

● オペレーティングシステム

第10回

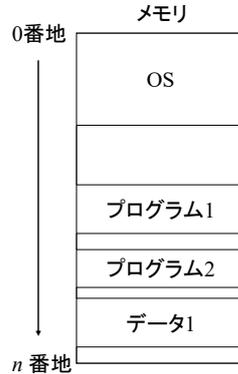
仮想記憶管理(2)

<http://www.info.kindai.ac.jp/OS>

E号館3階E-331 内線5459

takasi-i@info.kindai.ac.jp

メモリ



OS, ユーザプログラム, データ
メモリ上に置かれる

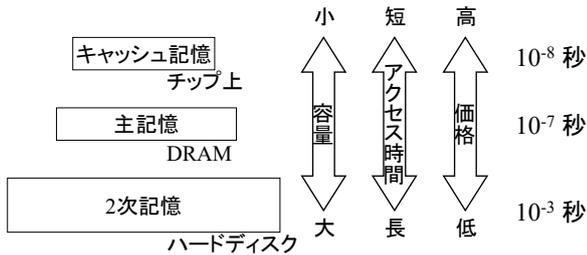
メモリ上の位置は
1次元のアドレスで管理

1

2

メモリ

● メモリの記憶階層



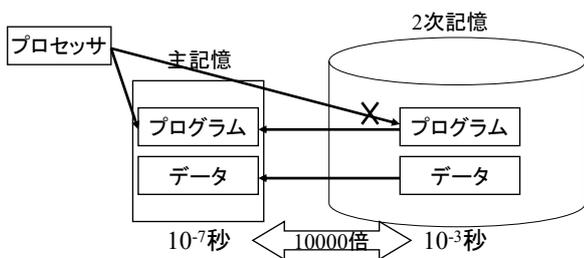
メモリ

記憶装置	本, 資料	特徴
キャッシュ (cache memory)	手で保持	すぐ読める ごくわずかな量しか持てない
主記憶 (main memory)	作業机	座ったまますぐ手に取れる 置ける量は限られる
2次記憶 (secondary memory)	倉庫	部屋を出て取りに行く必要あり 大量に置ける

3

4

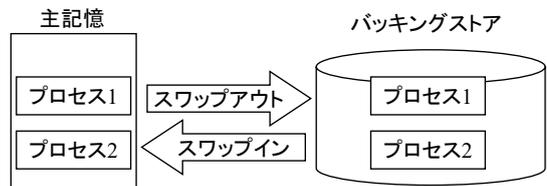
主記憶と2次記憶



プロセッサは2次記憶を直接読むことはできない
使用するプログラム, データは主記憶上にコピー

スワッピング (swapping)

- スワッピング (swapping)
 - 待ち状態のプロセスを2次記憶に退避させる
- バッキングストア (backing store)
 - スワッピングを行う際に使用する2次記憶



5

6

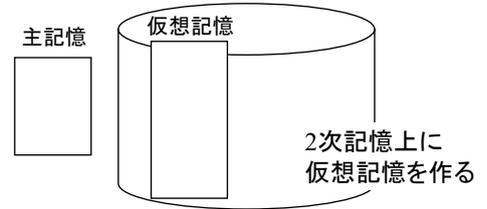
スワップイン, スワップアウト (swap-in, swap-out)

- スワップイン(swap-in)
 - プログラム, データを2次記憶から主記憶に
 - 実行中のプロセスに必要なものを読み込む
- スワップアウト(swap-out)
 - プログラム, データを主記憶から2次記憶に
 - スワップインの領域を確保するために当面必要のないものを退避させる

7

仮想記憶(virtual memory)

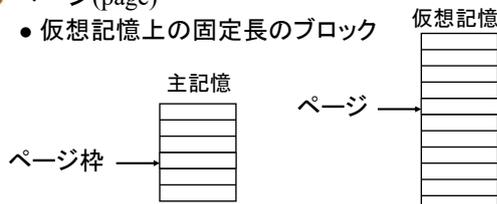
- 仮想記憶(virtual memory)
 - 動的再配置により主記憶容量よりも大きなアドレス空間を提供 2次記憶



