

2025 年度 卒業論文

ムーアの法則の限界検証と考察  
～今後のパソコン業界の動向と対応～

大東文化大学 経営学部

22161412 高橋 和真

# 目次

1	序章.....	3
2	ムーアの法則の成立検証 .....	3
2.1	検証内容.....	3
2.2	検証方法.....	3
2.3	検証結果.....	3
3	ムーアの法則の限界検証 .....	4
3.1	半導体限界の考察 .....	4
3.2	経済的・経営的限界 .....	6
4	パソコン業界の動向 .....	6
4.1	過去の動向と需要 .....	6
4.2	今後の動向の仮説 .....	6
5	アンケート調査.....	7
5.1	調査内容.....	7
5.2	仮説.....	7
5.3	結果.....	7
5.4	考察.....	8
6	ムーアの法則のまとめ .....	9
7	今後のPC業界の市場調査 .....	9
7.1	調査内容.....	9
7.2	調査結果.....	9
7.3	追加調査.....	10
7.4	調査結果.....	10
8	終章.....	11
9	今後の課題.....	12
	参考文献.....	12

# 1 序章

パソコンをはじめとする情報機器は、過去半世紀にわたり飛躍的な性能向上を遂げてきた。その背景には、半導体技術の進歩があり、その象徴的な指標として「ムーアの法則」が広く知られている。ムーアの法則とは、インテル共同創業者であるゴードン・ムーアが1965年に発表した論文において示した、「半導体上のトランジスタ数は18~24か月で約2倍になる」という経験則である。この法則は長年にわたり半導体産業の技術指針として機能し、パソコン業界の成長を支えてきた。

しかし近年では、半導体の微細化が物理的限界に近づいていることや、製造コストの急激な上昇が問題視されている。加えて、一般消費者の多くが現在のパソコン性能に満足しているという指摘もあり、性能向上そのものが市場成長に直結しない状況が生まれつつある。このような状況下において、ムーアの法則は現在も成立しているのか、また今後も成立し続けるのかを検証することは、技術的観点だけでなく経営学的観点からも重要である。

本研究の目的は、第一にCPUおよびGPUの実測データを基に、ムーアの法則が現在も成立しているかを検証すること、第二に半導体微細化の技術的制約を踏まえ、ムーアの法則が将来的にどの時点で限界を迎える可能性があるのかを考察すること、第三にその限界がパソコン業界および消費者ニーズにどのような影響を与えるのかを分析し、今後の業界動向と企業の対応について検討することである。

本研究では、既存のベンチマークデータやメーカー公表資料を用いた定量分析に加え、アンケート調査による需要分析を行う。これにより、技術進歩と市場ニーズの両面からムーアの法則の意義と限界を明らかにする。

## 2 ムーアの法則の成立検証

### 2.1 検証内容

本章では、近年のCPUおよびGPUの性能推移を基に、ムーアの法則が現在も成立しているかを検証する。ムーアの法則は本来トランジスタ数の増加に関する法則であるが、近年では性能指標としてベンチマークスコアを用いた拡張的解釈も広く用いられている。本研究では、トランジスタ数およびベンチマークスコアの双方から検証を行う。

### 2.2 検証方法

CPUについては、2018年から2022年までの主要世代のプロセッサを対象とし、製造プロセスの1パーツサイズの比較と、「ChineBench」という性能を数値化したPassMarkスコアを比較した(表1)。

GPUについては、NVIDIA社のGeForce RTXシリーズを対象に、製造プロセスの1パーツサイズ、トランジスタ数、ベンチマークスコアの推移を整理した(表2)。

ムーアの法則が示す「18か月で2倍」という条件を年単位に換算すると、約1.6倍の成長率に相当する。本研究では、この1.6倍を成立条件の目安として用いる。

### 2.3 検証結果

表1に示すCPUのPassMarkによる総合スコア推移を見ると、14nmプロセスが継続していた期間では、前年対比1.6倍に達しない年が多く確認された。一方で、10nmプロセスへ移行した後には、スコアが大きく

向上しており、特定の世代ではムーアの法則の成立条件を満たしている。10nm プロセスへ移行した世代以降、スコアが大幅に向上していることから、プロセス微細化が性能向上に与える影響は依然として大きいことが分かる。

