

Computer simulations create the future

2D-DMRG説明資料

理化学研究所計算科学研究機構
量子系物質科学研究チーム

神戸大学大学院システム情報学研究科

曾田 繁利



講習会のプログラム

14:00 – 14:05 はじめに

14:05 – 14:30 2D-DMRGの紹介

14:30 – 15:30 密度行列繰り込み群法の実行方法

15:30 – 16:00 (休憩)

16:00 – 16:30 動的密度行列繰り込み群法の実行方法

16:30 – 17:00 時間依存密度行列繰り込み群法の実行方法

17:00 – 17:20 質問、要望等

17:20 – 17:25 おわりに

2D-DMRGの概要

「京」向けソフトウェア研究開発：大規模並列密度行列繰り込み群(DMRG)法

- 動的密度行列繰り込み群法プログラム：「**Dynamical DMRG**」(公開中)
URL: <http://ma.cms-initiative.jp/ja/listapps/dynamicaldmrg>
- 2次元密度行列繰り込み群法プログラム：「**2D-DMRG**」(公開中)
URL: <http://www.aics.riken.jp/labs/cms/DMRG/>
開発者：曾田繁利、遠山貴己(東京理科大)、柚木清司(理研)
- 第一原理密度行列繰り込み群法プログラム：「**paraDMRG**(仮)」
(近日公開予定)

2D-DMRGの特徴

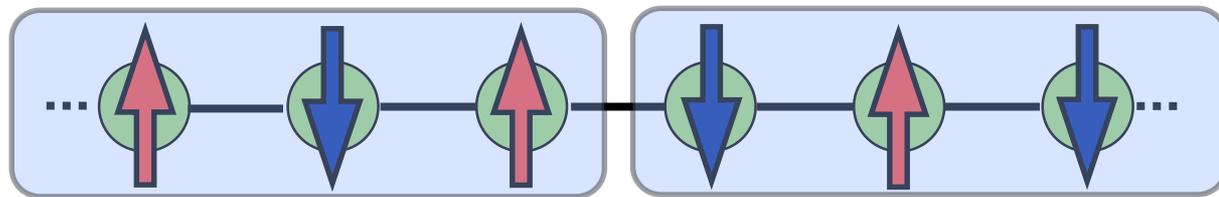
- 「京」コンピュータを始めとした大規模並列計算機向けDMRGプログラム群(DMRG、DDMRG、tDMRG)。
- 「京」全ノードで70%を超える実効性能。
- HPCI京コンピュータ利用課題でのべ19課題(一般利用、重点課題)で強相関量子系の研究に利用。
- ポスト京重点課題、萌芽的研究課題での利用を予定。
- 2015年8月より「京」コンピュータユーザーに一般公開(開発者(理研AICS)との共同研究であること)。

DMRG法：量子状態(ターゲット状態)を最適基底で表現

S. White, Phys. Rev. Lett. **69**, 2863 (1992)

システム: $\{|i\rangle\}$

環境: $\{|j\rangle\}$



$$|\Psi\rangle = \sum_{i,j} \Psi_{ij} |i\rangle |j\rangle$$

$$\approx \sum_{\alpha} \lambda_{\alpha} |u_{\alpha}\rangle |v_{\alpha}\rangle$$

“最適”基底: $\{|u_{\alpha}\rangle\}$

“最適”基底: $\{|v_{\alpha}\rangle\}$

特異値分解(Schmit分解)

$$\Psi_{ij} = \sum_{\alpha=1}^{D_s} U_{i\alpha} \lambda_{\alpha} (V^{\dagger})_{\alpha j}$$

$$|\Psi\rangle = \sum_{\alpha=1}^{D_s} \lambda_{\alpha} |u_{\alpha}\rangle |v_{\alpha}\rangle \approx \sum_{\alpha=1}^m \lambda_{\alpha} |u_{\alpha}\rangle |v_{\alpha}\rangle$$

m 個の最大特異値 λ_{α} で近似 ($m \ll D_s$)

・縮約密度行列

$$\rho_s = \text{Tr}_e |\Psi\rangle \langle \Psi| = \sum_{\alpha=1}^{D_s} \lambda_{\alpha}^2 |u_{\alpha}\rangle \langle u_{\alpha}| \approx \sum_{\alpha=1}^m \lambda_{\alpha}^2 |u_{\alpha}\rangle \langle u_{\alpha}|$$

(m が計算精度を決定)

1次元系に最適

DMRGで現実的な計算

- 1日程度で計算結果を出すことを仮定した場合

(必要な計算資源)

PC

(数十~数百GFLOPS)

研究室の
クラスタ

(数TFLOPS)

大学等の
スパコン

(数百TFLOPS)

