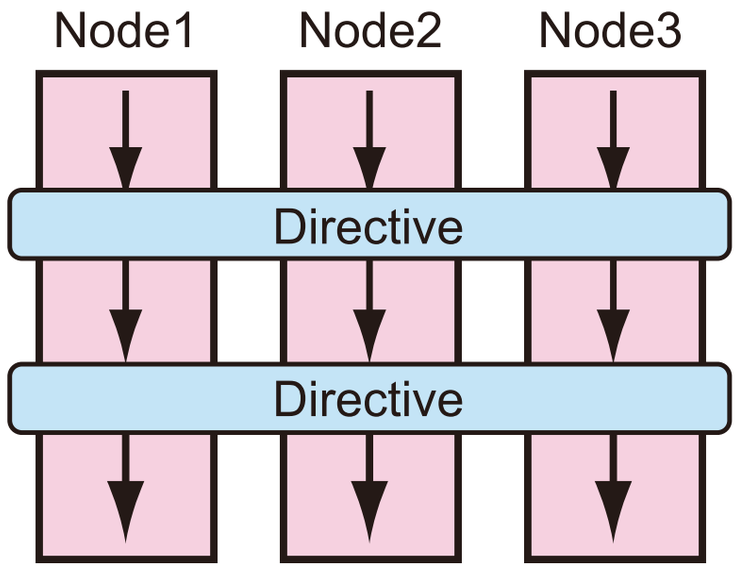
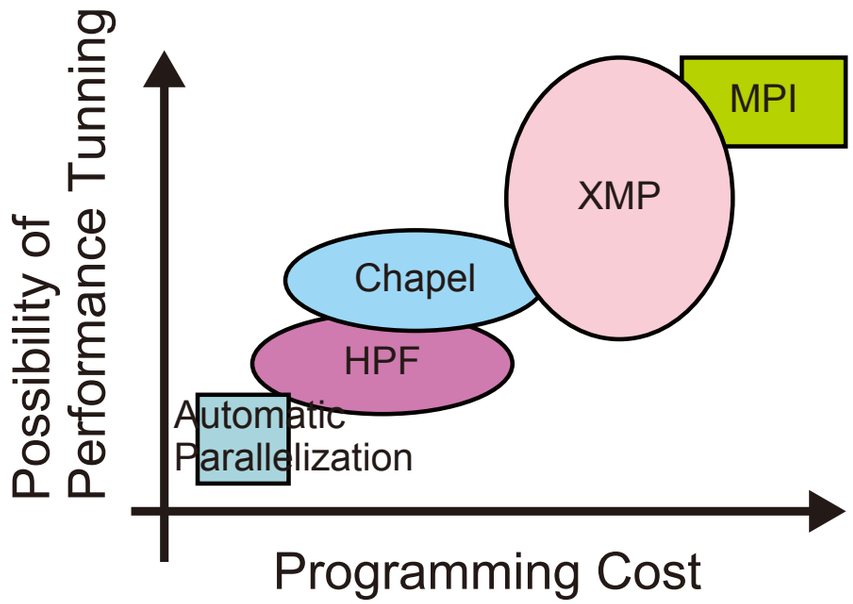
HPC Challenge Benchmarkによる並列プログラミング言語XcalableMPの性能評価

○ 中尾 昌広（理化学研究所 計算科学研究機構）
佐藤 三久（理化学研究所 計算科学研究機構）

XcalableMP（XMP）

- 既存言語（C99とFortran95）を指示文と拡張構文で並列化
  - 低い教育コスト
  - 記法のいくつかはCoarray FortranとHPFから継承
- 実行モデルはMPIと同じSPMD
  - 指示文がなければ、重複実行
- Performance-aware programming
  - 指示文とCoarray記法により通信・同期を実行
  - チューニングが行い易い
- 2つのメモリモデル
  - グローバルビュー：指示文による典型的なデータ並列のサポート
  - ローカルビュー：Coarrayによる片側通信





Code example (グローバルビュー)

```
int a[MAX];
#pragma xmp nodes p(4)
#pragma xmp template t(0:MAX-1)
#pragma xmp distribute t(block) on p
#pragma xmp align a[i] with t(i)


main(){
  int i, j, res = 0;

#pragma xmp loop on t(i) reduction(+:res)
  for(i = 0; i <MAX; i++){
    a[i] = func(i);
    res += array[i];
  }
```

データ分散の定義

データ並列と集約演算

Code example (ローカルビュー)

```
double a[100]:[*], b[100]:[*];
int me = xmp_node_num();

if(me == 2)
   a[:]:[1] = b[:];

if(me == 1)
   a[0:50] = b[0:50]:[2];
```

Coarrayの定義

Put通信

Get通信

Coarray synax in XMP/C

```
array_name[start:length]:[node_number];
```

最近の成果（1/4）

- 2014年11月に仕様書1.2.1をリリース（マイナーアップデート）
  - http://xcalablemp.org
- 同日にOmni Compiler Ver. 0.9をリリース
  - http://omni-compiler.org
  - 「京」のRDMAを使った片側通信機能の実装など
- total社のアプリReverse Time Migration（RTM）をXMPで実装
- 核融合プラズマシミュレーションコードGTC-PをXMPで実装
- FX10，SR16000，SX-9，XE6，BG/Qなどへの移植

- 第2回XMPワークショップ@秋葉原（2014年10月24日）
  - 参加者は約40名：14件の発表
  - 基調講演は3次元流体コードなどのアプリの話
  - http://www.pccluster.org/ja/event/2014/09/2xcalablemp.html
  - 来年度もします