8

ページング(paging)

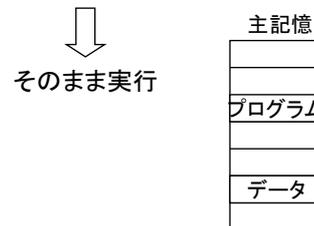
- ページング(paging)
 - 主記憶, 仮想記憶を固定長のブロックに分割
- ページ枠(page frame) サイズ 2^k KB
 - 主記憶上の固定長のブロック 4~8KB
- ページ(page)
 - 仮想記憶上の固定長のブロック



9

ページング

必要なプログラム, データの載っているページが
1. 主記憶上にある場合



10

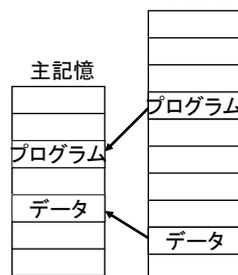
ページング

必要なプログラム, データの載っているページが
2. 主記憶上に無い場合

ページフォルト
(page fault)

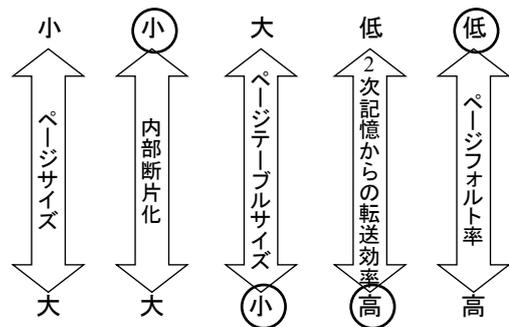
2次記憶から主記憶に
ページを読み込む

ページイン(page in)



11

ページサイズ



12

ページングの問題点

- ページテーブルが巨大
 - 例: 仮想記憶を 4GB, 1ページ 8KB で構成
 - ページエントリ数 約50万
- ページテーブルはプロセスごとに独立
 - 例: 100個のプロセスを実行
 - ページエントリ数 約5000万
 - 1エントリ10Bなら 約500MB

13

ページングの問題点の解法

- ページテーブルが巨大
 - ハッシュ(hash)関数によるページテーブル
- ページ数(仮想記憶) ⇒ ページ枠数(実記憶)

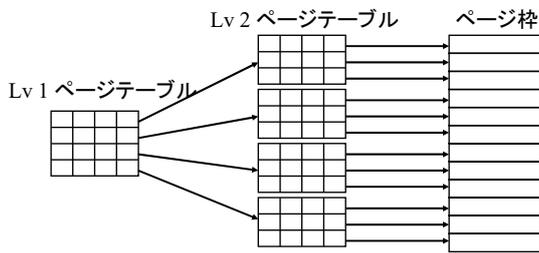
もっと改善するには?

多重レベルページング

14

多重レベルページング (multilevel paging)