京

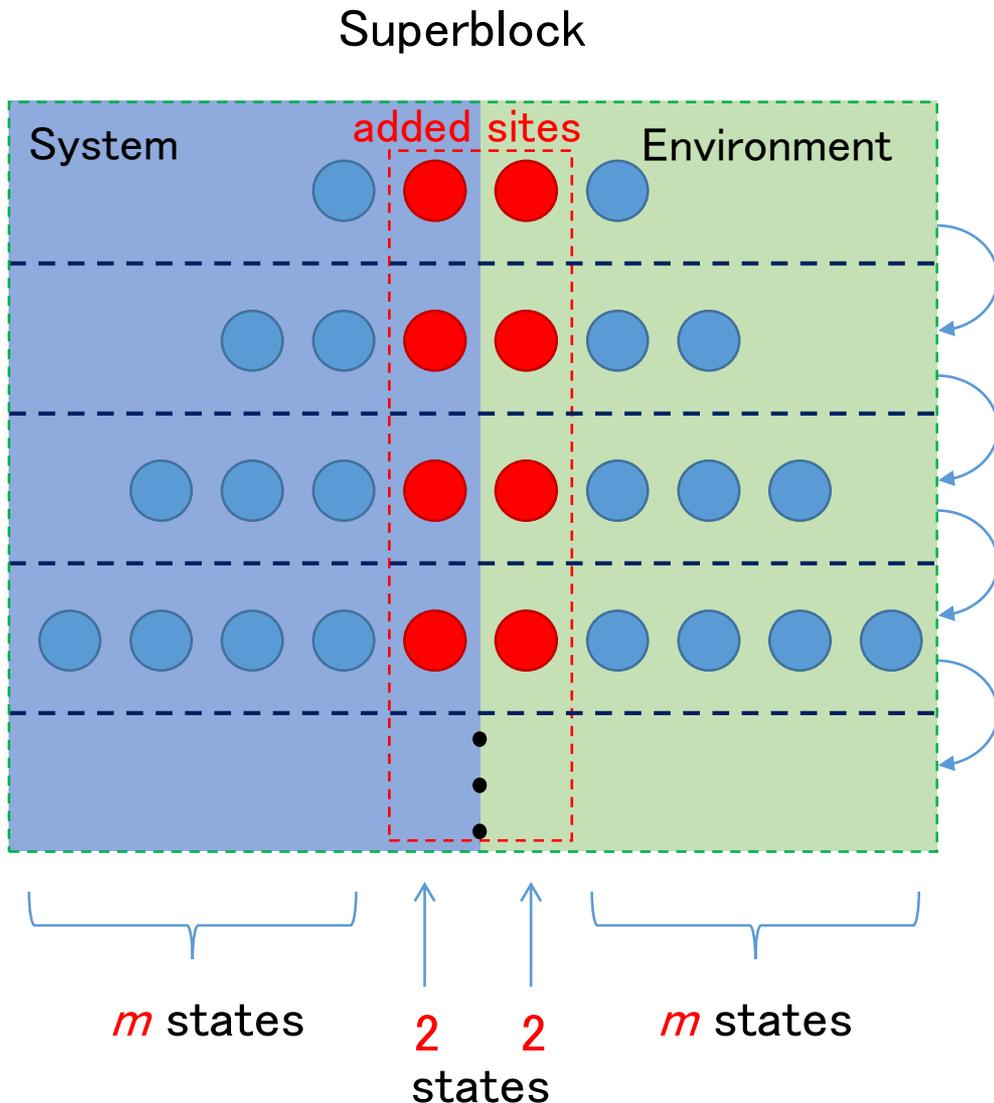
(10PFLOPS)

ポスト京

(~1EFLOPS)

- 一次元強相関係の基底状態
(DMRGの打ち切り次数: $m < 500$ の計算) (※ハミルトニアンの次元は $O(m^2)$)
- 一次元強相関係の有限温度の計算(有限温度DMRG)
- 一次元強相関係の量子ダイナミクス(動的DMRG、時間依存DMRG)
($m < 1,000$ の計算、エネルギー、時間、温度に対して複数回)
- 電子-格子相互作用を含む一次元強相関電子系
- 二次元強相関係の基底状態
- 二次元強相関係の量子ダイナミクス(DDMRG、tDMRG)
- 有限温度二次元強相関係の基底状態と量子ダイナミクス
- 三次元強相関係の基底状態

DMRG method (1)

