

ベントンメモリアル＋ホログラフィシンポジウム

2013.12.7

並列計算システムと動画ホログラフィの 発展

千葉大学

○伊藤智義、下馬場朋禄

フジテレビ情報科学番組「アインシュタイン」 1990年10月放映より



スパコンの価格性能比

- 1990年 スパコン100:パソコン1
 - スパコンを使った方が得
- 2000年 スパコン1:パソコン1
 - スーパーコンピュータからHPC(ハイパフォーマンスコンピュータ)へ
- 2010年 スパコン1:パソコン100
 - パソコンでできるものはパソコンを使った方が得

スーパーコンピュータ

- ベクトル型
 - パイプライン処理による高速化
 - 1970～80年代の主流
- スカラー型（並列型）
 - 汎用CPUの超並列による高速化
 - 1990後半～現在の主流
 - MIT コネクションマシン（1983～1990年代）
 - 65,536個のプロセッサを並列
 - ベントン先生のグループでもCGH計算に使用

粒子系で解きたかった問題 (杉本大一郎: 1980年代後半)

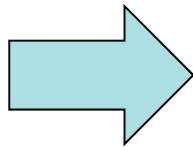


杉本は100万粒子(星)から構成される球状星団をガス球(連続体モデル)に置き換えて安定性を証明した。しかし、その理論は受け入れられなかった。

「星の集まりは星の集まりとして計算してみなくては信用できない」

科学というもの、研究というもの

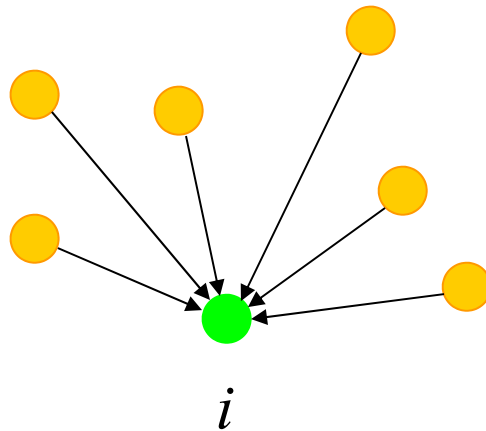
- 杉本：当時のスパコンでは解けなかった
- 1986～7年 コネクションマシンを使用
 - やはり、ダメだった...
- 解きたい問題がある
- 解くための道具がない



ないものは、自分で作る！

——→（大学院生 伊藤の課題）

重力多体問題(1)



1 粒子にかかる重力

$$\mathbf{F}_i = -Gm_i \sum_{j=1}^N \frac{m_j (\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i)}{r_{ij}^3}$$

G : 重力定数、 m : 質量、 $\mathbf{r}$: 位置

(太字はベクトルを表す)

粒子数を N とすると...

重力多体問題(2)