- 多重レベルページング(multilevel paging)
 - ページングを多段化



15

多重レベルページング

Lv1 ページテーブル

ページ	ページ枠	フラグ
00	4	1
01	6	1
02	2	1

主記憶

ページ枠	ページ
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

ページ02の
Lv2ページテーブル

ページ00の
Lv2ページテーブル

ページ01の
Lv2ページテーブル

ページ枠に
Lv2ページングの
ページテーブル

16

多重レベルページング

仮想アドレスの構成

仮想アドレス		
ページ番号	Lv1ページ内相対アドレス	
Lv 1	ページ番号 Lv 2	Lv2ページ内相対アドレス

アドレスが二重構造 例 01 | 1 | 321

Lv1ページ内相対アドレス
= Lv2ページングの仮想アドレス

17

多重レベルページング

仮想アドレス

01	1	321
----	---	-----

実アドレス

2	321
---	-----

主記憶

ページ枠	ページ
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

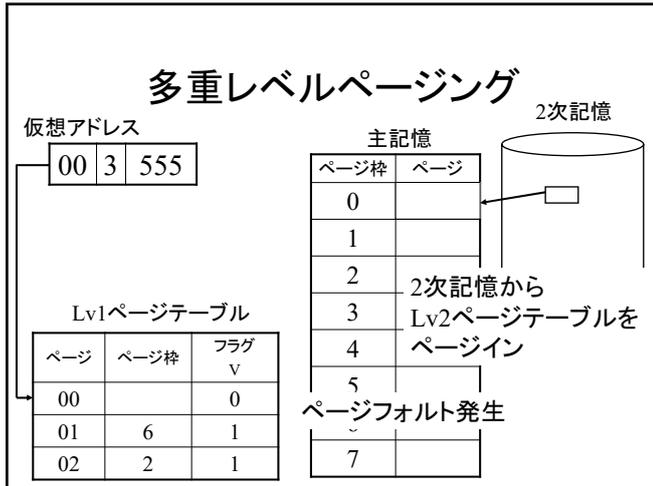
ページ01の
Lv2ページテーブル

ページ	ページ枠
0	7
1	2
2	
3	0

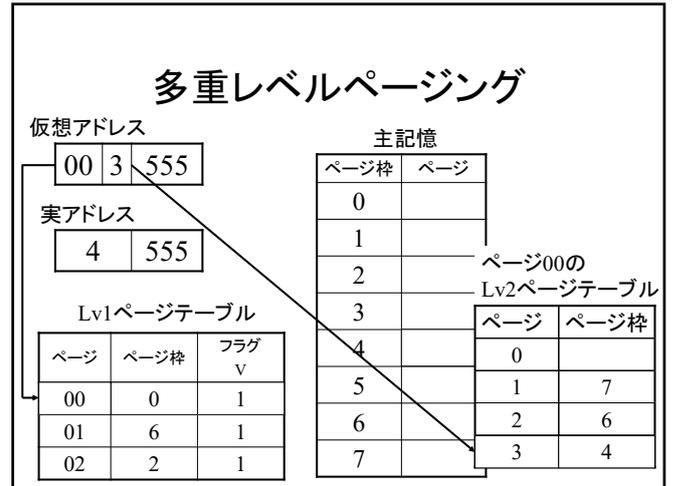
Lv1 ページテーブル

ページ	ページ枠	フラグ
00		0
01	6	1
02	2	1

18



19



20

多重レベルページングの利点

- 多重レベルページングの利点
 - 主記憶使用量の削減
 - 当面必要ではないページテーブルは2次記憶に置く
- 多重レベルページングの欠点
 - メモリアクセスの増大
 - 連想レジスタを用いればアクセス数を減らせる