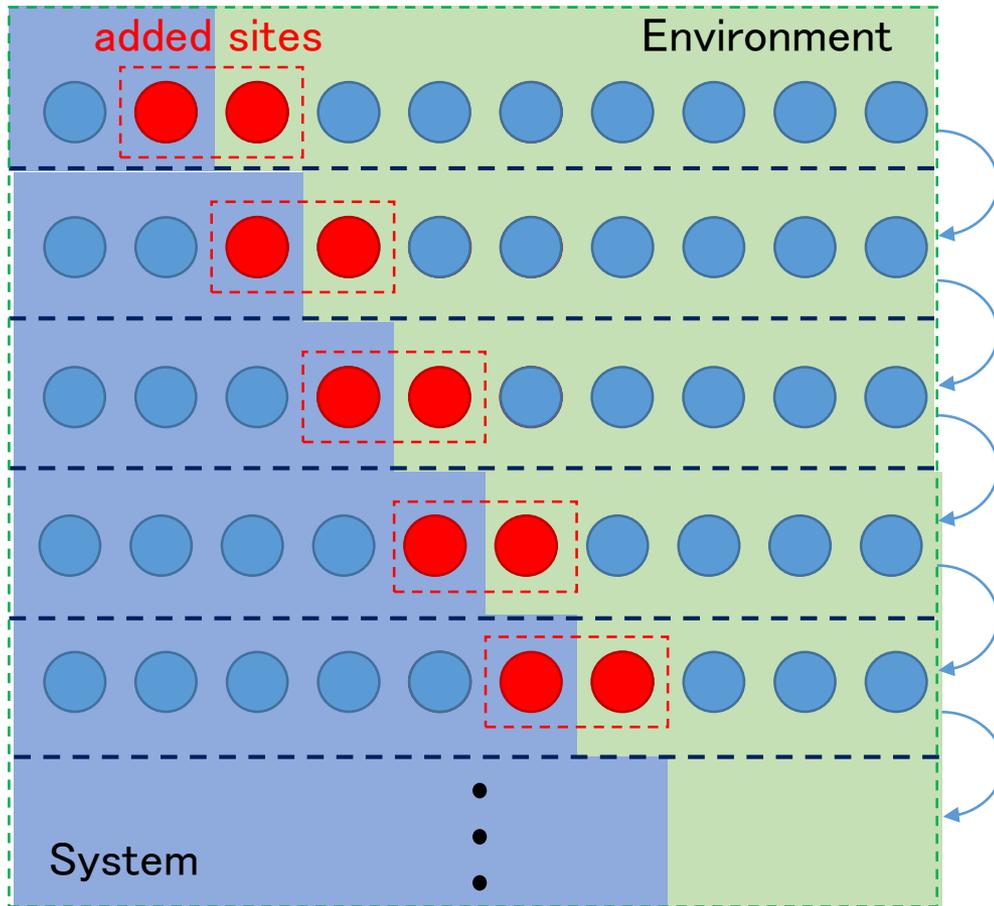


- DMRG algorithm

1. Calculate **the ground state** of superblock
2. Make the reduced density matrix
3. Diagonalize the density matrix using Lanczos et al.
4. Keep only **m basis states** to describe the system
5. Go back to 1 until the system size reaches to N

DMRG method (2)