- 系全体の計算負荷

重力の計算量 $\sim N^2$ に比例

位置更新の計算量 $\sim N$ に比例

必要な粒子数 : $N > 10^4$

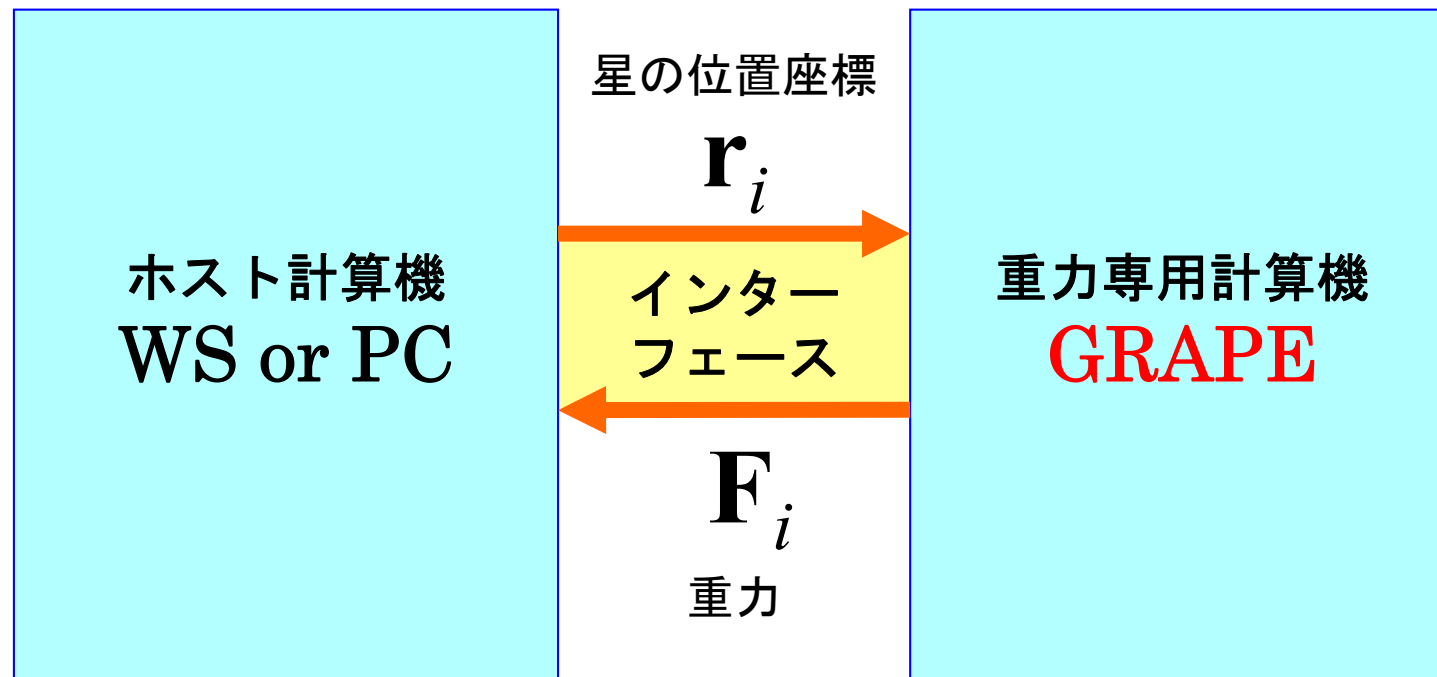


重力計算がネック



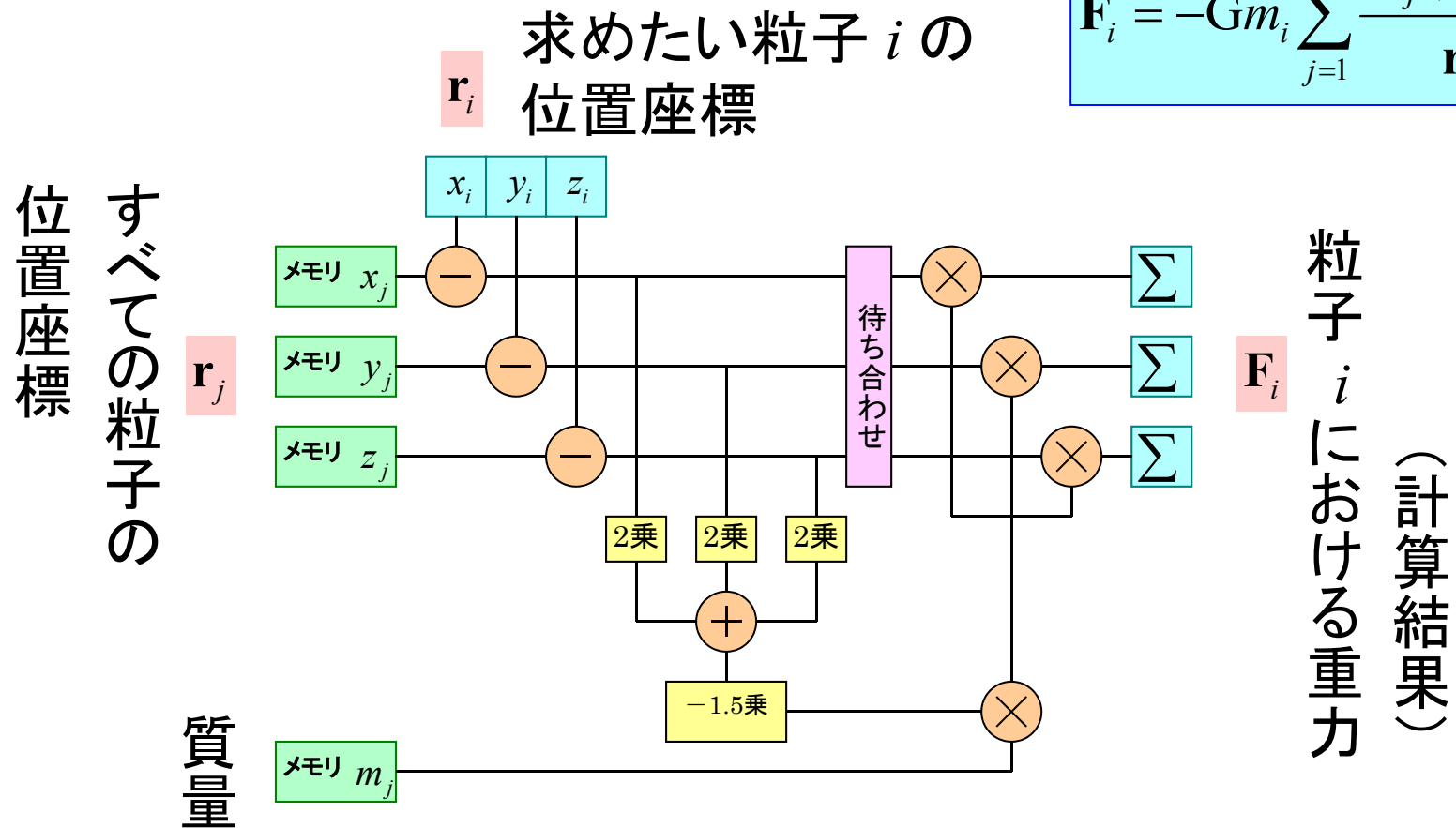
専用ハードウェア

基本システム



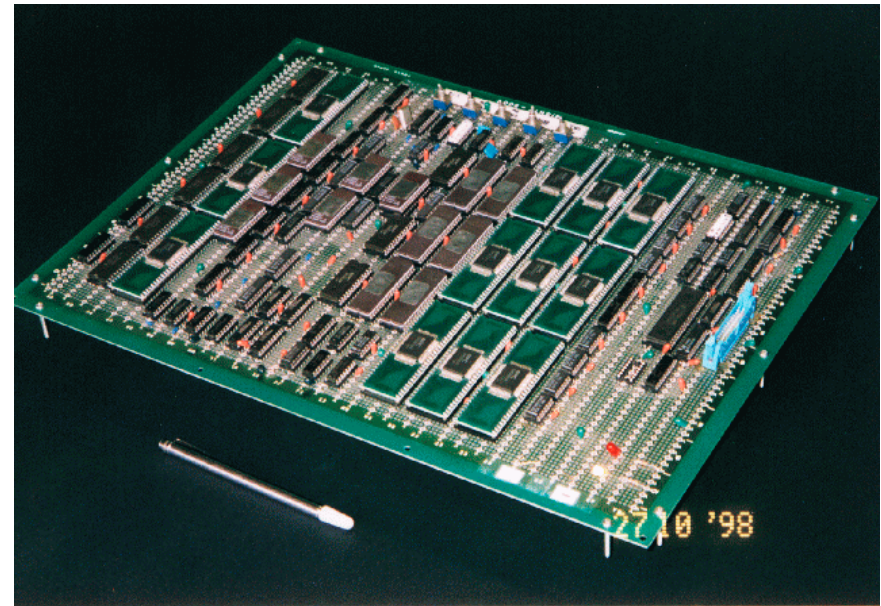
重力計算パイプライン (GRAvity PipE)

$$\mathbf{F}_i = -Gm_i \sum_{j=1}^N \frac{m_j (\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i)}{r_{ij}^3}$$



手作りスーパーコンピュータ GRAPE-1

- 1989年9月完成
- IC総数97個
- 製作費20万円
- 演算速度240Mflops
(初期のスパコンに匹敵)



注) flops: floating point operations per second

GRAPE-1が安くて速い理由

- メモリICを演算ICの代わりに使ったから
 - 当時の最大のメモリICは入力16bit出力16bit
 - 演算ごとにメモリICを配置
 - 回路が簡素化する
- メモリIC(テーブル参照法)は速い
 - 1回の処理(1クロック)で答えが出る
- (参考)動画ホログラフィのメモリ参照法
 - Mark Lucente, *et al.* (1993)

