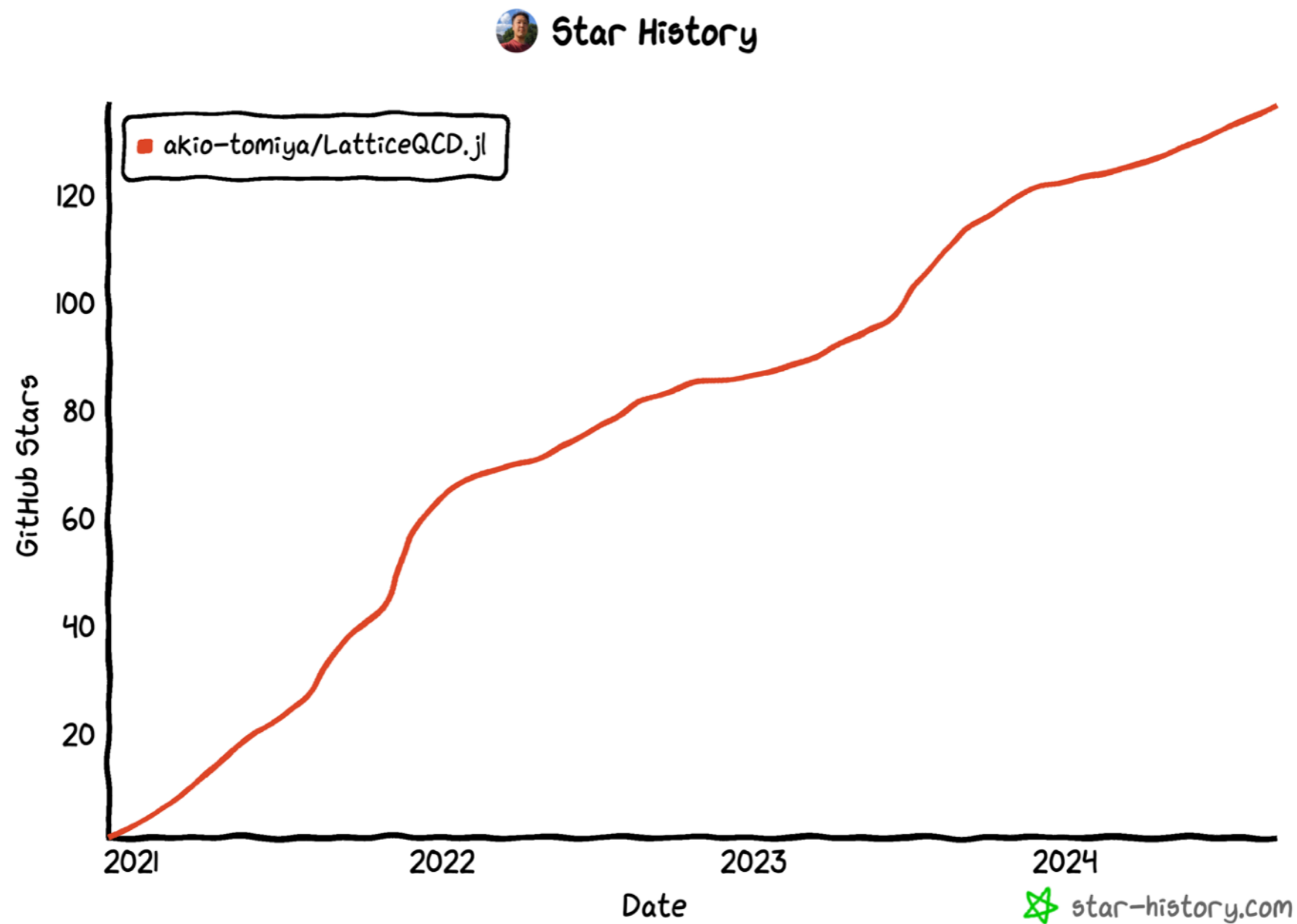
Name (Historical order, old-)	Language	URL	Paper
MILC code	C/C++	https://github.com/milc-qcd/milc_qcd	https://inspirehep.net/literature/321665
Lattice Tool kit	Fortran	https://nio-mon.riise.hiroshima-u.ac.jp/LTK/	NPB Proc.Suppl. 106 (2002) 1037-1039
CPS (Columbia physics system)	C/C++/Assembler	https://github.com/RBC-UKQCD/CPS	https://arxiv.org/abs/hep-lat/0306023
Chroma	C++	https://github.com/JeffersonLab/chroma	arXiv:hep-lat/0409003
QUDA(backend)	C++/CUDA	https://github.com/lattice/quda	arXiv:1011.0024
Bridge++	C++	https://bridge.kek.jp/Lattice-code/index_e.html	J.Phys.Conf.Ser. 523 (2014) 012046
Grid	C++	https://github.com/paboyle/Grid	arXiv:1512.03487
JuliaQCD	Julia	https://github.com/juliaqcd/	https://arxiv.org/abs/2409.03030
SimuLATEQCD	C++/CUDA	https://github.com/LatticeQCD/SIMULATEQCD	https://arxiv.org/abs/2306.01098

他にもある

なぜJuliaQCDを作ったか?