Superblock



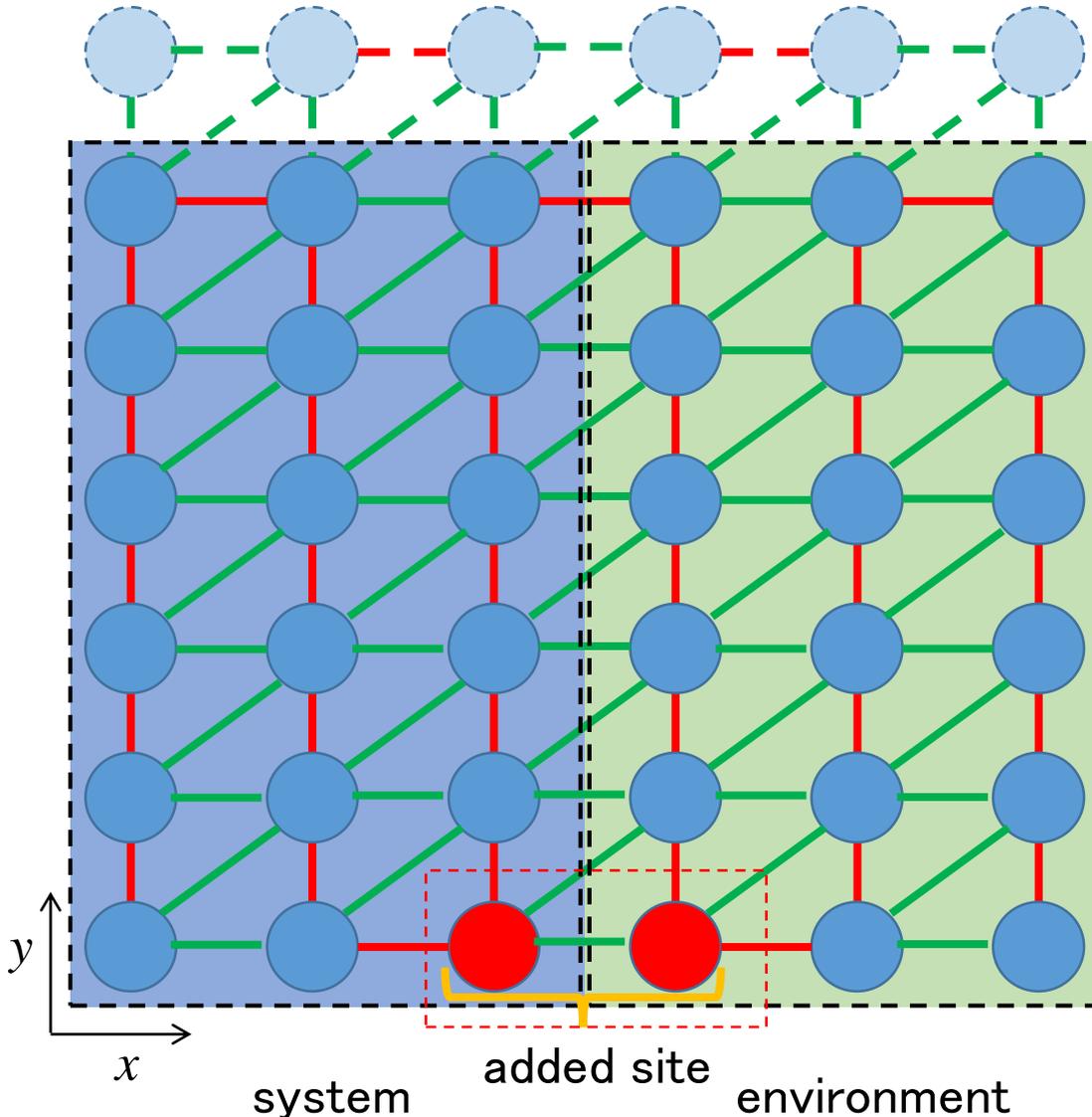
- DMRG algorithm

1. Calculate **the ground state** of superblock
2. Make the reduced density matrix
3. Diagonalize the density matrix using Lanczos et al.
4. Keep only **m basis states** to describe the system
5. Go back to 1 until the convergence is achieved

DMRG procedure is suitable for 1D systems

DMRG in 2D

DMRG method can be applied to 2D systems



↑ periodic boundary conditions

DMRG

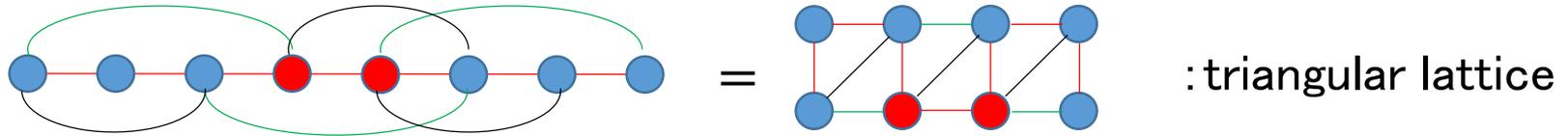
— : 1D system

— : long-range interactions

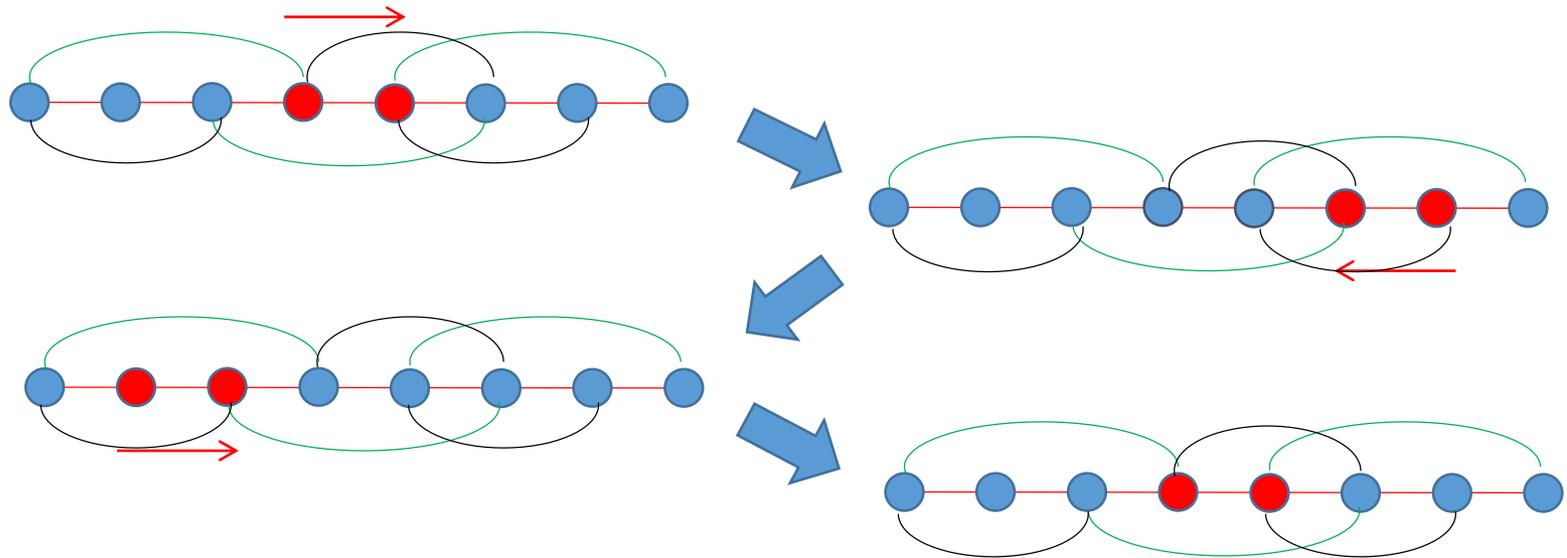
Introducing long-range interactions to an 1D system.