GRAPE-1のブロック図

T. Ito et al. / A special-purpose N-body machine GRAPE-1

189

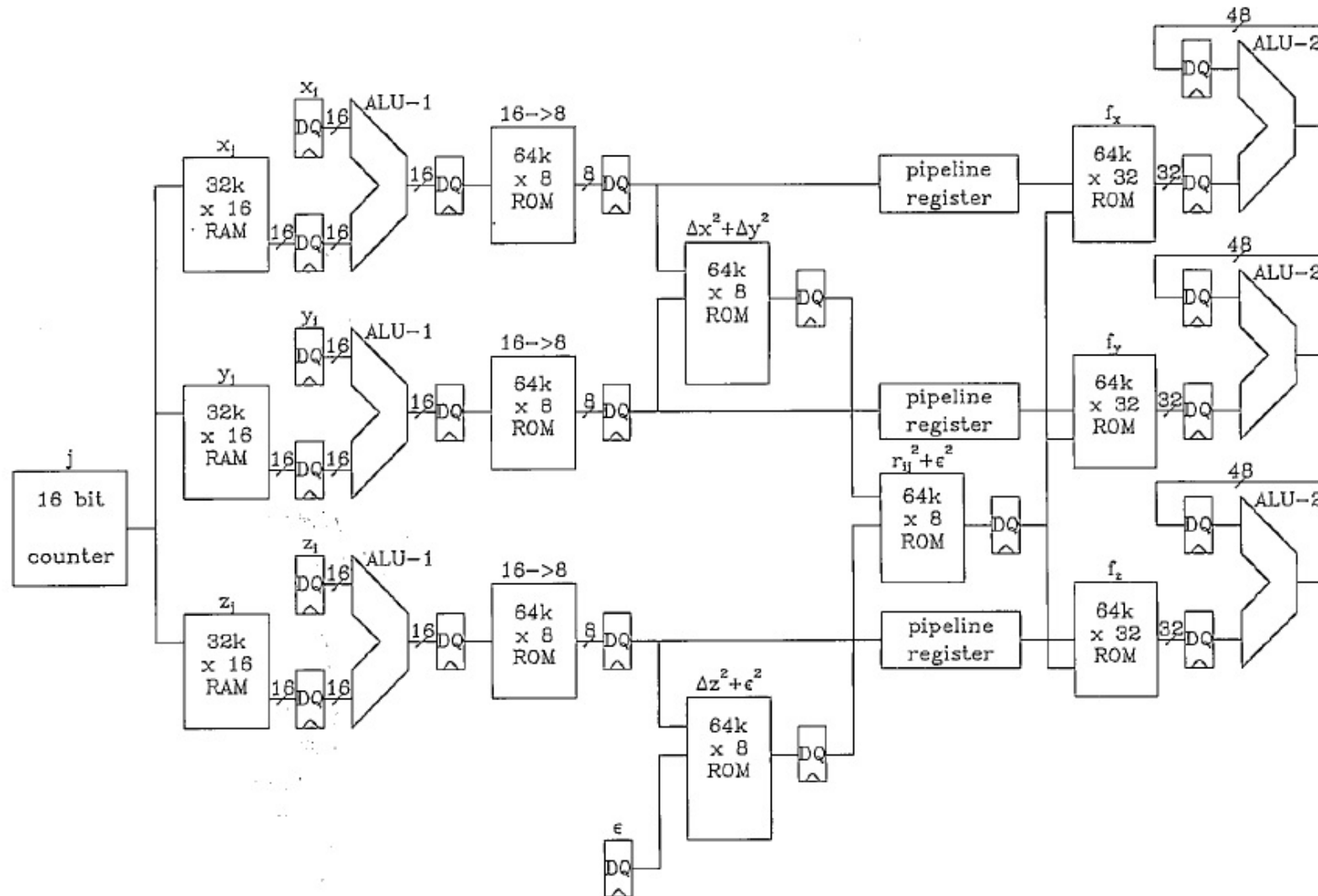
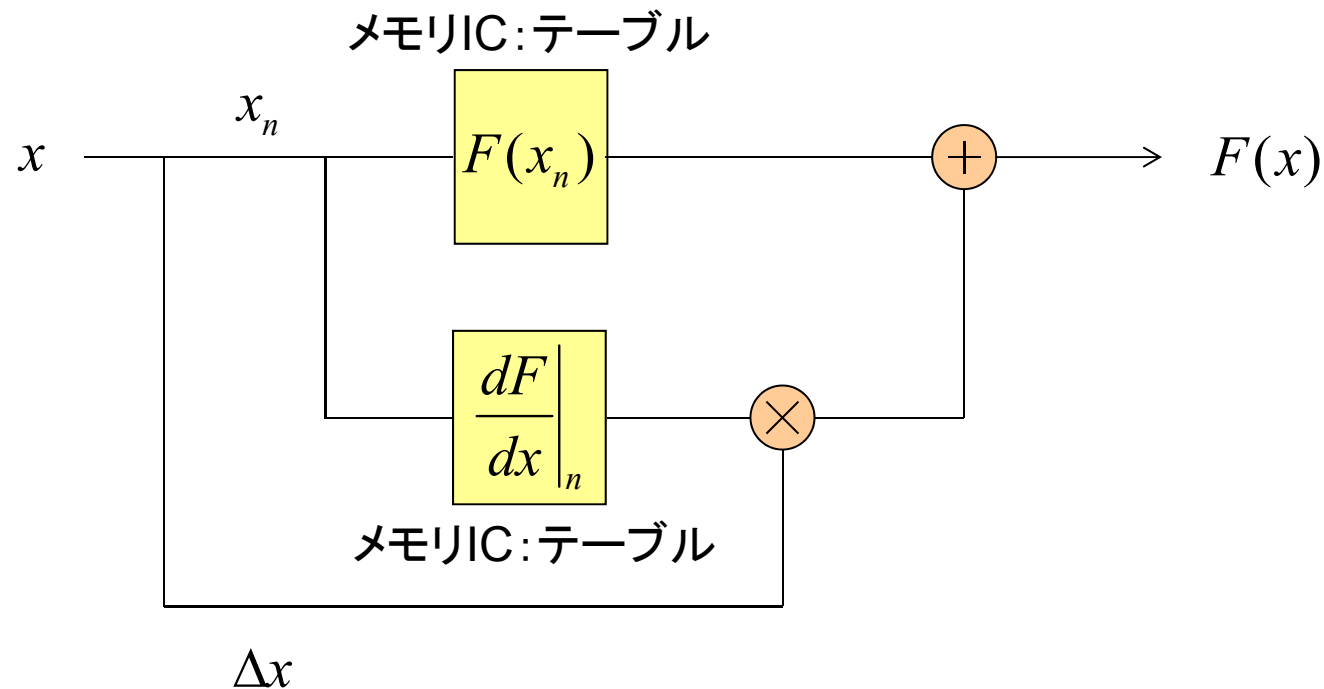


Fig. 2. Block diagram of GRAPE-1.