GPU においては、製造プロセスの微細化と同時に、アーキテクチャ設計の高度化が進んでいる。表 2 より、トランジスタ数の増加率と性能向上率が必ずしも一致していないことが読み取れる。これは、単純な集積度向上ではなく、並列処理設計や専用コアの導入などが性能向上に寄与していることを示している。

表 2 に示す GPU のデータでは、プロセスの微細化が必ずしも毎世代行われていないにもかかわらず、トランジスタ数およびスコアが大幅に向上していることが分かる。特に RTX4090 では、トランジスタ数が前世代比 2.7 倍となり、性能面ではムーアの法則を上回る成長が確認された。

以上より、トランジスタ集積度のみを基準とした場合、ムーアの法則は厳密には成立していないものの、設計技術やアーキテクチャの工夫によって、性能面では依然としてムーアの法則に近い成長が維持されているといえる。

表 1 CPU 性能スコアの推移

CPUスコア

年	世代	アーキテクチャ	ソケット	型番	プロセス	スコア	スコア前年比(倍)
2018	9	Coffee Lake-S	LGA1151v2	Corei9-9900KS	14nm	21391	-
2019	10	Comet Lake-S	LGA1200	Corei9-10900K	14nm	23986	1.12
2020	11	Rocket Lake-S	LGA1200	Corei9-11900K	14nm	25530	1.06
2021	12	Alder Lake	LGA1700	Corei9-12900KS	10nm	43832	1.72
2022	13	Raptor Lake-S	LGA1700	Corei9-13900KS	10nm	62913	1.44

表 2 GPU トランジスタ数および性能スコアの推移

GPUスコア

	2022	2021	2020	2019	2018	2018
	RTX4090	RTX3090ti	RTX3090	RTX2080ti	RTX2080s	RTX2080
プロセス	5nm	8nm	8nm	12nm	12nm	12nm
トランジスタ数(億)	763	283	283	186	136	136
トランジスタ数前年比(倍)	2.70	1.00	1.52	1.37	-	-
Passmark	38938	29818	26926	19598	21868	18813
スコア前年比(倍)	1.31	1.11	1.37	0.90	1.16	-

### 3 ムーアの法則の限界検証

ムーアの法則については、以下のように部 t 理的限界のほかにも、経済的限界も考えられる。

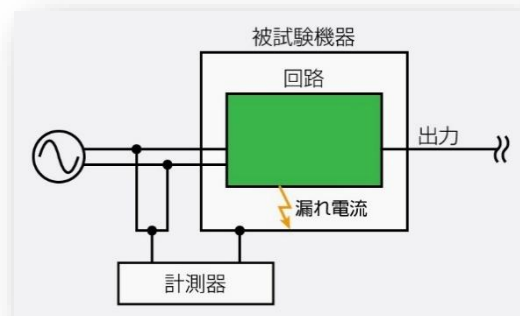
#### 3.1 半導体限界の考察

半導体の微細化は、近年 5nm、3nm と進展しているが、原子サイズに近づくにつれて「リーク電流」や「量子トンネル効果」といった問題が顕在化している。

「リーク電流効果」は、日本語では漏れ電流（漏洩電流）とよばれる。電子回路上で、本来は絶縁されていて電流が流れないはずの場所や経路に漏れ出した電流を意味する。似たようなイメージの言葉として漏電がある。

漏電は電気が回路の外に漏れ出すのを意味するのに対し、リーク電流は集積回路の内部で発生するなど機器の外には漏れ出さない電流や、各国の安定規格で定められている範囲内で発生する漏れを指しているケースが多い。電源メーカーの場合、リーク電流は半導体のような微小な漏洩電流ではなく、漏電的な意味合いが強くなるため、リーク電流が増えると、機器の誤作動につながる他、本来の動作に必要な電力よりも多くの電力量を消費するようになる。また回路や機器の劣化や破損の恐れもある。<sup>[7]</sup>

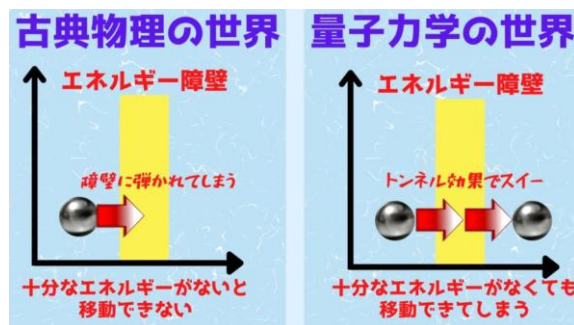
図1 [リーク電流（漏洩電流）](#) | [電源の用語集](#) | [松定プレゼンション](#)