21

連想レジスタ

一般的にプログラムは一度アクセスしたアドレスを近いうちに再アクセスすることが多い

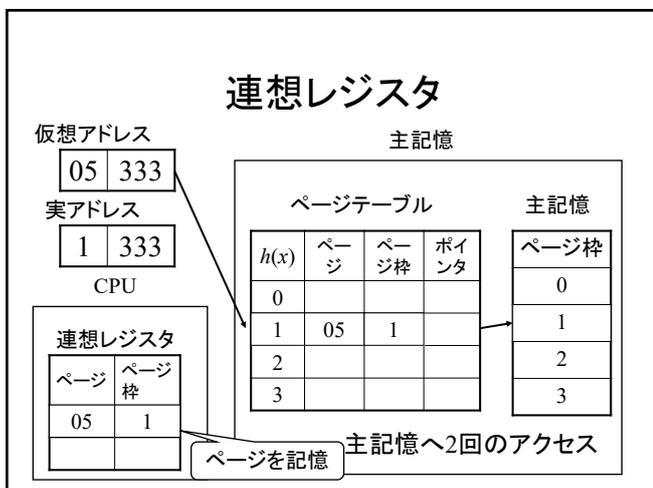
↓

最近参照されたページテーブルをCPU内で記憶

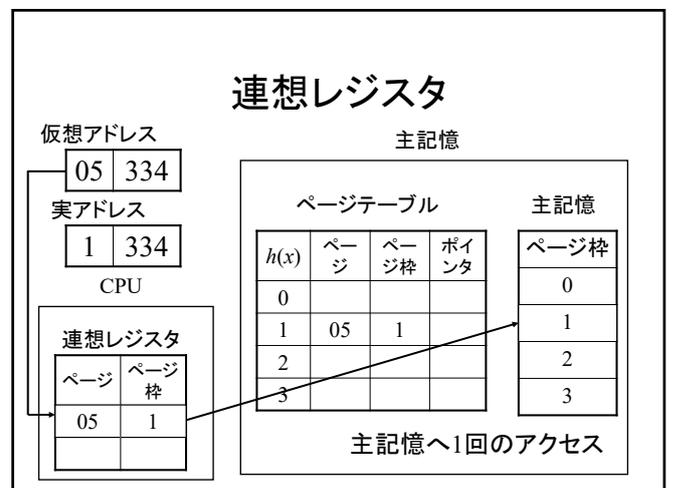
連想レジスタ

- 小容量
- 高速

22



23



24

連想レジスタ

- 主記憶へのアクセス回数 (通常のページング)
 - 初めてアクセスするページ : 2回
 - 最近アクセスしたページ : 1回
- 主記憶へのアクセス回数 (多重レベルページング)
 - 初めてアクセスするページ : 3回
 - 最近アクセスしたページ : 1回

統計的にはレジスタが8~16個で90%のヒット率

25

理想的な仮想記憶

- 大きさは無制限
 - プロセスは記憶容量を考慮する必要無し
 - プログラムの簡単化, バグの可能性減少
 - プロセス毎に固有
 - 他プロセスからのアクセスに対し保護
 - プログラム部, データ部, スタック部等を分離
 - プロセス内部からのアクセスに対し保護
 - 必要時にはプロセス間で共有可能
 - 並列動作するプロセス間で通信機構として使用
- これも実現したい

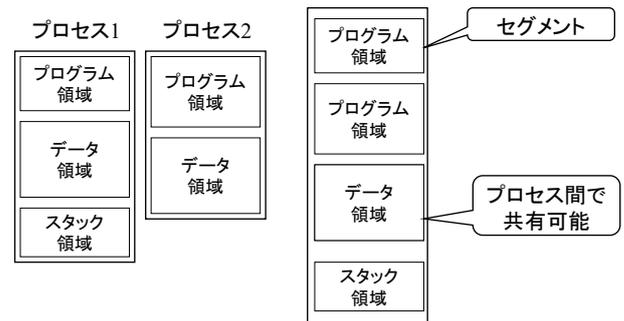
26

セグメンテーション (segmentation)

- セグメント(segment)
 - プログラム, データの論理的なかたまり
 - メインルーチン, サブルーチン, データ等
- セグメンテーション(segmentation)
 - セグメントを単位として分割
 - 各セグメントは大きさを自由に増減可能