まじめに演算するには線形補間 テーブルと演算器の組み合わせ

$$F(x) = F(x_n + \Delta x) = F(x_n) + \left. \frac{dF}{dx} \right|_n \times \Delta x + \left. \frac{d^2 F}{dx^2} \right|_n \times (\Delta x)^2 + \dots$$



GRAPEのゴードン・ベル賞

12年間で8度の受賞： スパコン分野で特筆の成功

- 1995年 GRAPE-4 牧野、泰地 杉本の名前がない！
- 1996年 GRAPE-4 福重、牧野 伊藤の名前がない...
- 1999年 GRAPE-5 川井、福重、牧野
- 2000年 GRAPE-6 牧野、福重、古賀
- 2000年 MDM 成見、薄田、古石、泰岡、古沢、川井、戎崎
- 2001年 GRAPE-6 牧野、福重
- 2003年 GRAPE-6 牧野、小久保、福重、台坂
- 2006年 MDGRAPE-3 理化学研究所チーム他

(参考) 初期の代表論文

- [1] 杉本, 近田, 牧野, 伊藤, 戎崎, 梅村, “重力多体問題専用計算機”, Nature (1990)
- [2] 伊藤, 牧野, 戎崎, 杉本, “GRAPE-1”, Computer Physics Communications (1990)
- [3] 伊藤, 牧野, 戎崎, 杉本, “GRAPE-2”, Publications of the Astronomical Society of Japan (1991)
- [3] 伊藤, 他, “タンパク質シミュレーション用GRAPE-2A”, Proteins (1994)

杉本の問題はどうなったか？

- 1983年：杉本「球状星団の重力熱力学振動」を提唱
 - ガスモデルで示す
 - 粒子モデルでやらなければ信用できない
- 1995年：世界最高速に躍り出たGRAPE-4(2億円)を1ヶ月稼働し続けて証明
 - 汎用のスーパーコンピュータで計算したら、レンタル料は10億円を超えたであろう(杉本大一郎「パリティ」誌)

伊藤はどうなったか？

(1989－1991年)

大学院 東京大学教養学部 宇宙地球科学教室

重力多体問題専用機GRAPEの開発

分子動力学への応用(タンパク質のシミュレーション)

(1992－現在)

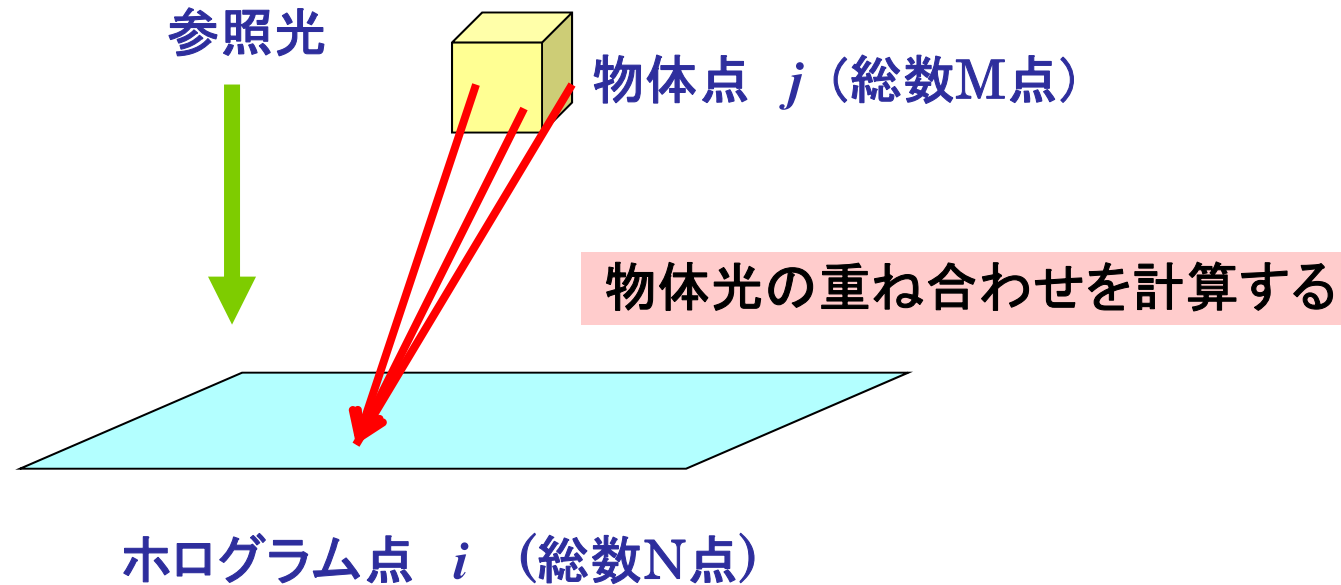
→ 群馬大学工学部電気電子工学科

→ 千葉大学工学部電子機械工学科

(→ 千葉大学工学部電気電子工学科)