最近の成果（2/4）

- XMP講習会@計算科学振興財団 in 神戸

開催情報

日付	場所	内容
2016.01.08 2015.07.03	FOCUS（公益財団法人 計算科学振興財団）	初級編1
2014.12.18 2014.09.18	FOCUS（公益財団法人 計算科学振興財団）	初級編1
2014.05.19	大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター	初級編2
2013.12.11 2013.09.13 2013.07.18	FOCUS（公益財団法人 計算科学振興財団）	初級編1

来年度は東京で開催予定
（ハンズオンができる所を募集中）

AICS eラーニングアーカイブ

理研AICSのウェブサイト
or
YoutubeでXcalableMPと検索

最近の成果（3/4）

- HPC Challenge Awards Competition Class 2への応募（発表は2014年11月）
  - http://www.hpcchallenge.org
  - HPCシステムを多角的に評価するためのベンチマークセット
  - In Class 1, only the performance of an HPC system is evaluated
  - In Class 2, the productivity and performance of a programming language are evaluated（コードのエレガントさを50%、性能を50%で評価）

Benchmark	説明
RandomAccess	分散テーブルをランダムにアクセス
STREAM	実効メモリバンド幅を計測
HPL	密行列連立一次方程式を解く
FFT	1次元離散複素フーリエ変換に対する速度

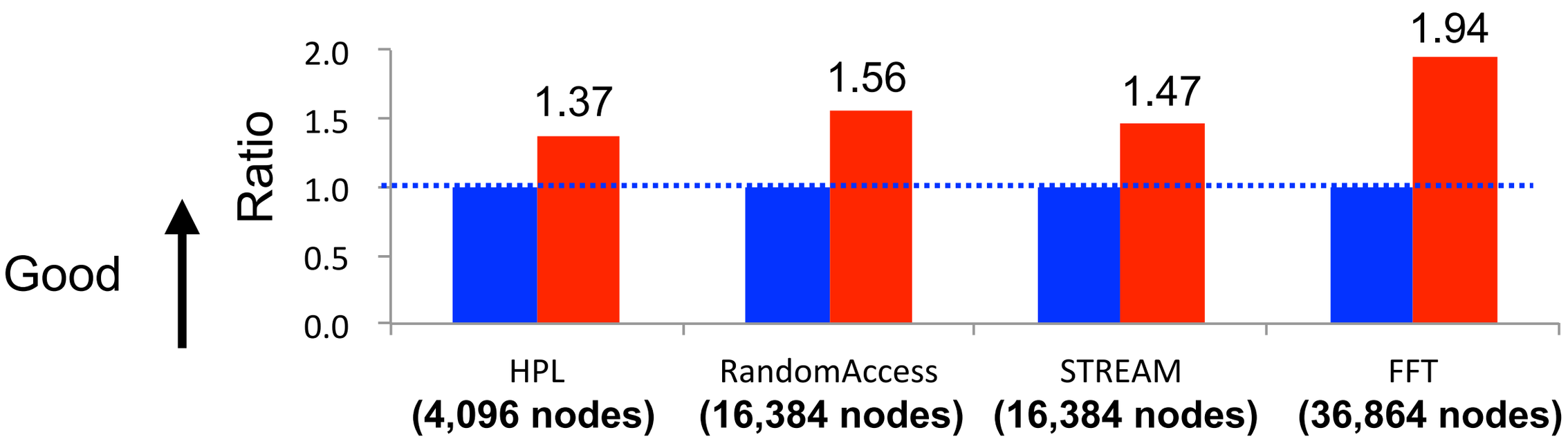
最近の成果（4/4）

- Best Performance賞とMost Elegant Language賞
- 京を使って評価
- 2013年はAwardを受賞（日本初）
- 2014年は2013年のに対してチューニング
  - XMPはBest Performance賞を受賞
  - Most Elegant Language賞はPCJというJava拡張

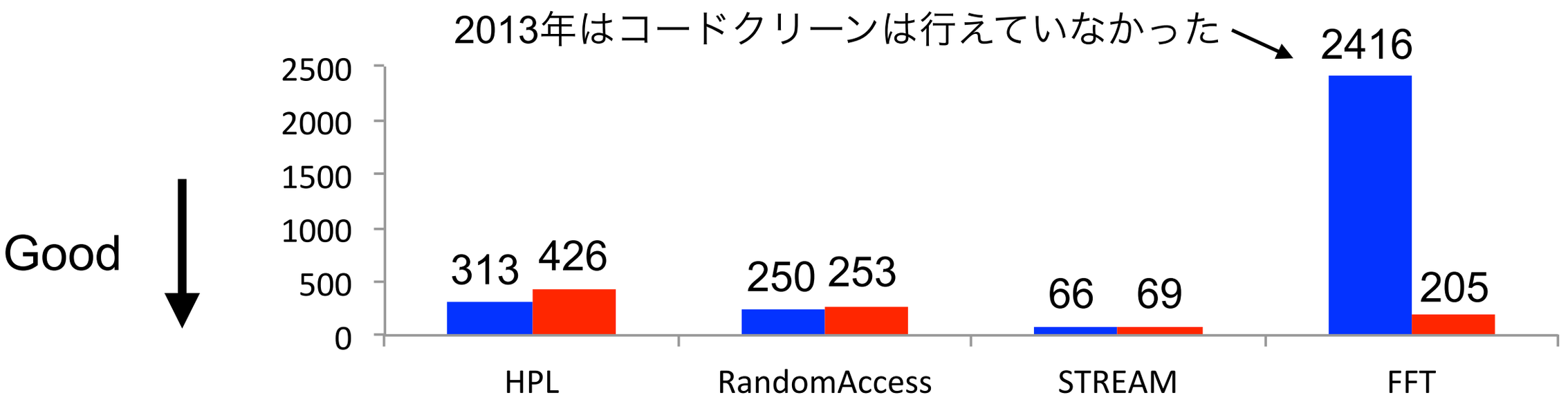
	Best	Most
XMP	○	
PCJ		○
??		
??		