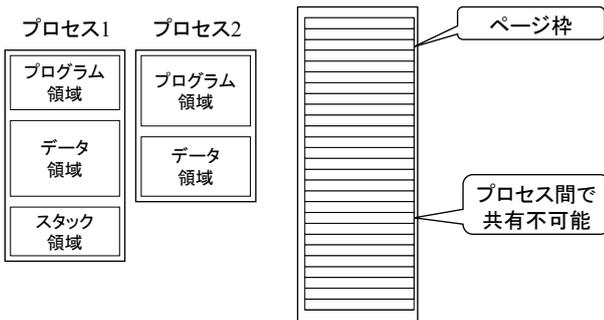
27

セグメンテーション 主記憶



28

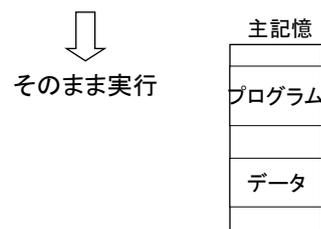
ページング 主記憶



29

セグメンテーション

必要なプログラム, データの載っているセグメントが
1. 主記憶上にある場合



30

セグメンテーション

必要なプログラム、データの載っているセグメントが
2次記憶

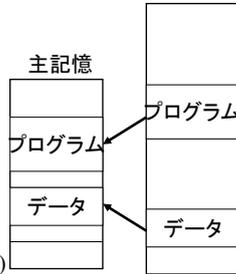
2. 主記憶上に無い場合

セグメントフォルト
(segment fault)



2次記憶から主記憶に
セグメントを読み込む

セグメントイン(segment in)



31

セグメントテーブル(segment table)

● セグメントテーブル(segment table)

● 仮想アドレスから実アドレスへの変換表

セグメント 番号	基底アドレス	セグメント長	フラグ		
			V	P	C
00	2250	550	1	100	1
01		300	0	110	0
02	1100	1200	1	101	1
03		850	0	111	0
04		600	0	110	0
05		150	0	111	0

32

セグメントテーブル(segment table)

● セグメントテーブル(segment table)

● 仮想アドレスから実アドレスへの変換表

セグメント 番号	基底アドレス	セグメント長	フラグ		
			V	P	C
00	2250	550	1	100	1
01		300	0	110	0
02	仮想記憶上のセグメント番号		1	101	1
03		850	0	111	0
04		600	0	110	0
05		150	0	111	0

33

セグメントテーブル(segment table)

● セグメントテーブル(segment table)

● 仮想アドレスから実アドレスへの変換表

セグメント 番号	基底アドレス	セグメント長	フラグ		
			V	P	C
00		550	1	100	1
01		300	0	110	0
02	主記憶上のセグメントの開始位置			101	1
03		850	0	111	0
04		600	0	110	0
05		150	0	111	0

34

セグメントテーブル(segment table)

● セグメントテーブル(segment table)

● 仮想アドレスから実アドレスへの変換表

セグメント 番号	基底アドレス	セグメント長	フラグ		
			V	P	C
00	2250	550	1	100	1
01			0	110	0
02	1100	セグメントの長さ	1	101	1
03		850	0	111	0
04		600	0	110	0
05		150	0	111	0

35

セグメントテーブル(segment table)

● セグメントテーブル(segment table)

● 仮想アドレスから実アドレスへの変換表

セグメント 番号	基底アドレス	セグメント長	フラグ		
			V	P	C
00	2250	550	1	100	1
01		300	0	110	0
02			0	101	1
03			1	11	0
04		600	0	110	0
05		150	0	111	0

36

セグメントテーブル(segment table)

- セグメントテーブル(segment table)
- 仮想アドレスから実アドレスへの変換表

セグメント番号	基底アドレス	セグメント長	フラグ		
			V	P	C
00	2250	550	1	100	1
01		300		110	0
02	1100				1
03					0
04		600	0	110	0
05		150	0	111	0

Permission Flag
アクセス権 (read, write, execute)

37

セグメントテーブル(segment table)

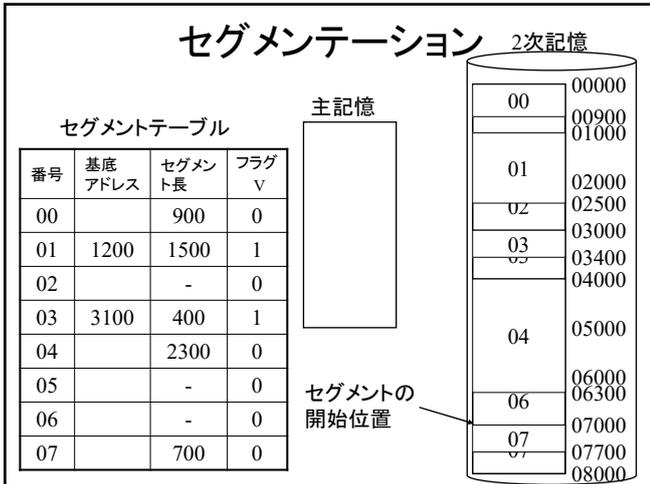
- セグメントテーブル(segment table)
- 仮想アドレスから実アドレスへの変換表