ホログラフィ専用計算機HORNによる3次元テレビの研究

計算機合成ホログラム (CGH)

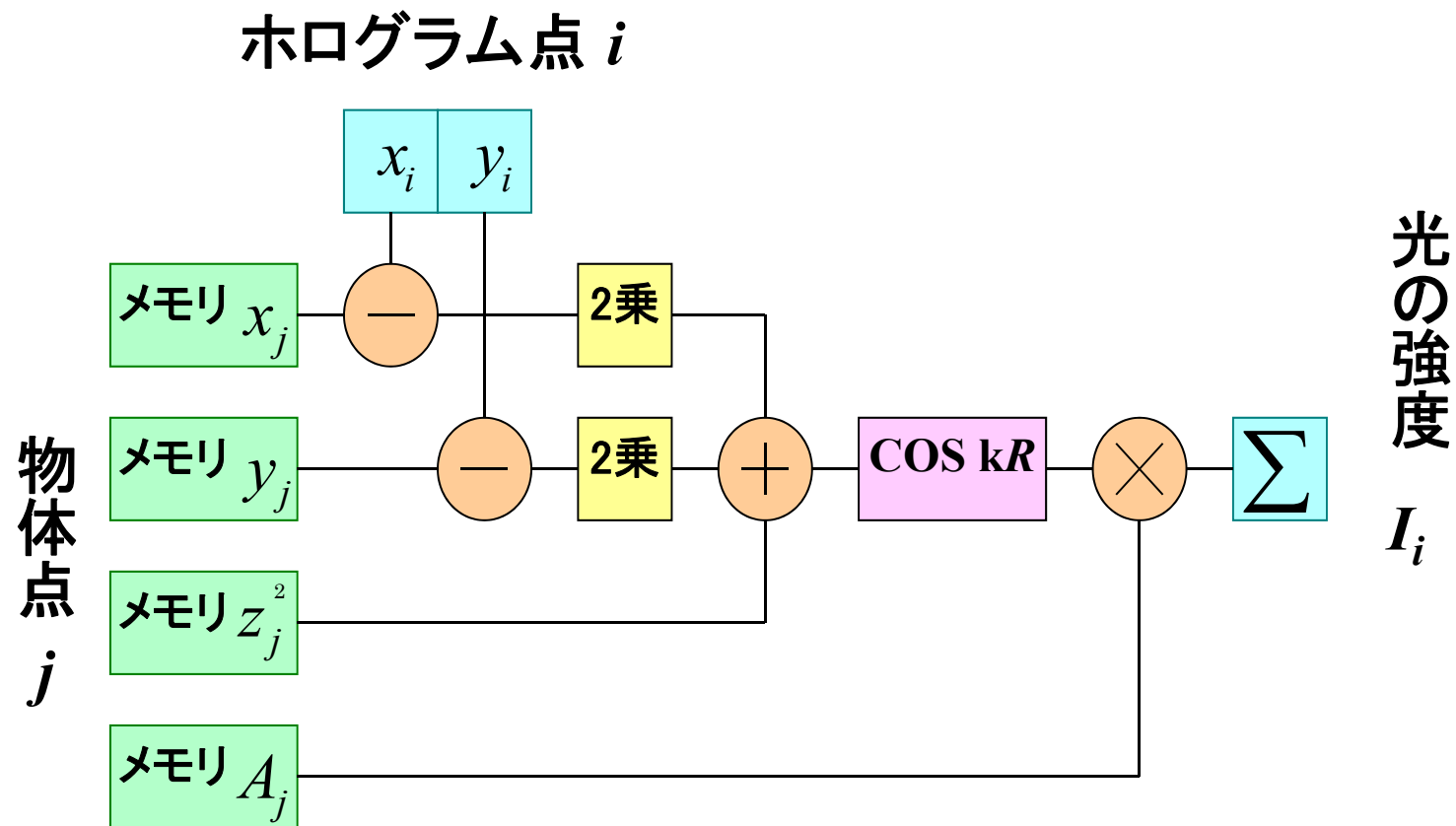


$$I_i = \sum_{j=1}^M \frac{A_j}{R_{ij}} \cos kR_{ij}$$

GRAPEと同じ構造
では!?