「量子トンネル効果」は、量子世界において小さな粒子は「存在確率があやふやで場所が確定していない」ことが原因となっている。古典物理では、安定した化合物の間を電子が移動するためには、何らかのエネルギーが必要とされるが、この必要エネルギーは「山」のような存在であり「山」を越えるエネルギーを得ない限り、電子の移動は叶わない。

しかし、現実世界の電子の存在確率はあやふやであるため、存在確率が続いている場所ならば、たとえ別の化合物であっても、エネルギーの「山」をトンネルを通ったかのように無視して移動することが可能となる。<sup>[8]</sup>

図2 [DNA 変異が量子世界のトンネル効果で起きていると判明！](#) - ナゾロジー



これらは、トランジスタの正常な動作を阻害する要因であり、物理的制約として無視できない。

CPUのプロセス推移を見ると、14nm から10nm、7nm、5nm と進化は続いているが、上記問題を考慮すると、2nm 付近で技術的限界を迎える可能性が高い。

新たな方法で 1nm への研究が始まらない限りは、技術的な集積率の向上への進歩は難しいことがわかる。

## 3.2 経済的・経営的限界

技術的に微細化が可能であっても、製造コストの増大が大きな制約となる。先端プロセスの開発には莫大な設備投資が必要であり、製品価格の上昇を招く。実際、近年のハイエンド GPU の価格は 20 万円を超える例も見られ、一般消費者にとっては資産的性格を持つ商品となりつつある。

このように、ムーアの法則の限界は物理的制約だけでなく、経済合理性の観点からも訪れる可能性が高い。

## 4 パソコン業界の動向

### 4.1 過去の動向と需要

今までは起動時間短縮や、処理速度向上といった性能面での向上が期待されていた。ムーアの法則が現段階でも成立し続けており、毎年性能は向上し続けている。しかし、性能が向上することで、価格の上昇も著しくなっており、最新機種を購入できる人はごくわずかとなっている。

もちろん、さらなる技術が必要となる場合もある可能性もあり一概には決めつけられないが、下表 3 の性能向上の変化が低迷している点からも、性能の向上よりも価格を抑えること、同性能でより良いものを求める場合の方が需要は高まるのではないだろうか。

表 3 PC の年あたりの性能の変化

年代	年平均の性能向上	備考
1990～2010 頃	30～50%/年	ムーアの法則がほぼ成立。クロック向上も大きい。
2010～2020 頃	10～20%/年	クロック停滞、マルチコア化で補う時代。
2020～現在	3～10%/年	微細化の限界、発熱問題。省電力重視へ。

### 4.2 今後の動向の仮説

性能の向上がこのままのペースで行われていた場合、CPU では 12 世代、GPU では 8 世代で限界が来ると仮説を立てたが、大衆の需要を考えると性能の向上よりも重視される点があるだろう。

コスト削減や小型化、軽量化、排熱問題を解決していく方が顧客のニーズに合っている。

以上から、性能の向上のスピードを落とし、顧客のニーズに沿った成長をしていくと仮説を立ててみた。実際に、VAIO では、同スペックの中で、軽さや耐久性、作りの部分に重きを置いているメーカーとして話題になっていることから、顧客のニーズに重きを置いていると考えられる。

## 5 アンケート調査

### 5.1 調査内容

本調査では、「ノートパソコンに求めること」「デスクトップパソコンに求めること」について、それぞれ「価格、性能、電池容量、軽さ、その他記述」の方式でアンケートをとった。

今回は、大学、X(元 Twitter)で、2024年11月に、学生、家電量販店店員の計100人にアンケートをとった。

### 5.2 仮説

最近のノートパソコンの販売傾向を見ると、モバイルノートパソコン等のタブレット PC や、小型のパソコンの製造が増加している。その点からも企業はノートパソコンで最重要なのは小型化であり、そこに最も焦点が集まるのではないかと考えた。

それとは異なり、デスクトップパソコンにおいては、画質やリフレッシュレートの向上により、GPU に求められる技術にはまだ成長の目途があることから、性能面の成長に需要があるのではないだろうか。