セグメント番号	基底アドレス	セグメント長	フラグ		
			V	P	C
00	2250	550	1	100	1
01		300	0		0
02	1100				
03					
04		600	0	110	0
05		150	0	111	0

Change Flag
セグメントイン後に書き換えられたか

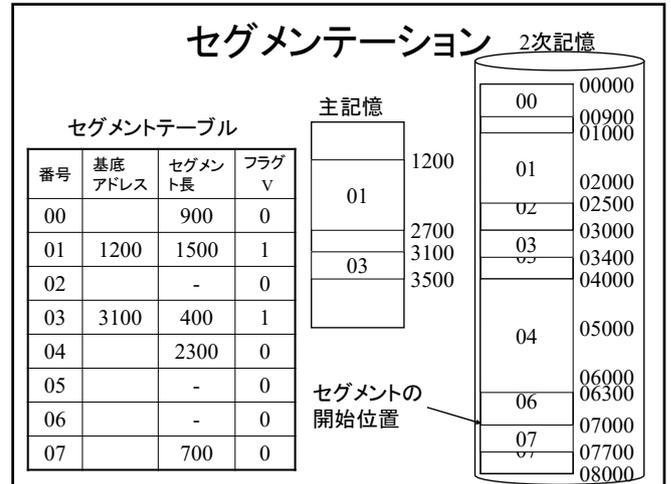
38

セグメンテーション 2次記憶



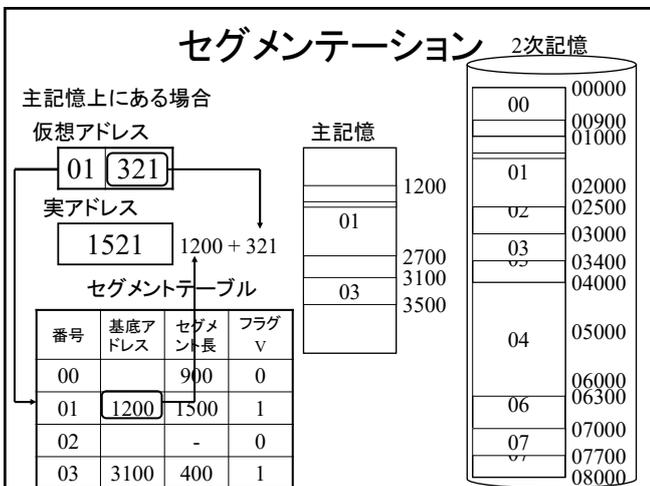
39

セグメンテーション 2次記憶



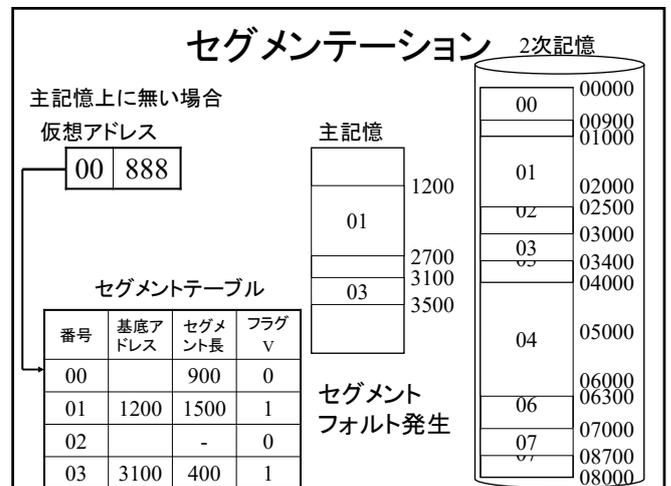
40

セグメンテーション 2次記憶



41

セグメンテーション 2次記憶



42

ページ化セグメンテーション

セグメントテーブル

番号	基底アドレス	セグメント長	フラグ
00	4,000	900	1
01	6,000	1500	1
02	1,000	500	1

ページ枠に
各セグメントの
ページテーブル

主記憶

ページ枠	ページ
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

セグメント02の
ページテーブル

ページ	ページ枠

セグメント00の
ページテーブル

ページ	ページ枠

セグメント01の
ページテーブル

ページ	ページ枠

49

ページ化セグメンテーション

仮想アドレスの構成

仮想アドレス		
セグメント番号	セグメント内相対アドレス	
	ページ番号	ページ内相対アドレス

アドレスが二重構造

例

01	1	321
----	---	-----

セグメント内相対アドレス = ページングの仮想アドレス

50