2013年と2014年とのXMPの比較

- 同じノード数における性能向上率



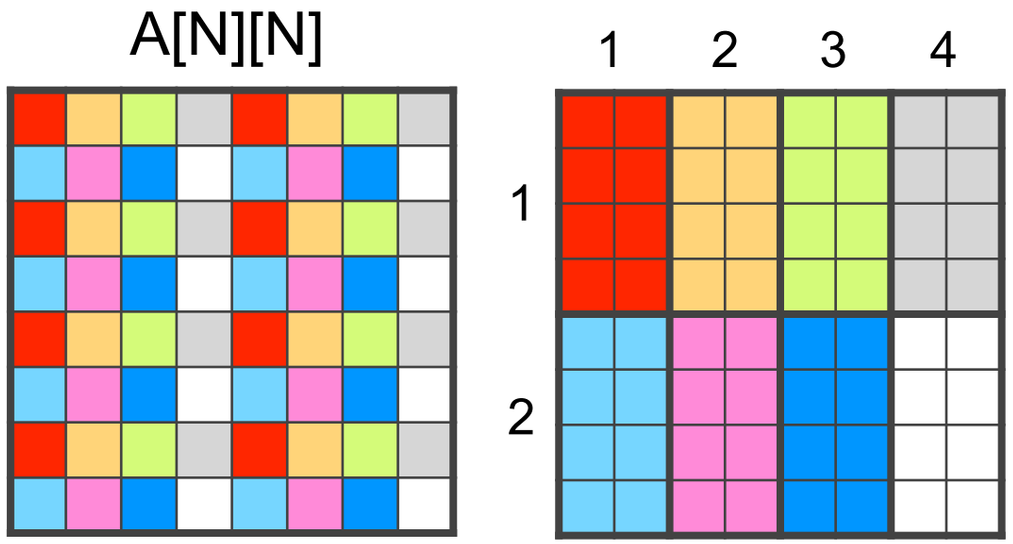
- 行数



HPL version 1

- Source lines of Code (SLOC) is **313**, written in XMP/C
- ブロックサイクリック分散

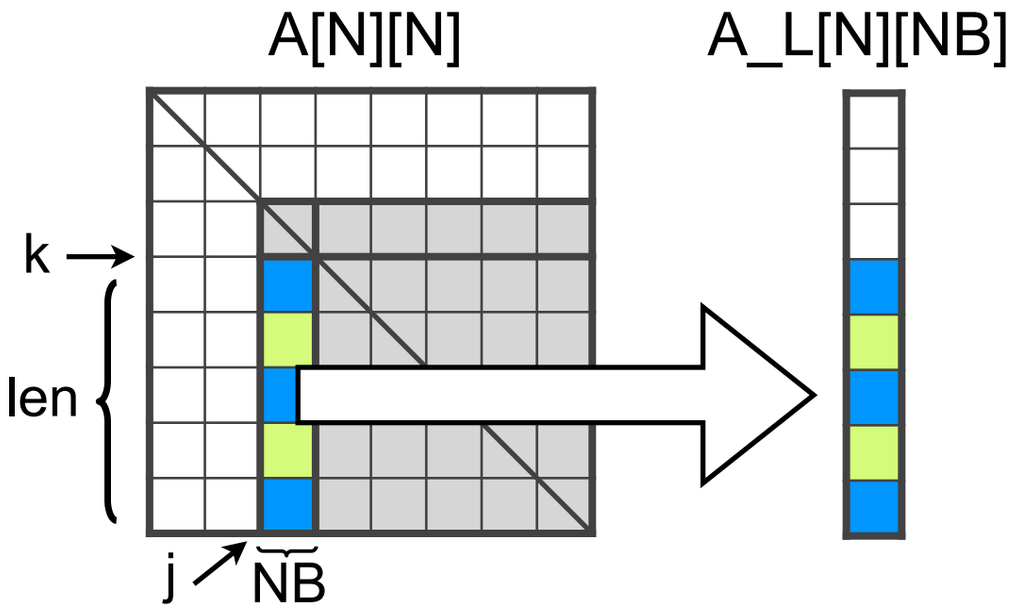
```
double A[N][N];
#pragma xmp nodes p(P,Q)
#pragma xmp template t(0:N-1, 0:N-1)
#pragma xmp distribute t(cyclic(NB), \
                         cyclic(NB)) onto p
#pragma xmp align A[i][j] with t(j,i)
```



行列積には「京」が提供しているBLASを利用

- **gmove**指示文を用いたパネル転送

```
double A_L[N][NB];
#pragma xmp align A_L[i][*] with t(*,i)
     :
#pragma xmp gmove
A_L[k:len][0:NB] = A[k:len][j:NB];
```