スマートフォンは、軽量化、小型化、電池容量の増加の3つに焦点が集まると考えた。5G通信が始まり、スマートフォンの性能の向上には注目が集まっており。その上で軽量化や小型化、電池容量の増量も期待されている。このことから、性能の向上と使いやすさの両立が求められるのではないかと考えた。

### 5.3 結果

表4 ノートパソコンに求めること

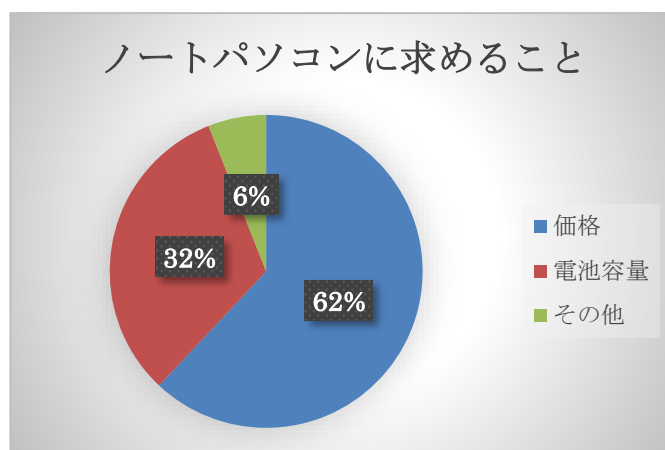
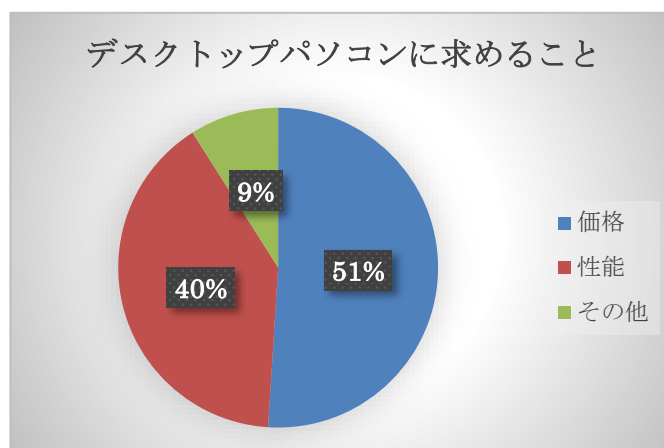


表5 デスクトップパソコンに求めること



まず、どの機器においても最初に気になっている点は“価格”であった。性能の向上についてもアンケートをとったが、現在の性能に満足している人の方がそれぞれ8割ほどと圧倒的に多く、価格が下がることを望んでいた。

価格を除いた場合でそれぞれのアンケート結果をまとめると、ノートパソコンは“電池容量”に意見が集まった。デスクトップパソコンとは違い、大学や仕事等外で使う人が多い中、やはり電池容量は多いに越したことはないという意見はとても理にかなっている。他にも、小型で持ち運びやすい方がいい、画面サイズを大きく見やすくしてほしいという意見もあったが、そこまで重点を置いている人は少なかった。

デスクトップパソコンは、唯一性能に期待する声が多かった。最近では、4Kに対応したゲームや動画も増えてきており、最新機種でもスペックが足りなくなることもある。もちろんビッグデータを扱う人が作業効率を扱う目的、サイト運営に携わっている人はその作業の質を上げるためにさらに性能を求めている人もいた。デスクトップパソコンはライトユーザーからヘビーユーザーまで、幅広く需要があるので、性能面のみならず、使用用途によっては使いやすさを重視していくと考えた。

スマートフォン等モバイル機器は、“重さ”と“画面の大きさ”の二つに意見が割れた。性能の向上や、電池容量を増やした事によって重さは増え続けている。意見の中でカメラの性能が過剰なものがついていないかというものもあり、スマートフォン1つで完結させようとした結果、不便になってしまうケースも考えられる。画面の大きさについては、目の負担を考慮する場合と動画をできるだけ大画面で楽しみたいという2種類の意見があった。

## 5.4 考察

調査の結果、すべての機器に共通して価格を最重要視する傾向が確認された。また、ノートパソコンでは電池容量、デスクトップパソコンでは性能、スマートフォンでは重量と画面サイズが重視されていた。これらの結果から、製品カテゴリごとに異なる成長戦略が求められることが示唆される。