DMRG in 2D

- Sweeping process



added sites (described by complete basis set)



However, 2D DMRG method requires large m calculation.



密度行列繰り込み群法の実行方法

• 特徴

- ✓ 1次元系の密度行列繰り込み群法に目的とする格子形状に合った長距離相互作用を導入することで実行される。
- ✓ 格子形状は、1次元鎖、正方格子、ハニカム格子、三角格子、カゴメ格子、ダイヤモンド格子については、計算パラメータを指定するファイルで設定可能。
- ✓ その他の形状の格子についても、格子を指定するファイルを作成することで、対応可能。
- ✓ 基本的に、ハバード模型、ハイゼンベルク模型に対応。
- ✓ 物理量は、デフォルトで用意されているもののほかに、計算する物理量を指定するファイルを用意することで計算が可能。



計算の準備

- 計算パラメータの設定 → parameters.txt
- DMRG **-dmrg** で用意する。

➤ 6x6 正方格子ハバード模型の例

```
$DMRG -dmrg
model (1:Hubbard, 2:Heisenberg, 3:arbitrary model): 1
=====
making lattice preset

N: 1-D system
S: square lattice
J: J1-J2 model (square lattice)
T(X): triangular lattice (X: triangular lattice 2)
~~~
K: kagome lattice
D: diamond chain

=====

lattice system: S
2-D system: (X direction)x(Y direction)
(number of sites) = 6x6
boundary condition
(o: open, c: cylinder, p: periodic, r: ring)
: o
t = 1
U = 10
V = 0
--> parameters.txt
```

1. 模型の指定
2. 格子形状
3. サイト数
4. 境界条件
5. ハミルトニアンのパラメータ



parameters.txtが作成される。

パラメータの設定

parameters.txtのルール

最初に#, cの付く行、または!の入っている行は無視される。

模型について

- Hubbard模型の場合

model

[*] Hubbard model

- Heisenberg模型の場合

model

[*] Heisenberg model

DMRG `-dmrg`で指定したものが反映される。

その他の任意の模型については開発者に相談してください。

parameters.txtの設定

DMRGの計算のためのパラメータについて

DMRG parameters

(DMRG truncation number) = 100 密度行列繰り込み群法の打ち切り回数

(minimum truncation number) = 0 打ち切り回数の最小値

(maximum truncation error) = 0.000E+00 打ち切り誤差の指定

DMRG algorithm

[] infinite 無限系アルゴリズムの場合

[*] infinite + finite 無限系アルゴリズム + 有限系アルゴリズム

[] finite 有限系アルゴリズムのみ (バックアップからリスタートする場合に使用)

(number of sweep) = 1 有限系アルゴリズムのスweep数

(number of processes for sweeping) = 1 実空間並列数

(initial weight of noise) = 0.00 ノイズの割合 (0から1の間で指定)

Lanczos method for target state

(convergence condition) = 1.000E-09 ランチョス法の打ち切り回数の指定

(number of states from ground state): 1 基底状態を含めて計算する状態の数

parameters.txtの設定

系の指定について

- 系のサイズ

