

コンピュータの性能評価指標に関する一考察
—新しい評価指標「情報量子」の提案—

A study of the performance index suitable for super-computers

--- A proposition of the new index ; "Information Quantum" ---

清水 京造†
Kyozo Shimizu

1. はじめに

一般的に、スーパーコンピュータなど超高速コンピュータの性能評価には、浮動小数点演算の速度を示す「FLOPS」を基本とし、これに省エネルギー化に注目した消費電力あたりの速度「FLOPS/W」が併用されている。

しかし、これらは何れも性能の一面しか示されないものである。ここでは、これらを併せ加え、コンピュータの性能をより総合的に示す指標の可能性を検討した。

2. 従来の性能評価指標での課題点

FLOPS ; 先ず、単位時間当りの浮動小数点演算量である速度「FLOPS」について見る。ここではその逆数の、1浮動小数点演算 (以後 Flop と記す) 当りの動作時間 (T とする) で表す。ここには消費電力の要素は含まれてこない。

$$T = 1 / \text{FLOPS} = \text{Sec}/\text{Flop}$$

FLOPS/W ; 一方、エネルギー効率を示す「FLOPS/W」について見る。ここでも1 Flop 当りのエネルギー (これを E とする) に注目するためその逆数を取ると、次式となる。

$$E = \text{Watt}/\text{FLOPS} = (\text{Joule}/\text{Sec}) / (\text{Flop}/\text{Sec}) \\ = \text{Joule}/\text{Flop}$$

即ち、これは1 Flop の演算処理に必要なエネルギー量 E を示す。ただ、ここにはその演算処理に必要な時間の要素は含まれず、システムの動作速度とは無関係になる。

即ち、指標 T と E は、何れもコンピュータ性能に対し、時間またはエネルギーの一方のみしか規定していない。

3. 新しい性能評価指標「情報量子量」の提案

本来、動作速度 T もエネルギー E も両方重要であり、当然これらは同時に実現される事が望まれる。

本稿では、この両者 T と E を併せ考え、高速化と低エネルギー化を同時に目指す目安を示す新しい指標を提案する。

具体的には、T と E の積をとり、仮にこれを H とすれば、

$$H = T \cdot E \quad (\text{Joul} \cdot \text{Sec}/\text{Flop})$$

この H は1 Flop 当りのエネルギーと動作時間の積で、プランク定数と同じエネルギー量子の単位を持つ量になる。また、その物理的な限界値もこのプランク定数が一つの目安になると考える事が出来る。

実は過去に、デジタル装置の基本要素である論理 IC に対して、同様な性能評価指標が検討されてきている。^{[3][4]}

これは、論理回路の動作時間 T と動作エネルギー E (回路の消費電力と動作時間の積) との積を取り E・T 積とするもので、この値 H をそこでは論理量子としていた。

従って、この場合も、1 Flop の情報処理動作が、そのコンピュータを構成する情報処理の世界に於ける基本単位に

なると考えれば、この情報処理基本単位に対して、E・T 積は時間とエネルギーとを併せ考慮した総合的な性能評価指標を与えるものになると考える事が出来る。

ここでは、前記の論理回路の場合と同様に、この H を便宜的に情報処理量子または短く情報量子と呼ぶ事にする。

また、各コンピュータの特性に関し、これらをエネルギー E と動作時間 T で構成する情報量子量の平面 (ET 面) に二次元的にマッピングする事により、各々の特徴や位置づけを、一目で容易に比較評価する事を可能にした。