## 6 ムーアの法則のまとめ

本研究の分析結果から、ムーアの法則はその原義である「トランジスタ数の指数的増加」という意味では成立が困難になりつつあることが明らかとなった。一方で、性能指標という観点では、設計技術やアーキテクチャの工夫によって、依然として高い成長率が維持されている。

しかし、先端プロセスの開発には莫大なコストが必要であり、その負担は最終製品価格に反映される。実際に高性能 GPU やハイエンド PC は 20 万円を超える価格帯に達しており、一般消費者にとっては頻繁に買い替える対象ではなくなっている。このことは、ムーアの法則が経済的合理性の面からも限界を迎えつつあることを示唆している。

今後のパソコン業界においては、性能向上を唯一の成長軸とするのではなく、用途特化、消費電力の低減、携帯性の向上、長期保証といった付加価値による差別化が重要となる。ムーアの法則が示してきた「速さの進歩」から、「価値の進化」への転換こそが、今後の業界成長の鍵になると考えられる。

## 7 今後の PC 業界の市場調査

### 7.1 調査内容

本調査では、現在の PC 量販店において、どのような点に重点が置かれているのかを明らかにすることを目的とした。

第 5 章のアンケート結果から、高品質でありながら価格が安定していること、製品のサイズや画質、保証内容の手厚さ、さらにデザイナーとのコラボレーションモデルといった付加価値が消費者から求められていることが分かった。そこで本章では、実際の PC 量販店やオンライン販売において、これらの要素を重視した製品がどの程度展開されているのかを調査・検証する。

調査方法としては、メーカーサイトや口コミ等のネット情報と、各 PC メーカーの店舗担当営業に質問する形で調査する。

### 7.2 調査結果

調査の結果、多くの PC 量販店では、価格帯ごとに製品を明確に分類し、性能だけでなく保証内容や付加価値を訴求する販売戦略がとられていることが確認された。特にノートパソコンでは、VAIO で長期保証や延長保証をセットにした販売が目立ち、性能よりも「安心して長く使えること」を重視する傾向が見られた。また、NEC で限定カラーやデザイン性を重視したモデル、クリエイターやブランドと協業したコラボレーション PC も一部で展開されており、差別化を図る取り組みが進められている。

一方で、これらの付加価値が付与された製品は、一般的なモデルと比較して価格が高く設定される場合が多く、消費者の価格志向とのバランスが今後の課題であるといえる。

また、価格を落とすためにあえて過去の型落ち品を流用し新品のように販売する手法をとるメーカーもあるため、注意喚起も必要になる。

### 7.3 追加調査

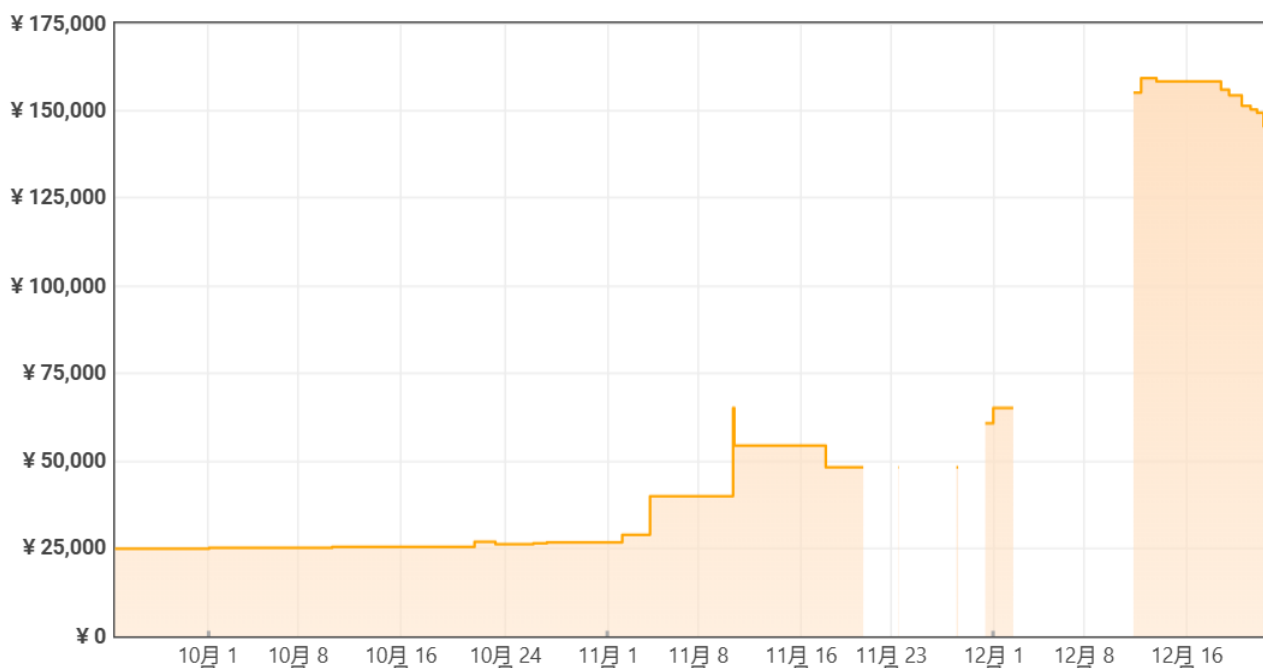
近年、半導体不足や原材料費の上昇により、PC パーツの価格が急激に高騰している。それに伴い、急遽生産終了を余儀なくされてしまったメーカーもあることがわかったので、本研究では、特にメモリなどの主要パーツに着目し、価格推移と PC 本体価格への影響について追加調査を行った。