```
# system
```

```
# 2-D system:(number of sites) = (X direction)x(Y direction)
```

```
(number of sites) = 6 x 6
```

注意点

- 一次元系の場合はサイト数を指定
- parameters.txtで指定できる二次元系の場合は、
(X方向の長さ)(小文字のx)(Y方向の長さ)
で指定する。
- 任意の形状の場合はサイト数のみでもよいし、掛け算して
目的のサイト数になるように指定してもよい。

parameters.txtの設定

格子の形状の指定

setup Hamiltonian

[] using preset **ここに*を入れると、preset.datが有効になる**

lattice system: S

lattice systemで指定可能な格子形状の例

- N: 次元鎖
- S: 正方格子
- H: 三角格子
- K: カゴメ格子
- T: 三角格子
- D: ダイヤモンド鎖

その他、任意の格子形状についてはpreset.datで設定

parameters.txtの設定

Hamiltonianのパラメータの指定について

- Hubbard模型の場合

t = 1.000 (計算する格子形状によってはt1、t2…)

U = 10.000

V = 0.000

E = 0.000

$$H = -t \sum_{i,j,\sigma} (c_{i,\sigma}^\dagger c_{j,\sigma} + H.c.) + U \sum_i n_{i,\uparrow} n_{i,\downarrow} + V \sum_{i,j} (n_{i,\uparrow} + n_{i,\downarrow})(n_{j,\uparrow} + n_{j,\downarrow}) + E \sum_i (n_{i,\uparrow} + n_{i,\downarrow})$$

- Heisenberg模型の場合

J_1 = 1.000 最近接

J_2 = 0.000 次近接

J_3 = 0.000 次々近接

$$H = J \sum_{i,j} \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j$$

(anisotropy of S_z) = 1.000 スピンの異方性(0:XY模型)

parameters.txtの設定

Kitaev-Heisenberg模型について

- Heisenberg模型を「DMRG -dmrg」で指定した場合のみ。
- ハニカム格子と三角格子の場合のみ。

$$\text{Hamiltonian: } H = J \sum_{i,j} \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j + K \sum_{i,j} S_i^\gamma S_j^\gamma$$

Kitaev term parameters

(honeycomb or triangle lattice)(parameter of Kitaev term) = 0.000 **Kの値**

(anisotropy of SzSz in Kitaev) = 1.000 **Kitaev項のスピンの方性**

Kitaev項の γ について→“presetkit.dat”で指定する。

- parameters.txtで格子を指定した場合は自動的に作成される。
- 任意の格子形状の場合(preset.datを使う場合)は、preset.datで与えたボンドの順番で与える。

(1: $S_i^x S_j^x$, 2: $S_i^y S_j^y$, 3: $S_i^z S_j^z$)

parameters.txtの設定

境界条件の指定

boundary condition

(open -> o, cylinder -> c, periodic -> p): o

- 一次元系の場合

o: 開境界条件

p: 周期的境界条件

周期的境界条件の場合はDMRGの収束が悪くなる点に注意

二次元系の場合

o: x方向、y方向ともに開境界

p: x方向、y方向ともに周期的境界

c: x方向は開境界、y方向は周期的境界

r: x方向は周期的境界、y方向は開境界

parameters.txtの設定

外場

external field

(magnetic field in the z-direction) = 0.000

z軸方向の磁場

[] staggerd magnetic field 有効にするとスタガード磁場

任意の格子形状の場合 (preset.datを使う場合)

各サイトごとに任意の磁場を入れることが可能。

magneticf.dat

1 0.000000 0.000000 1.000000

2 0.000000 0.000000 1.000000

3 0.000000 0.000000 1.000000

⋮

(サイト番号) (x方向の磁場) (y方向の磁場) (z方向の磁場)

parameters.txtの設定

波動関数

wavefunction

[] applying operators to wavefunction (wfunc.txt)

波動関数を操作

wfunc.txtについて

(ハイゼンベルク模型の場合の例)

2 operatorの数

1 項の数

1 13 0 1 (サイト番号、サイト番号、演算子の番号、演算子の番号) $S_1^+ S_{13}^- |0\rangle$

注意点:

波動関数の操作を使った場合は、基底状態と操作された状態のマルチターゲットになる。

parameters.txtの設定

物理量の計算

• Hubbard模型の場合

physical quantities (phys.txt)

[] doublon 二重占有数

[] electron density 各サイトの電子数

[] spin-Sz ($\langle S_z S_z \rangle$) 各サイトの S_z 、および $S_z S_z$ の相関関数とそのフーリエ変換

[] kinetic energy of each bonds 運動エネルギー

[] entanglement spectrum エンタングルメント・スペクトル

• Heisenberg模型の場合

physical quantities (phys.txt)

[] spin-Sz 各サイトの S_z

[] spin-spin correlation $S_x S_x, S_y S_y, S_z S_z$ の相関関数とそのフーリエ変換

[] dimer-dimer correlation dimer-dimer相関関数とそのフーリエ変換

[] entanglement spectrum エンタングルメント・スペクトル

parameters.txtの設定

“phys.txt”を使った任意の物理量の計算

- Hubbard模型

例: 1番目のサイトの二重占有数

4 演算子の数

1 項の数

1 1 1 1 1 0 3 2 サイト番号、演算子の番号

$$c_{1,\uparrow}^\dagger c_{1,\uparrow} c_{1,\downarrow}^\dagger c_{1,\downarrow}$$

0: c_\uparrow 、1: c_\uparrow^\dagger 、2: c_\downarrow 、3: c_\downarrow^\dagger

- Heisenberg模型

例: 1番目のサイトの(2倍の) S_x