ページ化セグメンテーション

仮想アドレス

01	1	321
----	---	-----

実アドレス

2	321
---	-----

セグメントテーブル

番号	基底アドレス	セグメント長	フラグ
00		900	0
01	6,000	1500	1
02	2,000	500	1

主記憶

ページ枠	ページ
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

セグメント01の
ページテーブル

ページ	ページ枠
0	7
1	2
2	5
3	0

51

ページ化セグメンテーションの 利点

- 外部断片化の回避
 - ページ単位で主記憶割り当て
- 複数セグメント
 - 各セグメントは大きさ増減可能
 - 複数使用により用途別に使い分け可能
- プロセス間共有
 - セグメンテーションとほぼ同様に共有可能
- ページテーブルの分散
 - ページテーブルが複数に分割されるので、一部を仮想記憶に追い出すことで主記憶使用量削減

52

フェッチ技法(fetch)

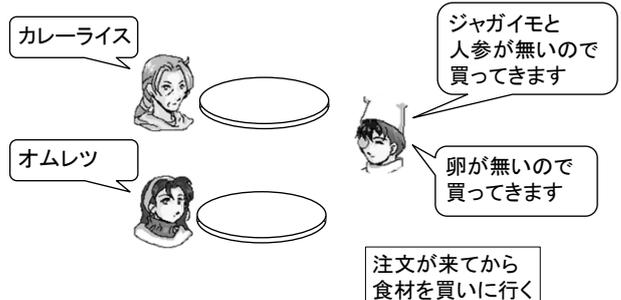
● フェッチ技法

- 要求時フェッチ(demand fetch)
 - プログラムが参照したときにデータを読み込む
- プリフェッチ(prefetch)
 - 参照前に予めデータを読んでおく

フェッチ技法	ページング	食材
要求時フェッチ	必要としたときにページイン	毎回食事前に購入
プリフェッチ	必要なページを予測して予めページイン	1週間分のメニューを予測して週末に購入

53

要求時フェッチ(demand fetch)



54

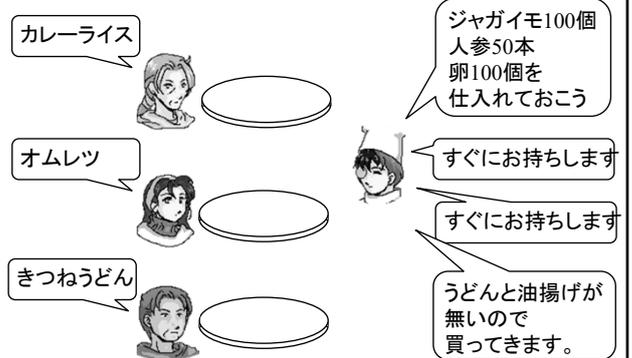
要求時フェッチ(demand fetch)