### 7.4 調査結果

表 3、4 に示す通り、DDR5 メモリの価格は、過去と比較して最大で約 7 倍にまで上昇していることが分かる。この価格高騰の背景には、AI 分野の需要拡大により、データセンターや AI 関連企業が半導体部品を大量に確保していることが挙げられる。その結果、一般消費者向け市場に供給されるパーツが不足し、価格上昇を招いている。

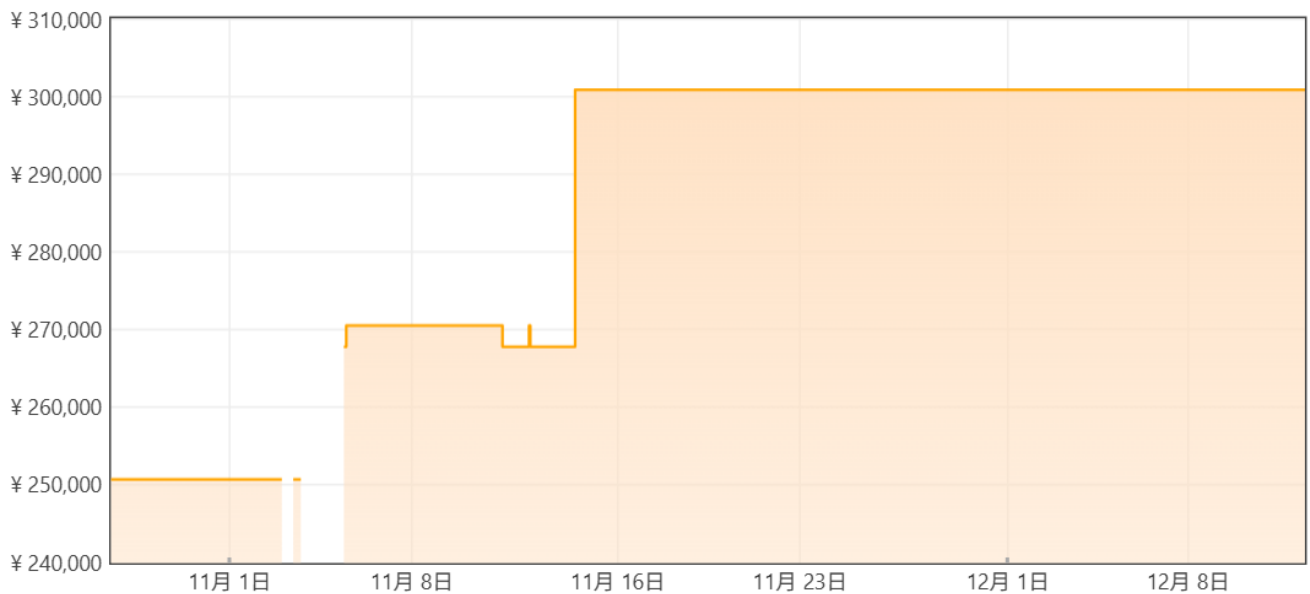
このような状況は、PC 本体価格の上昇や製品ラインナップの縮小につながり、消費者の購買意欲に影響を及ぼす可能性が高い。今後の PC 業界では、安定した供給体制の確保や、特定用途向け製品と一般消費者向け製品を明確に分けた戦略が求められるだろう。