1

2

$$S_1^+ + S_1^-$$

1 1 0 1

0: S^+ 、1: S^- 、2: S^z

parameters.txtの設定

計算上のオプション

computational parameters

[*] using large memory (no backup)

バックアップデータ作成の有無

[*] overwrite DATA

バックアップデータがある場合の上書きの有無

[*] skipping target states calculation (2D DMRG)

二次元DMRGにおける無限系アルゴリズムの高速化

[*] wave function transformation

波動関数変換を使ってLanczos法を高速化するかの有無

[*] making DATA directory

DATAという名前のディレクトリを作ってアウトプットファイルをこの中に作成する。

parameters.txtの設定

電子数 (up-spin, down-spin) の指定

- Heisenberg模型の場合は

$$(\text{down-spinの数}) = (\text{サイト数}) - (\text{up-spinの数})$$

指定方法

- 任意の数を指定 : (up-spin) = 8
- (半充填、かつ) total $S_z=0$ からのずれで指定 :
(up-spin) = +0
- ある値以下、もしくはある値以上で指定 :
(up-spin) ≥ 8
- ある値の範囲で指定 :
(up-spin) = 8~9
- 電子数のみ指定 : [*] unlimited spin-space
- 電子数を指定しない : [*] grand canonical ensemble

動的密度行列繰り込み群法 の実行方法

• 特徴

- ✓ 動的相関関数(励起ダイナミクス)を計算するための手法。
- ✓ 計算する系は密度行列繰り込み群法の時と同じ。
- ✓ 密度行列繰り込み群法の紹介で説明したものはすべて可能。
- ✓ 計算する動的相関関数に合わせた計算パラメータ設定用のファイルを用意することで実行される。
- ✓ 修正ベクトルの計算は、直交多項式展開法で実行される。(スペクトル関数のピークはガウシアンで与えられる。)



動的密度行列繰り込み群法の準備

動的密度行列繰り込み群法の実行方法の概要

- **DMRG** `-ddmrg`でパラメータ設定のファイルを準備
 - ✓ パラメータの設定はDMRG `-dmrg`と同じ
 - ✓ `parameters.txt`に加えて`dphys.txt`が作成される。
- `dphys.txt`がカレントディレクトリに存在していれば、動的密度行列繰り込み群法の計算が実行される。
- 任意の形状で実行する場合は、これとは別にサイトの座標を与えるファイルが必要。
- (基底状態を計算する)通常密度行列繰り込み群法よりも密度行列繰り込み群法の打ち切り次数を上げる必要がある。
- エネルギーに対する並列化が可能。(使用するノード数はこの指定したエネルギー並列数の倍数である必要がある。)

dphys.txtについて

計算する動的相関関数の指定

Heisenberg模型の場合の $S^{zz}(\mathbf{q}, \omega)$

DDMRG parameters

dynamical correlation function

arb. quantity (1): (num.) (kinds)

[*] arb. quantity (1): 1 2 (演算子の数)(演算子の種類)

local quantity: (site)

[] local quantity: 0 autocorrelation functionの場合

dphys.txtについて

Hubbard模型の場合

DDMRG parameters

dynamical correlation function

[] spin $S_z(q, \omega)$

[] electron number $N(q, \omega)$

*を入れると $S(q, \omega)$, $N(q, \omega)$

arb. quantity (1): (num.) (kinds)

[] arb. quantity (1): 0

local quantity: (site)

[] local quantity: 0

Heisenberg模型の場合と同じ

dphys.txtについて

特定のサイトのみで動的相関関数を計算する場合

→position.datで設定

1	1.0000	1.0000
2	1.0000	2.0000
3	1.0000	3.0000
4	1.0000	4.0000
5	2.0000	4.0000
6	2.0000	3.0000

⋮

(サイト番号) (x座標) (y座標)

サイト番号を0にすることでそのサイトを計算からぬかすことができる。

dphys.txtについて

DMRGに対するパラメータの設定

DMRG parameters

(sweeping for ground state) = 2

- 基底状態のみをターゲット状態とすることで、基底状態の収束を図るためのスイープの回数
- 特に2次元系の場合、無限系アルゴリズムによる目的のサイズまでの系の拡張後に目的の格子形状に対応する長距離相互作用が導入されることから、基底状態の収束を経ずに動的相関関数を計算すると、例えば本来現れないはずの励起状態をターゲット状態に含むことになるので、計算の収束がよくない。
- 経験上、2回くらいはスイープする必要あり(基底状態によるが・・・)。

dphys.txtについて

波数の指定

wavenumber

(wavenumber q_x) = 1*pi/5

(wavenumber q_y) = 1*pi/5

- 四則演算と定数として π (piと指定) が使える。

単位格子に含まれるサイト数とモードの指定

(num. of sites in unit cell) = 1 **サイト数**

(mode +,-,*): + **モード**

(モードについては、単位格子あたり1サイトの場合は無視される。)

dphys.txtについて

計算するエネルギーの指定

(単位はHubbard模型の場合t, Heisenberg模型の場合はJ)

parameters for energy range

(lower bound) = 6.000 エネルギーの最小値

(upper bound) = 9.000 エネルギーの最大値

(energy length) = 1.000 エネルギーの幅

(number of points) = 11 エネルギーに対する点の数

(number of parallelization) = 3 エネルギーに対する並列数

ガウシアン半値幅の指定

(half width of delta function) = 0.500

- 幅が狭くなるほど直交多項式展開法の打ち切り次数を大きくする必要があるので、計算時間が長くなることに注意。



時間依存密度行列繰り込み群法 の実行方法

• 特徴

✓ 基本はadaptive time-dependent DMRG法

(S.R.White and A.E. Feiguin, PRL (2004))

✓ 直交多項式展開法による時間発展演算子の
計算

✓ 直交多項式展開法と波動関数変換を組み合わせることにより、多次元強相関量子系への
適用が可能



時間依存密度行列繰り込み群法の準備

“DMRG **-tdmrg**”と打ってenter