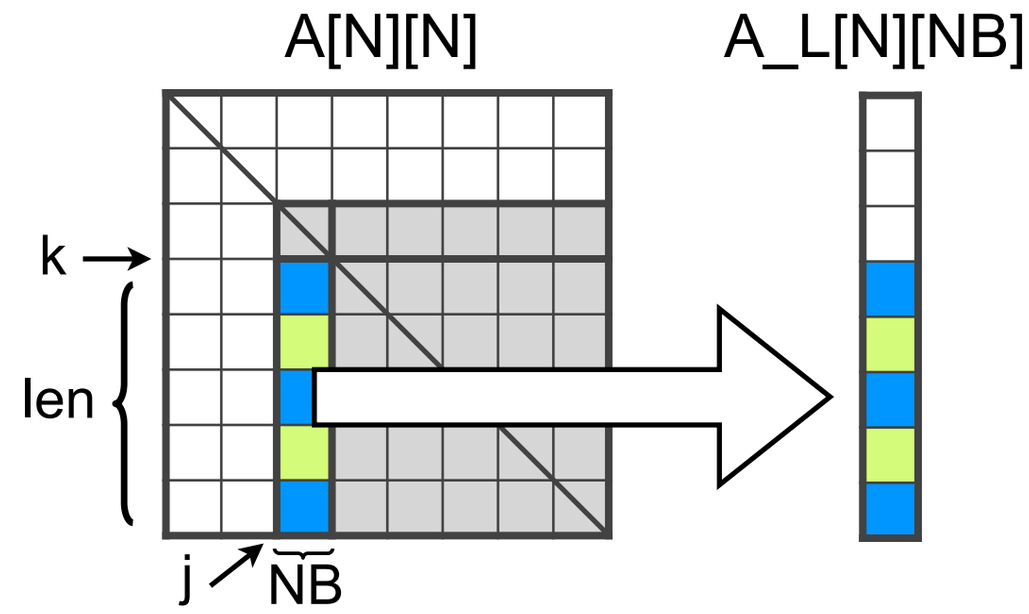


HPL version 2

- SLOC is **426**, written in XMP/C
- **gmove**指示文と**async**節を用いたLookaheadアルゴリズムの実装

  通信と計算のオーバラップ

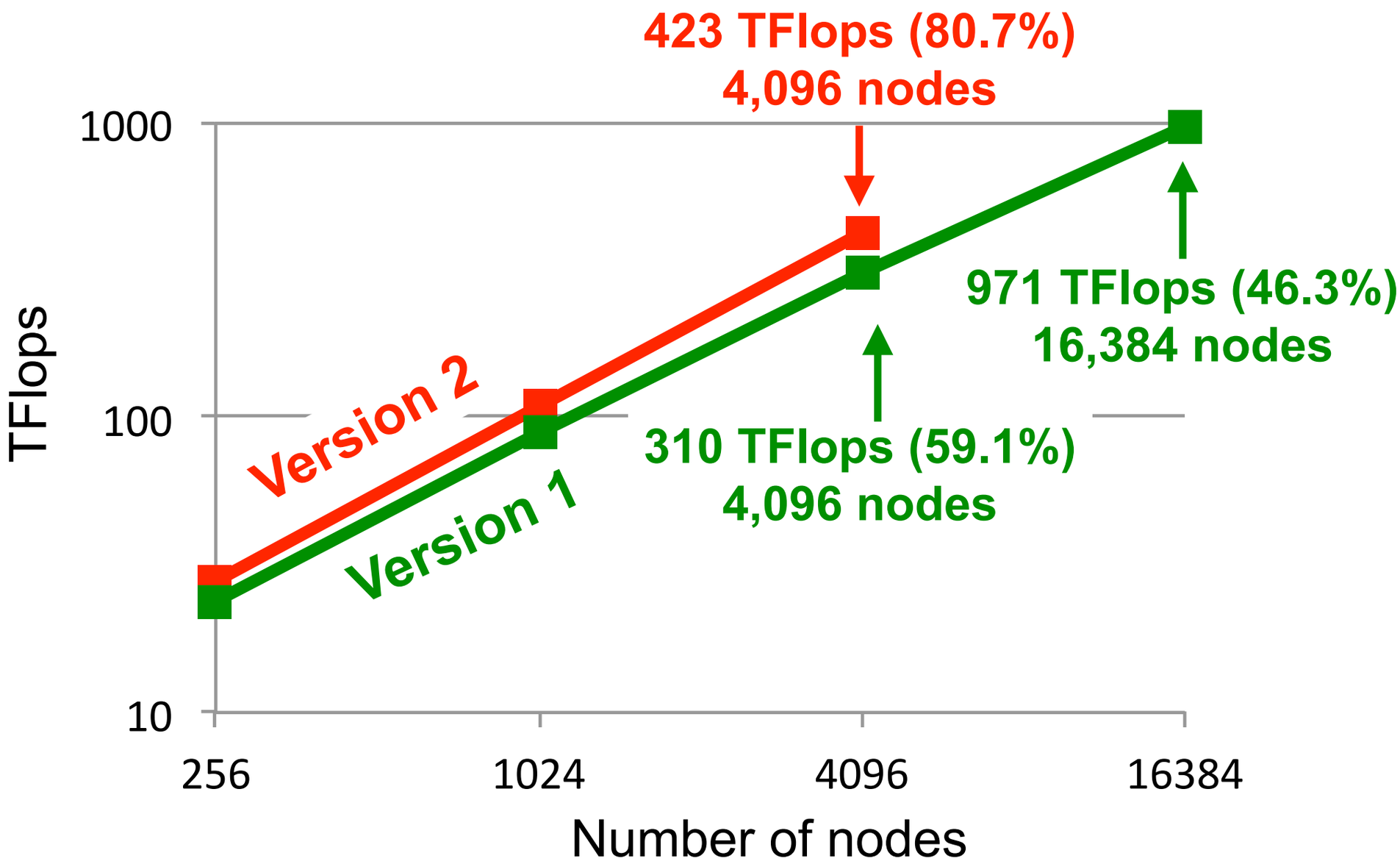
```
double A_L[N][NB];
#pragma xmp align A_L[i][*] with t(*,i)
     :
#pragma xmp gmove async(1)
A_L[k:len][0:NB] = A[k:len][j:NB];
     :
for(m=j+NB;m<N;m+=NB){
  for(n=j+NB;n<N;n+=NB){
    cblas_dgemm(&A[m][n], ..);
    if(xmp_test_async(1)){
       // receive A[k:len][j:NB];
            :
```