1. 格子QCDは重い計算なのでJuliaの良いベンチマーク。
2. 明示的なコンパイルがいらぬ。 **スパコンでもノートパソコンでも同じ様に動く**
 1. 上記のコードにはコンパイルや環境構築が難しいのもある
3. 「開発時間」 + 「実行時間」の和が小さいコードがほしい (新アルゴリズム開発)

おかげさまで順調にユーザーが伸びています



Lattice2024 国際会議でも

このコードを用いた研究がいくつか報告されました。

もくじ

- 格子QCDのコード？
- JuliaQCDの構造
- ハンズオンでやることと熱浴法について
- ハンズオン追加課題

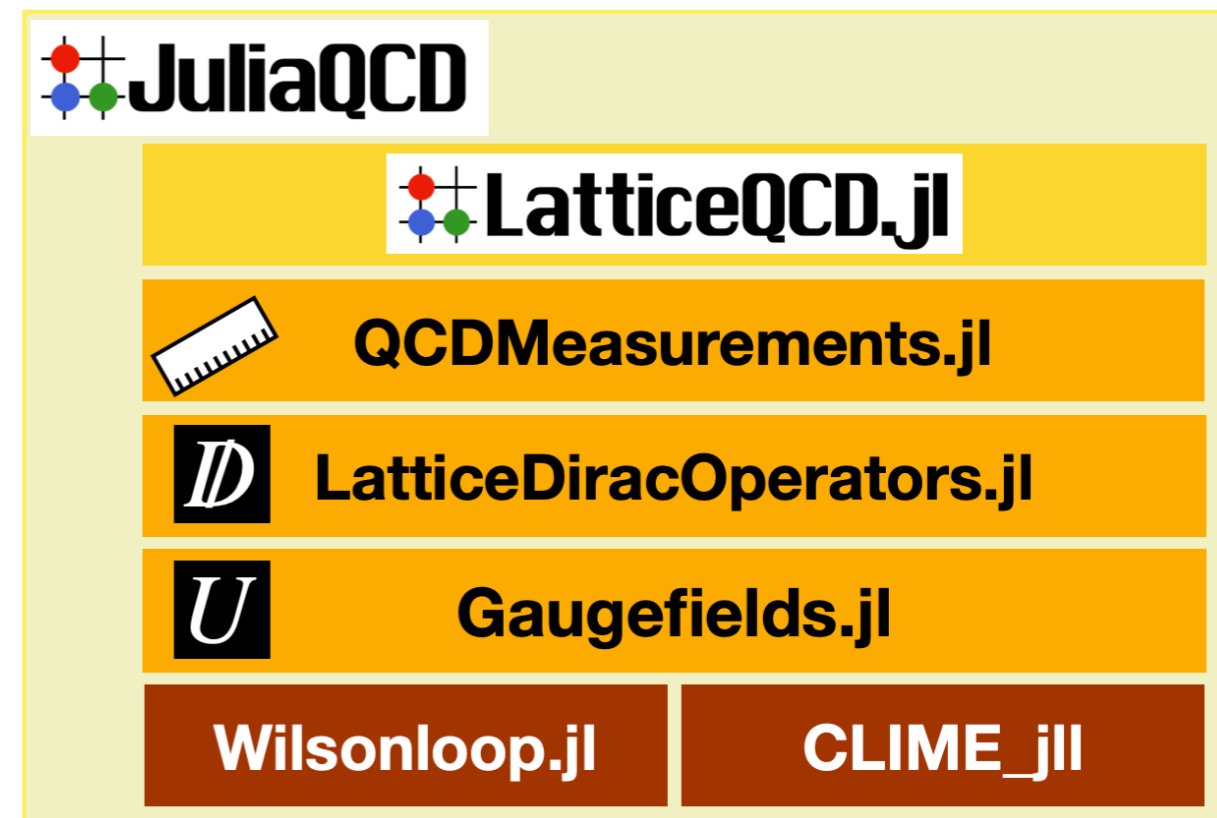
JuliaQCDの構造

プロジェクト名: JuliaQCD

<https://github.com/JuliaQCD>

<https://arxiv.org/abs/2409.03030>

- LatticeQCD.jl: 以下のパッケージのラッパー。
簡易的に実行可能
本演習(part2)ではこれを使います
- QCDMeasurements.jl: QCDの物理量を測定。
カイラル凝縮, π 中間子の伝播関数, Wilson loop等
- LatticeDiracOperators.jl: 格子フェルミオン
(Wilson, Staggered, DW)、ソルバー等
- Gaugefields.jl: SU(N)ゲージ場を扱う
最近、Zn ゲージ場が入りました (**)
- Wilsonloop.jl: 様々なWilson Loopをシンボリックに
定義、リンクの積に変換
- CLIME: C言語のClime をラップしている、ILDG
format のゲージ配位の読み書きに使用



* LatticeDiracOperators.jl や
Gaugefields.jl はLatticeQCD.jlなしでも
も動作する (第3部)。

** Thanks to O. Morikawa

もくじ

- 格子QCDのコード？
- JuliaQCDの構造
- ハンズオンでやることと 熱浴法について
- ハンズオン追加課題

ハンズオンでやることと熱浴法について

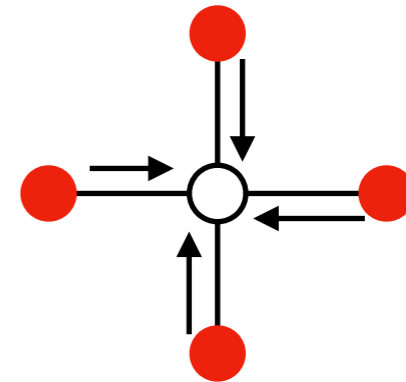
ハンズオンでやること

- π 中間子の質量を測る
 - 入力1: ゲージ結合定数 (等価だが $\beta = 6/g^2$)、(格子間隔)
 - 入力2: クォーク質量 m (等価だがホッピングパラメータ $\kappa = 1/(2m+8)$)
cf 石川さん、菊川さんの講義
 - (他、体積等色々)。
 - ゲージ場の配位を作りながら π 中間子の伝搬関数を測定
cf 石川さん、金森さん、富井さんの講義