```
$ DMRG -tdmrg
```

```
model (1:Hubbard, 2:Heisenberg, 3:arbitrary model): 1
```

```
~
```

```
lattice system: S
```

```
2-D system: (X direction)x(Y direction)
```

```
(number of sites) = 6x6
```

```
boundary condition
```

```
(o: open, c: cylinder, p: periodic, r: ring)
```

```
: o
```

```
t = 1
```

```
U = 10
```

```
V = 0
```

```
--> parameters.txt, scenario.txt
```

- parameters.txtに系の情報を入力。
- scenario.txtに「イベント」を入力。



これら2つのファイルの情報を元に時間発展の計算を行う。

scenario.txtについて

イベントを時刻順に指定する。

- 現状可能なイベント

- ✓ Quench(Hamiltonianのパラメータを瞬時に変化させる)
- ✓ 波動関数の操作(例:あるサイトのスピンを反転)
- ✓ レーザーの照射(例:pomp-probe分光、光誘起相転移)
- ✓ ハミルトニアンのパラメータや外場を徐々に変化
(例:量子アニーリング)
- ✓ 何もしない。(例:系の緩和)

scenario.txtについて

デフォルトのscenario.txt(DMRG -tdmrgで生成したもの。)

```
# H: Hamiltonian, W: wavefunction, P: pulse laser
# A: Annealing, X: no perturbation
# (H,W,P,A,X):(length):(time step):(parameters of each event)
# example:
#H:5.00:0.01:N t=-1
#H:0.10:0.01:N J_1=-1
#W:0.10:0.01:1,1,1 0
#P:0.1:0.1:A_0=1,t_0=1,t_d=1,w_p=1
#A:0.1:0.1:up:zz:-1:hx:01
#X:5.00:0.01
```

ルール:

- “#”で始まる行は無視される。
- 上から順にイベントが実行される。(イベントは複数あってもよい。)
- (イベントの種類):(イベントの時間):(DMRGの時間刻み)が基本の書式で、そのあとに各種イベントに関するパラメータを指定。

scenario.txtについて

Quenchの方法

scenario.txt

```
H:5.00:0.01:N t=-1
```

```
#H:0.10:0.01:N J_1=-1
```

```
#W:0.10:0.01:1,1,1 0
```

```
#P:0.1:0.1:A_0=1,t_0=1,t_d=1,w_p=1
```

```
#A:0.1:0.1:up:zz:-1:hx:01
```

```
#X:5.00:0.01:
```

```
H:5.00:0.01:N t=-1
```

格子形状を1次元鎖にした後 $t=-1$ とする(元がHubbard模型である必要があり)。
イベントの最初でパラメータが変化し、残りの時間は何もしない。

例: $U=-10$ に変化

```
H:5.00:0.01:U=-10
```

scenario.txtについて

波動関数の操作の方法

scenario.txt

#H:5.00:0.01:N t=-1

#H:0.10:0.01:N J_1=-1

W:0.10:0.01:1,1,1 0 $\longrightarrow s_1^+ | \Psi(t=0) \rangle$

#P:0.1:0.1:A_0=1,t_0=1,t_d=1,w_p=1

#A:0.1:0.1:up:zz:-1:hx:01

#X:5.00:0.01:

W:0.10:0.01:1,1,1 0

時刻tの状態について、1番目のサイトをup-spinにする。
(その際、自動的に規格化される点に注意。)

scenario.txtについて

レーザーパルスの照射法

scenario.txt

#H:5.00:0.01:N t=-1

Time-dependent vector potential:

#H:0.10:0.01:N J_1=-1

$$A(t) = A_0 e^{-(t-t_0)^2/2t_d^2} \cos(\omega_{pump}(t-t_0))$$

#W:0.10:0.01:1,1,1 0

P:0.1:0.1:A_0=1,t_0=1,t_d=1,w_p=1

ハバード模型の飛び移り項:

#A:0.1:0.1:up:zz:-1:hx:01

$$-t \sum_{i,\sigma} (e^{iA(t)} c_{i,\sigma}^\dagger c_{i+1,\sigma} + H.c.)$$

#X:5.00:0.01:

注意点

- ハバード模型であること。
- 現状は1次元系のみ対応。

scenario.txtについて

アニーリングの方法

scenario.txt

#H:5.00:0.01:N t=-1

#H:0.10:0.01:N J_1=-1

#W:0.10:0.01:1,1,1 0

#P:0.1:0.1:A_0=1,t_0=1,t_d=1,w_p=1

A:0.1:0.1:up:zz:-1:hx:0

#X:5.00:0.01:

A:0.1:0.1:up:zz:-1:hx:0

up: 系のすべてのスピンの状態との内積を計算。

zz:-1:hx:0: 時刻 $t=0.1(J^{-1})$ に相互作用 $S^z S^z = -1$ 、x方向の磁場 $H^x = 0$ となるように変化させる。

例: U=-10に変化

H:5.00:0.01:U=-10

scenario.txtについて

何もしない場合

scenario.txt

#H:5.00:0.01:N t=-1

#H:0.10:0.01:N J_1=-1

#W:0.10:0.01:1,1,1 0

#P:0.1:0.1:A_0=1,t_0=1,t_d=1,w_p=1

#A:0.1:0.1:up:zz:-1:hx:01

X:5.00:0.01:

注意点

- パラメータの後半部分は何も指定しない。
- 続けて緩和過程を見たい場合などに。