4. 新評価指標「情報量子量」の特徴^{[1][2]}

発展が著しい各種コンピュータの性能や特徴は、実際に上記の情報量子量の平面で見ると、図1の様に表される。

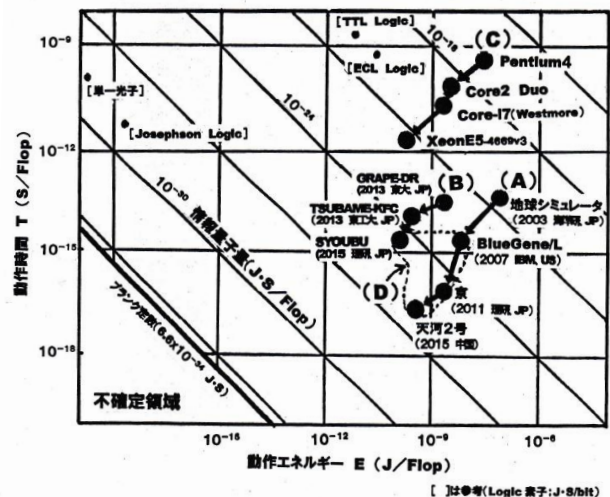


図1 情報量子量によるコンピュータの性能評価

具体的には、図中の(A)では高性能指向 Top500 の超高速スーパーコンピュータを、同じく同図中の(B)ではその中で省電力化を目指す Green500 の省電力型スーパーコンを、更に同図中の(C)ではこれらの基本要素となる LSI コンピュータを、各々各時点でのトップ例につき時系列的に示す。

各々の系列とも全て図の左下原点方向、即ち高速化と低エネルギー化を同時に実現する、まさにこの情報量子量を最小化する方向に一致して進んでいる事が分る。

従って、結果的に、この情報量子量 H は、これまでコンピュータが目指してきた性能向上の方向をダイレクトに示す性能評価指標になっている事が理解出来る。

先ず図1の(A)では、スーパーコンピュータの性能進展状況を、各時点におけるトップ機種について時系列的に取り上げ、その性能の推移を示す。ここでは、年々の技術進歩

†(株)ビューマジック ViewMAGIC Inc,

とともに、高速かつ低エネルギーの方向（即ち情報量子量低減の方向）に真っ直ぐ一直線的に進んでいる事が分る。

同様に、(B)では Green500 の Top 機種種の年代経過の例を示す。この場合も(A)と全く同様に情報量子量低減の方向に進んでいるが、特に性能面では、基本演算部の低電力化努力により、動作エネルギー自身の低減が実現されている。

更に、(C)での LSICPU では、半導体 LSI の高集積化高度化での著しい高性能化により、年代と共に情報量子量は直に低減している。尚、これらから構成される諸システム(A)では、H は当然同様に低減されるが、これは並列動作による高速化分であり、動作エネルギー分での低減はない。

5. 現時点の各種コンピュータ性能

また、現時点のコンピュータの性能は、例えば Top500 リスト(Nov.2015)では、図 1 の中で点線(D)の領域により示される。この内容をより詳細に示したものが図 2 である。

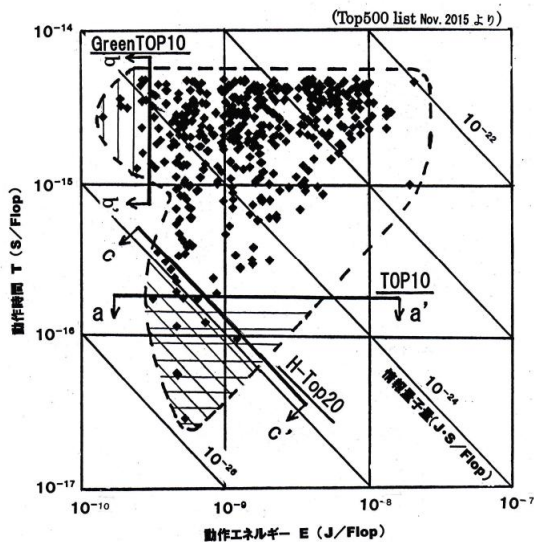


図 2 Top500 コンピュータの特性分布

図 2 は現時点での Top500List の機種を情報量子量の平面（即ち E・T 平面）にプロットしたものである。

この図では、先ず超高速指向の Top10 の 10 機種は図中の区切り横線 aa' で区切られた下側の領域に区分けされる。

また、省エネルギー化を指向する Green500 でのトップ 10 となる GreenTop10 は、図中の縦方向の区切り線 bb' で分けられた左側の領域に区分けされる。