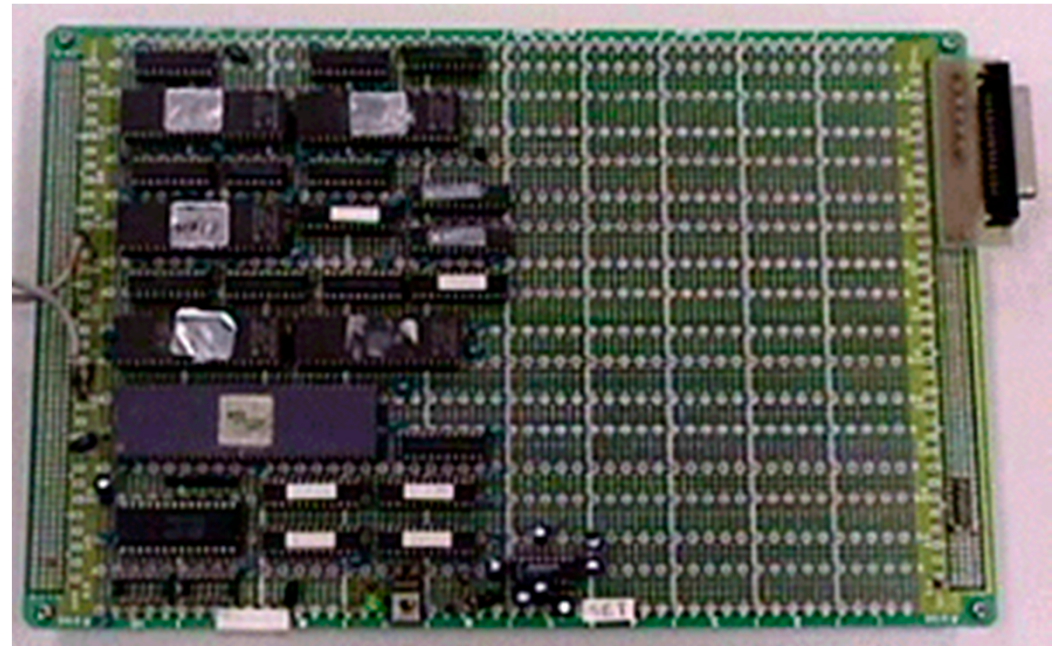
ホログラム1枚あたりの計算量 $\sim MN$ に比例

HORN (HOlographic Reconstruction) パイプライン



HORN-1 (1992年)

- 部品代6万円
- 演算速度300Mflops
(相当)



日経新聞 1993年3月27日

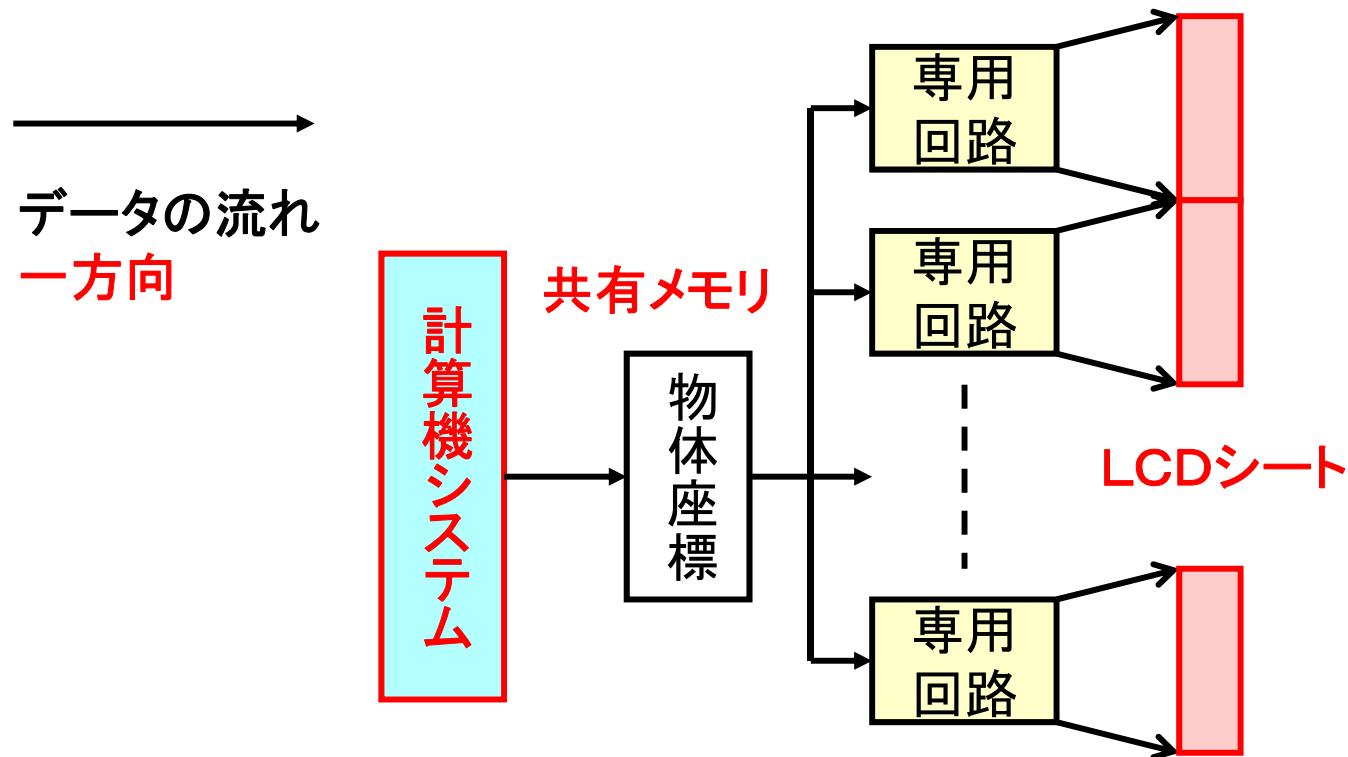
通信放送機構の目にとまる！

電子ホログラフィ

- 1990年 MITベントンのデモ
(日本からは吉川(日大)が参加)
- 1991年 湘南工科大佐藤ら、シチズン橋本らの実験
- 1992年～ 伊藤ら、ホログラフィ専用計算機の開発
- 1993～98年 通信放送機構(当時)
「高度立体動画像通信プロジェクト」
(伊藤の参加:1994～96年)