非同期Broadcast通信

非同期通信が来ているかどうかをチェック

Performance of HPL



XMP-HPL Version 2の方がスケーラビリティが高い

RandomAccess

- SLOC is **253**, written in XMP/C
- XMP/C coarrayを用いたローカルビュー
- Post指示文とWait指示文を用いたP2Pバリア

```
u64Int recv[LOGPROCS][RCHUNK+1]:[*];
...
for (j = 0; j < logNumProcs; j++) {
  recv[j][0:num]:[i_partner] = send[i][0:num];

#pragma xmp sync_memory
#pragma xmp post(p(i_partner), 0)
    :
#pragma xmp wait(p(j_partner))
}
```

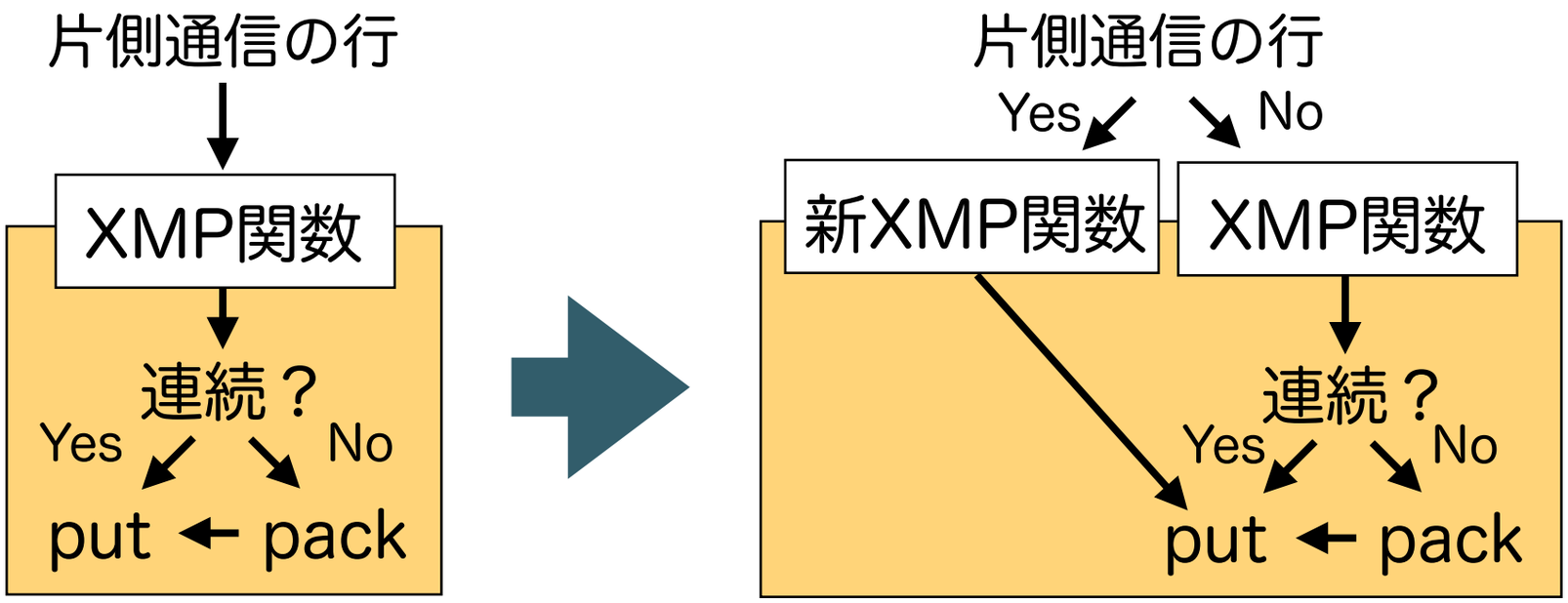
Coarrayの定義

Put operation

post/wait指示文を用いたP2Pバリア

片側通信機能

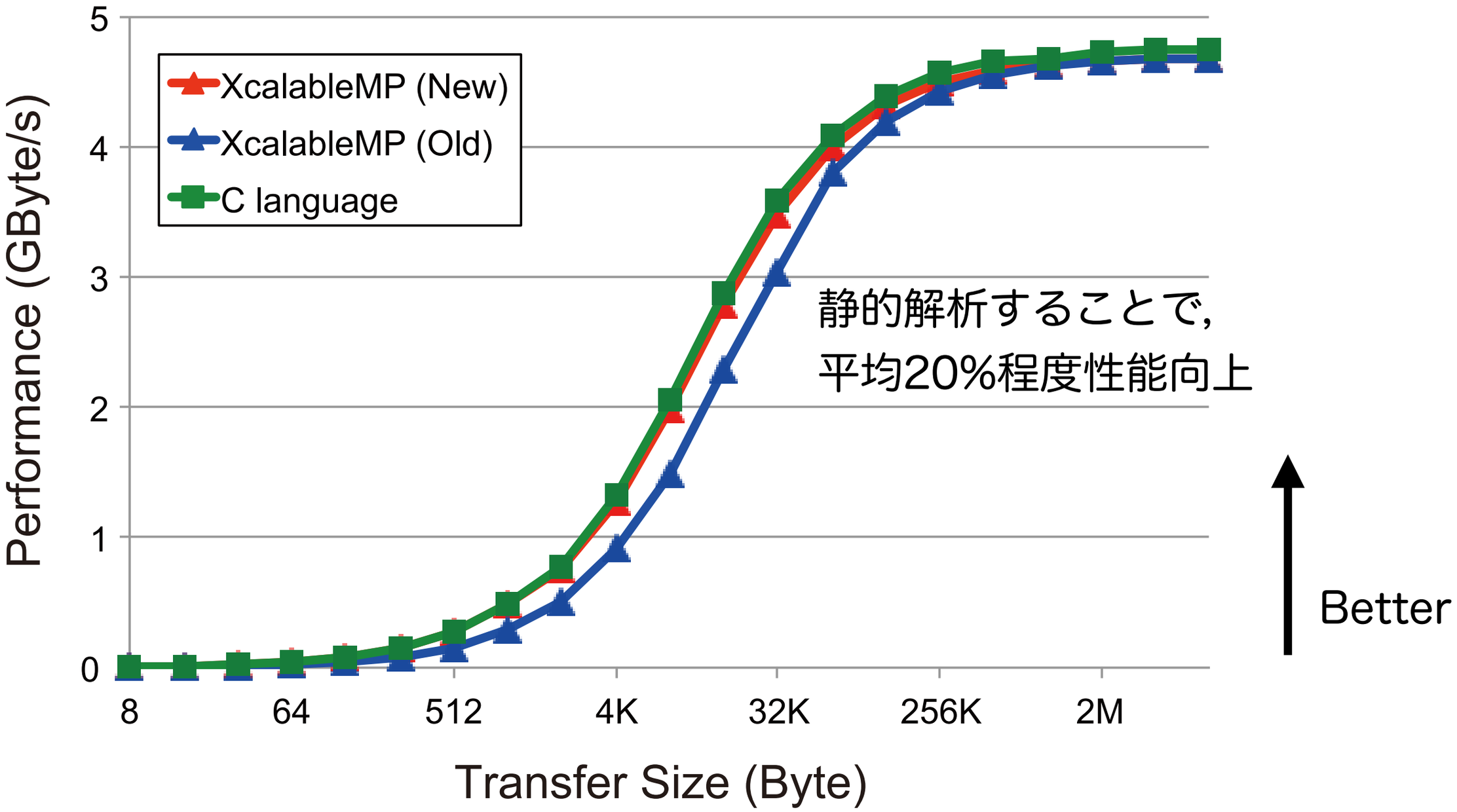
- 片側通信に関する機能（put/get/post-wait/lock-unlock/sync.）
- 基本的には，片側通信ライブラリGASNetを利用 (http://gasnet.lbl.gov)
- 「京」では，富士通RDMAを利用
- コードを静的に解析し，連続領域の転送の場合は，ランタイム内の
  いくつかの処理をショートカット