ここで特に注目されるのは Top10 と GreenTop10 とは相互に異なる別の領域に分布している事である。即ち、Top10 は超高速を目指す大型システムの領域に、また GreenTop10 はむしろ中小型システムがその母集団になっている。

一方、この中で、情報量子量 H に着目したトップ機種を考える場合、元の分布図について H の等量線に沿って左下の方から例えば 20 機種を取り図中の斜め区切り線 cc' で区切れば、この線の左下部分が情報量子量 H のトップ 20 の領域となる。ここではこれを H-Top20 と表す事にする。

ただ、これは速度に加えその消費電力効率も含めた総合的な性能の進展(Progress)度合いを示す性能指数になるので、例えば、Prog-Top20 と表すのが適切かもしれない。

この情報量子量 H の Top20 項の内容を表 1 に示す。

H-Top20 順位	情報量子量 H J·S./Flop ($\times 10^{-20}$)	装置	国名	Top-500 順位	Green-500 順位
1	15.53	天河 2	中国	1	90
2	26.53	Titan	米国	2	63
3	26.75	Sequoia	米国	3	55
4	53.50	Mira	米国	5	56
5	56.18	PizDaint	スイス	7	20
6	89.60	Trinity	米国	6	143
7	91.71	JUQUEEN	ドイツ	11	50
8	92.43	Shaheen II	サウジ	9	80
9	106.98	Vulcan	米国	12	47
10	110.14	Abel	米国	14	42
11	113.63	Hazel Hen	ドイツ	8	127
12	114.61	K-computer	日本	4	214
13	117.14	CrayCS-Storm	米国	15	37
14	117.14	CrayCS-Storm	米国	16	38
15	120.72	HP2	イタリア	19	31
16	123.68	TSUBAME	日本	25	26
17	163.24	FujitsuPRIMEHPC	日本	22	65
18	168.85	Stampede	米国	10	157
19	187.05	Super MUC	ドイツ	24	92
20	202.11	Pleiades	米国	13	153

表 1 情報量子量 H の Top20

ここでは Top500List(Nov.2015)で Top10 等の最高速領域の機種に対し、更にエネルギー効率の高さが比較される。即ち、Top10 とは順位が多少前後するが、これにより高速かつ低エネルギー（低情報量子量）の機種が明確になる。

また、省エネルギー指向の Green500List とは、順位にあまり相関が無いが、これは先の別の分布領域になる為と考えられる。従って、情報量子量 H の検討も、GreenTop10 に対応した領域でのトップ比較評価が必要と考えられる。

今後、コンピュータの一層の高性能化に対し、情報量子量の低減が更に追求されるが、高速化と併せ、特に Green500 で目指す動作エネルギー低減が非常に重要になる。

なお、近年の大規模データ処理化動向に対応し、グラフ探索演算処理を指向した性能指標 TEPS(Traversed Edges Per Second) に基づく新しいリストの Graph500List^[1]がある。

この場合は、従来の 1 Flop 当りに代わり、Graph500 での演算の基本単位となる 1 Traversed Edge 当りの E・T 積が情報量子量 H となる。

又、Green500 の場合と同様、Graph500 と GreenGraph500 とは Data 区分により分布領域が大幅に異なるので、情報量子量 H についても、各々に対応する領域での比較評価が必要になると考えられる。

6. まとめ

従来のコンピュータ性能評価指標を更に展開すべく、これらを合わせた指標として情報量子量を提案し、その可能性を述べた。更に、この情報量子量平面(ET面)を用いる事により各種コンピュータの特徴・性能等の位置づけを一目で容易に可能にする事を示した。

なお、本発表の機会を頂いた事に感謝するとともに、これらが、今後への何らかの参考になれば幸いである。

参考文献

- [1] Lists from Top500org., Green500 org., Graph500 org.
- [2] Intel Processors/Processor-numbers
- [3] 垂井編、超 LSI 技術 8.1(清水)、オーム社 1981
- [4] VLSI Technology 8.1, Editor: Y. Tarui, vol.12, Springer-Verlag (1986)