このとき初めて電子ホログラフィ映像を見る！

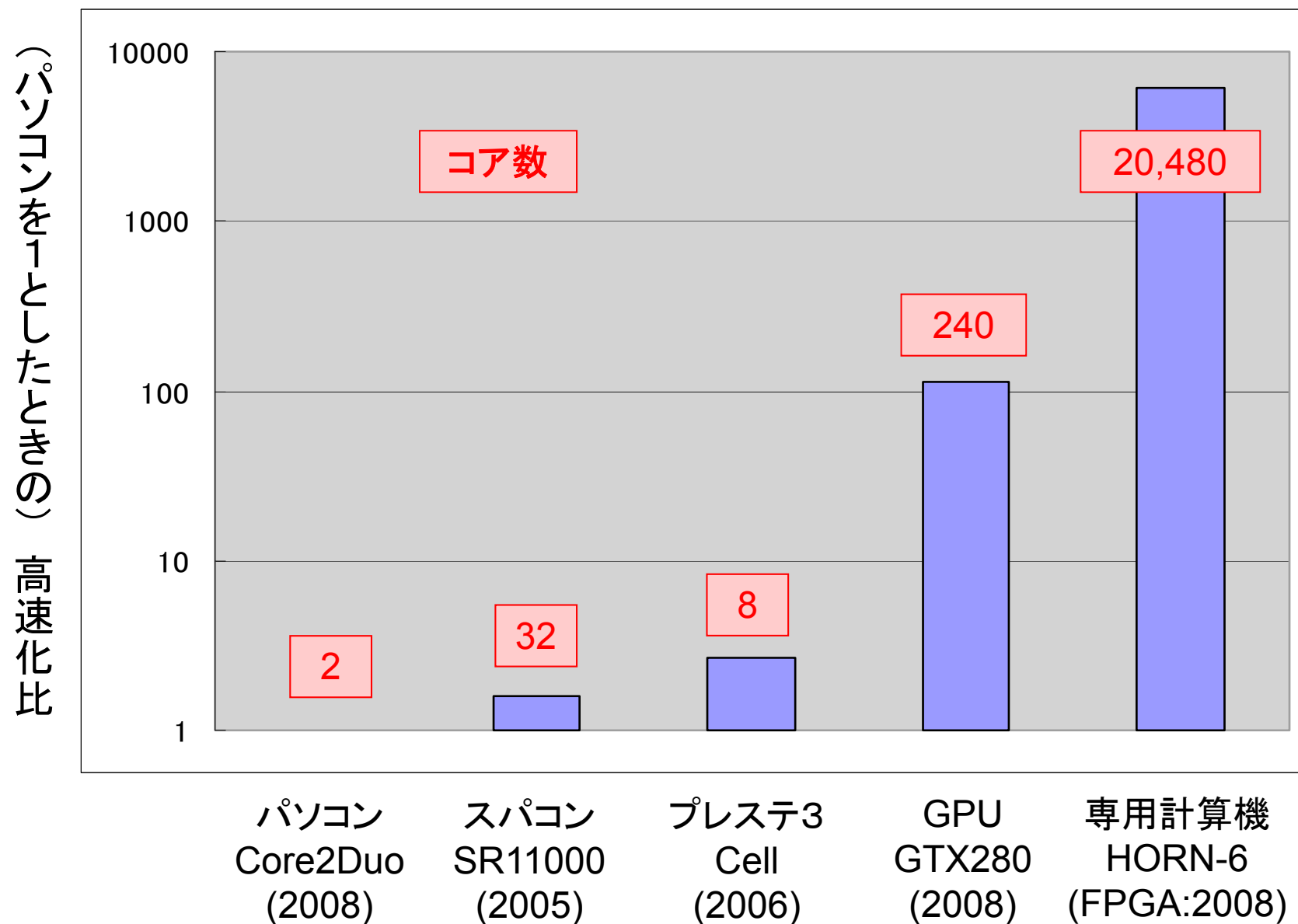
HORN(映像)システムの利点



◎粒子系(N体)シミュレーション(GRAPE)を超える利点

- 通信のボトルネックが生じない
- 出力データを再利用しないので、誤差が蓄積しない
 - 多少のエラーは無視できる

ホログラフィ計算と最近の計算機環境



ご静聴、ありがとうございました。