静的解析して，
連続領域の転送で
あれば新XMP関数を
呼ぶように置換する

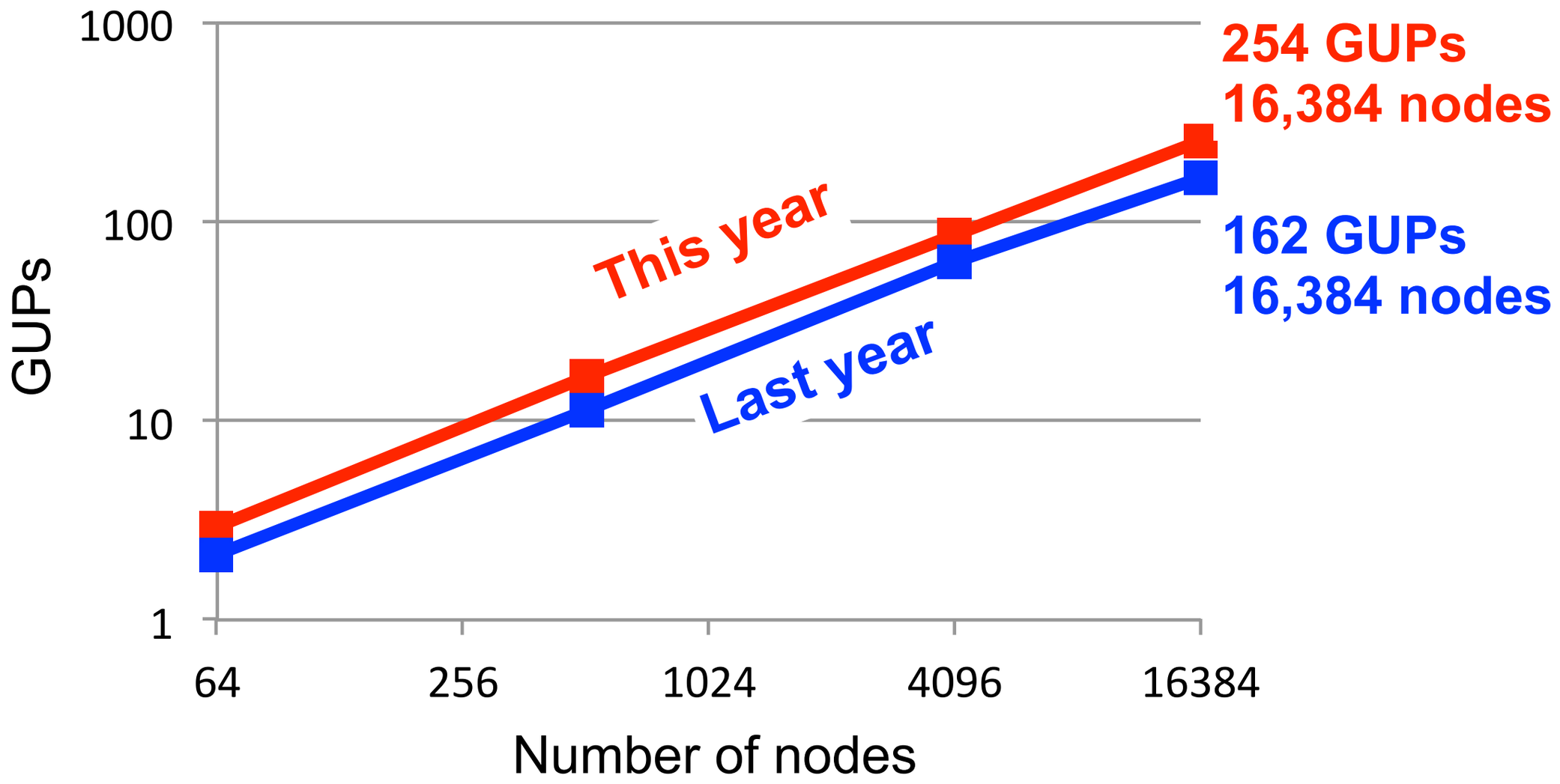
片側通信機能

Putの性能比較：C言語から直接呼び出した場合とほぼ同じ性能



Performance of RandomAccess

MPI_Send/Recvを用いて実装されていたpost/wait指示文を
「京」が提供しているRDMAを用いて再実装.



STREAM