必要になった時点でページイン

- 要求時フェッチの長所
 - 不必要なページをページインせず済む
 - ページ予測の必要無し
- 要求時フェッチの短所
 - 新しいページを参照する度にページイン発生
 - 処理・転送の並行動作が行えない

55

プリフェッチ(prefetch)



56

プリフェッチ(prefetch)



57

プリフェッチ(prefetch)

必要なページを予測して予めページイン

- プリフェッチの長所
 - プロセス実行時間が短縮(予測が正しければ)
 - CPU内部の処理と転送を並行に行える
 - プリフェッチの必要条件
 - 予測の確度が高い
 - 予測処理が低コスト
- トレードオフ

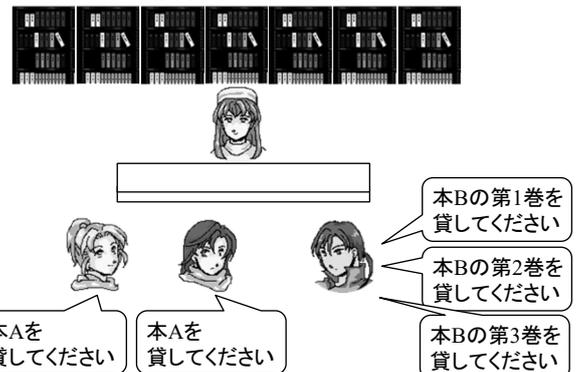
58

参照の局所性 (locality of reference)

- 参照の局所性(locality of reference)
 - 主記憶へのアクセスは一部のアドレスに集中する可能性が高い
- 時間局所性
 - 最近参照されたページは近い将来に再度参照される可能性が高い
- 空間局所性
 - あるページが参照されると近くのページも近い将来に参照される可能性が高い

59

参照の局所性



60

時間局所性

● 時間局所性

- 最近参照されたページは近い将来に再度参照される可能性が高い

```
sum = 0;
for (int i:=0; i<n; ++i) {
    sum := sum + a[i];
}
```

for ループ内では
変数 i , sum が繰り返し
参照される

61

空間局所性

● 空間局所性

- あるページが参照されると近くのページも近い将来に参照される可能性が高い

```
sum = 0;
for (int i:=0; i<n; ++i) {
    sum := sum + a[i];
}
```

for ループ内では
 $a[0], a[1], \dots, a[n]$ が
順に参照される

62

局所性の原因

● プログラムの特徴

- 関数, メソッドを用いて構造化
 - 関数内ではアクセスする記憶領域がほぼ同じ (時間&空間局所性)
 - プログラムの大部分はループで構成
 - ループ制御変数等、同一変数へのアクセス (時間局所性)
 - 配列等連続領域へのアクセス (空間局所性)
- ページインしたページの近くのページも必要になる可能性が高い

63

プリフェッチ技法

● プリフェッチ技法

- 要求時プリフェッチ (demand prefetch)
 - 多くのプログラムで1度参照したページの近傍のページが参照される
⇒ ページを参照時に近傍のページも読み込む
- 初期ロードプリフェッチ (initiate load prefetch)
 - プログラム開始直後はページフォルトが多発
⇒ プログラム開始時に近傍のページも読み込む

64

まとめ

● 多重レベルページング

- ページテーブルを多段化
- 仮想アドレスのページ番号部を複数に分割
- ページテーブル分割により主記憶使用量削減 (必要の無いテーブルは2次記憶上に置く)

65

まとめ

● セグメンテーション

- 仮想記憶と実記憶を対応させる可変長な単位
 - プロセスを意味のあるかたまりに分割
 - プロセス間のオーバラップ (共有領域) を許す
- ### ● ページ化セグメンテーション
- ページングとセグメンテーションの利点を融合
 - 外部断片化を回避
 - 主記憶使用量の削減

66

まとめ

● フェッチ技法

- 必要そうなページを予測して予め読み込む
 - 参照されたページの近傍のページも読む
 - プログラム開始時にプログラム先頭部分のページも読む