 - この条件下での π 中間子の質量はいくつか。
cf スケールの設定(山田さんの講義)
- クォークからくる量子効果は無視する(クエンチ近似)
 - **熱浴法**が使える

ハンズオンでやることと熱浴法について

熱浴法(heatbath algorithm)とは?

- 熱浴法 = 作用・ハミルトニアンが局所的な場合に使える配位生成法
- 格子ゲージ理論だと、動的フェルミオンがないとき(クエンチ近似)
- イジングモデルでの例
 - 最近接相互作用のみ
 - あるスピン s の周りを熱浴とみなして、 s をその熱浴中のスピンとみなして更新。
- ゲージ理論でも同様にできる。詳しくは[1]にある教科書などを参照のこと。機械学習でのギブスサンプリングと等価。



ハンズオンでやることと熱浴法について

ハンズオンでやること

- π 中間子の質量を測る
 - 入力1: ゲージ結合定数 (等価だが $\beta = 6/g^2$)、 (格子間隔)
 - 入力2: クォーク質量 m (等価だがホッピングパラメータ $\kappa = 1/(2m+8)$)
 - (他、体積等色々)
 - この条件下での π 中間子の質量はいくつか (クォーク質量等に依存)。
- クォークからくる量子効果は無視する(クエンチ近似)、**熱浴法**
- 実行ファイル(Jupyter notebook) https://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~akio.tomiya/filebox/handson_latticeQCDjl_v5-pub.ipynb.zip
- 虫食いになっているので、埋めて実行。10分~15分程度。終わった人は次ページ参照

やってみましょう。



π 中間子の測定が終わった人向け課題

LatticeQCD.jl で更に遊んでみる。以下は例題。

- 配位生成アルゴリズムをheatbath からHMC に切り替える。
 - step size で受容確率はかわる。
 - 結果はheatbath と等しいはず
- SU(3)からゲージ群を変えてみる。kappa を変えてみる。
- trajectory を伸ばしてみる。
- fermion をWilson からStaggered に変えてみる。
- Jackknife法を実装してみて統計誤差をつけてみる。

コントリビューター募集

LatticeQCD.jl等を改良しませんか

- JuliaQCDとしてパッケージ群をプロジェクトとしてまとめました
 - <https://arxiv.org/abs/2409.03030>
- 公開コードなので興味があれば機能を追加してみてください。



<https://github.com/JuliaQCD>