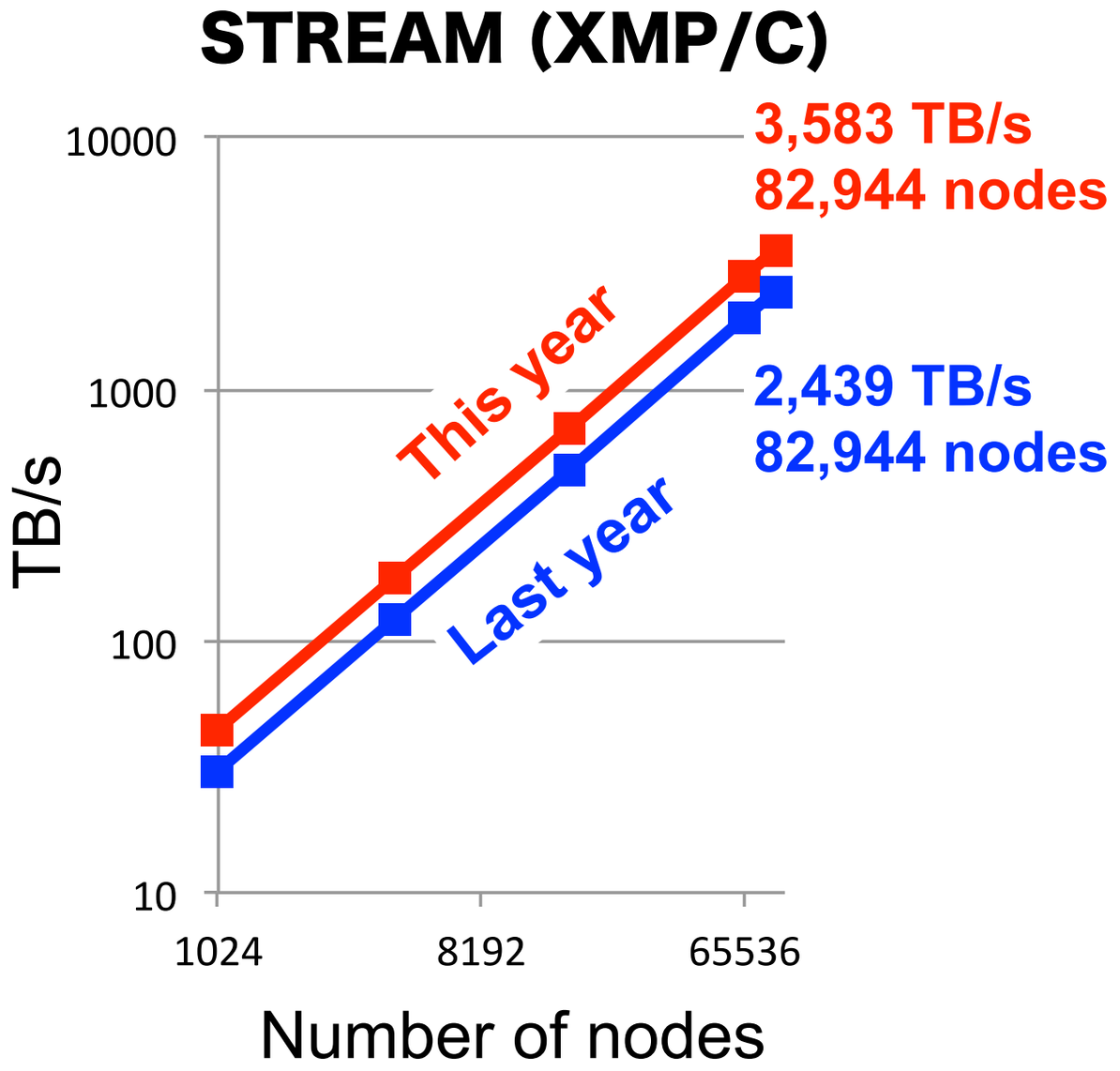
Fujitsuコンパイラの
最適化指示文を追加

```
#pragma xmp nodes p(*)

#pragma loop xfill
#pragma loop noalias
#pragma omp parallel for
  for (i=0; i<N; i++)
    a[i] = b[i] + scalar*c[i];

#pragma xmp reduction(+:triadGBs)
```

C言語やFortranの最適化手法が
そのまま適用できる



FFT

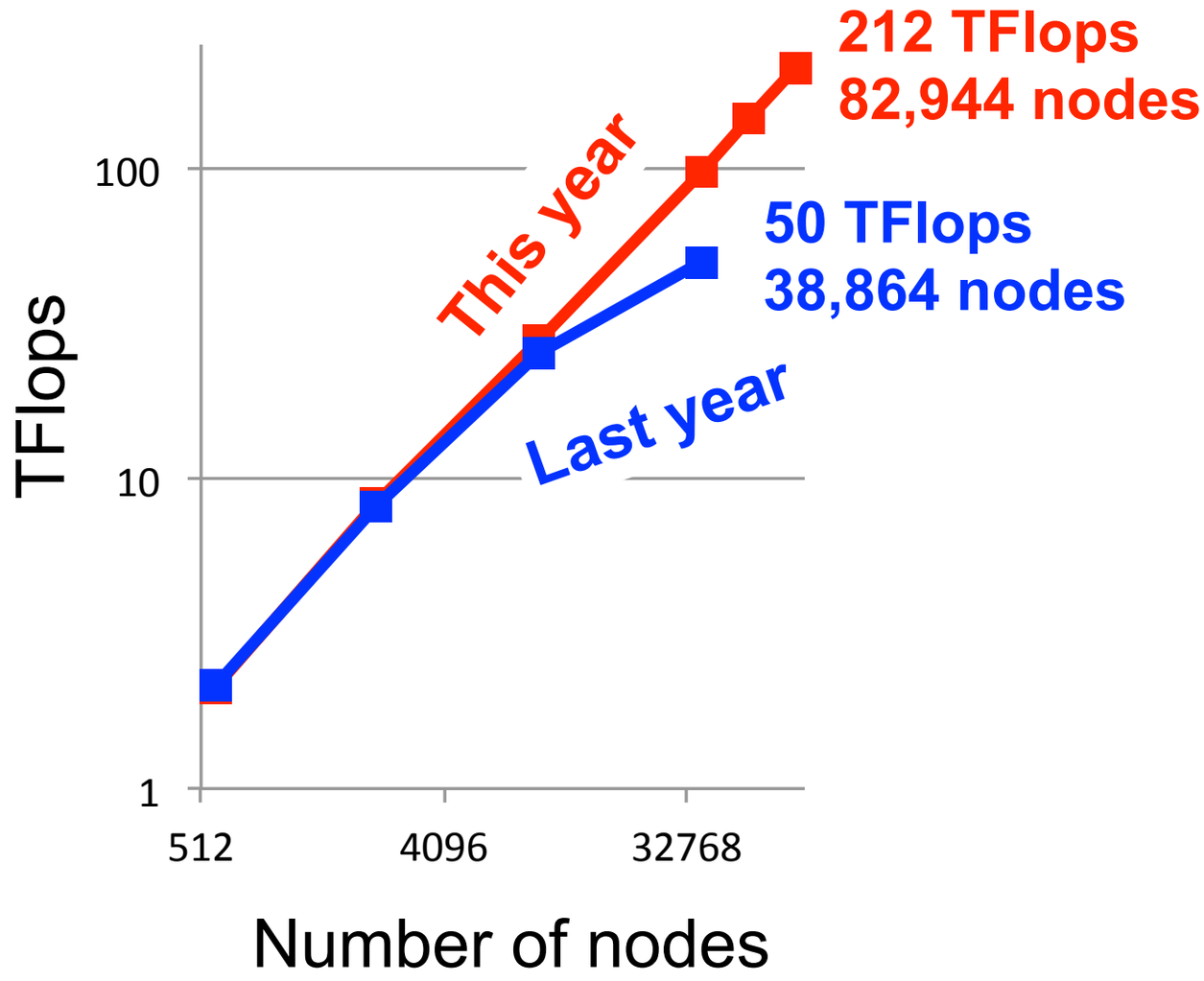
1プロセスが，スレッド化したFFTEライブラリを呼ぶように変更.

コードクリーンナップ.

```
!$xmp loop on tx(i)
do i=1,nx
  call zfft1d(b(1,i),ny,-1,cy)
end do

!$xmp loop on tx(i)
!$omp parallel do
do i=1,nx
  do j=1,ny
    b(j,i)=b(j,i)*w(j,i)
  end do
end do

call xmp_transpose(a,b,1)
```



Results and Machine

Summary

Benchmark		# Nodes	Performance (/peak)	SLOC
HPL	Ver. 1	16,384	971 TFlops (46.3%)	313
	Ver. 2	4,096	423 TFlops (**80.7%**)	426
RandomAccess		16,384	254 GUPs	253
STREAM		**82,994**	3,583 TB/s (67.5%)	69
FFT		**82,944**	212 TFlops (2.0%)	205

The K computer: 82,944 nodes

http://www.aics.riken.jp/jp/outreach/photogallery.html

- SPARC64 VIIIfx Chip, 128 GFlops
- DDR3 SDRAM 16GB, 64GB/s
- Tofu Interconnect
  - 6D mesh/torus network
  - 5GB/s x 4links x 2

他のPGAS言語とMPIとの行数の比較

Lang.	HPL	RandomAccess	FFT	STREAM
XMP	313 (ver. 1) 426 (ver. 2)	253	205	69
PCJ	<N/A>	146	498	180
Coarray Fortran	786	409	450	63
Chapel	658	112	<N/A>	72
X10	708	143	236	60
MPI (hpcc-1.4)	8,800	787	1904	329

まとめと今後の課題

- XMPの概要と最近の活動について紹介
- 並列言語のコンテストHPC Challenge Awards Competition Class 2への応募
  - HPL，FFT，STREAM，FFTの実装
  - **Best Performance Awardを受賞**
- 今後の予定
  - 2015年4月にOmni Compiler 0.95のリリース
    - XMP/FortranにおけるCoarray機能
  - ハンドブックの作成
  - C++，Fortran2003（今はFortran95）
  - アクセラレータ対応（OpenACCとの組合せ）