表 6 CORSAIR DDR5-4800MHz ノート PC 用 メモリ VENGEANCE DDR5 64GB [32GB×2 枚] SO-DIMM CMSX64GX5M2A4800C40 (PC5-38400) ブラック



11月までは販売価格の変化はあまりなかったものの、ニュースにもなった突然の買占めと市場からパーツが消えてしまった1か月間を期に価格の高騰がわかる。

表7 ASUS NVIDIA GeForce RTX 5080 ビデオカード 16GB GDDR7 PCI Express 5.0 / ROG-ASTRAL-RTX5080-016G-GAMING 国内正規代理店品



メモリーほど価格の高騰幅はないものの、GPU も同様に 11 月のパーツが市場から消えたタイミングで価格が高騰し、未だ下がることがないことがわかる。

## 8 終章

本研究では、ムーアの法則の成立状況およびその限界を検証したうえで、技術的・経済的観点から今後のパソコン業界の動向について考察を行った。さらに第7章では、PC 量販店における市場調査およびパーツ価格の推移を通じて、実際の市場環境と消費者を取り巻く現状を分析した。

その結果、性能向上が続いている一方で、半導体や PC パーツの価格高騰が製品供給や販売戦略に大きな影響を与えていることが明らかとなった。特に AI 分野の需要拡大による部材の供給不足は、一般消費者向け PC の価格上昇や生産終了といった形で顕在化しており、ムーアの法則が経済的合理性の面でも制約を受けつつあることを示している。

今後のパソコン業界においては、単なる性能向上ではなく、価格、使いやすさ、用途特化といった観点を重視した開発が重要となる。企業は顧客ニーズに即した価値提供を行うことで、ムーアの法則以後の成長モデルを構築していく必要がある。

しかし、現状は他メーカーとの差別化や消費者に向けた開発ではなく、高騰化してしまった価格を解決しなければパソコンが一般家庭からなくなることも考えられ、対策が必要になる。

以上の分析から、今後の PC 業界においては、単純な性能競争から脱却し、価格の安定性、保証の充実、デザイン性や用途特化といった付加価値を重視した製品展開がより重要になると考えられる。ムーアの法則が示してきた成長モデルに依存するのではなく、市場環境と顧客ニーズを的確に捉えた柔軟な戦略こそが、今後のパソコン業界の持続的な発展につながると結論付けられる。

## 9 今後の課題

本研究では、ムーアの法則の成立および限界について、既存のベンチマークデータやアンケート調査、市場調査を基に検証を行った。しかし、いくつかの課題および研究上の限界が存在する。

まず、ムーアの法則の検証において、トランジスタ数の詳細な公式データをすべての世代で完全に取得できたわけではなく、一部においてベンチマークスコアを代替指標として用いた点が挙げられる。ベンチマークスコアは実用性能を反映する一方で、ムーアの法則本来の定義である「集積度の増加」を厳密に測定する指標とは異なるため、解釈には一定の注意が必要である。

また、アンケート調査および市場調査の対象が主に大学生や一般消費者向け PC 量販店に限定されており、法人向け市場やデータセンター、AI 用途といった専門分野の動向を十分に反映できていない点も課題である。特に近年では、一般消費者向け市場と業務・産業用途市場の分離が進んでおり、両者を分けて分析する必要性が高まっている。

今後の研究課題としては、より長期間かつ多世代にわたる半導体データを用いた定量分析を行い、ムーアの法則の変質過程を詳細に追跡することが挙げられる。また、CPU や GPU に加えて、AI アクセラレータや専用プロセッサといった新たな半導体製品を対象に含めることで、ムーアの法則以後の成長モデルをより多角的に検証することも可能である。

さらに、経営学的観点からは、半導体価格の変動が企業戦略や製品ポートフォリオに与える影響を、企業事例分析などを通じて検討することで、技術進歩と市場構造の関係性をより深く明らかにできると考えられる。

## 参考文献

- [1] Compare GeForce Graphics Cards (参照 : 2023 年 11 月 15 日)  
<https://www.nvidia.com/en-us/geforce/graphics-NVIDIA-DLSScards/compare/?section=compare-20>
- [2] force 比較表 | RTX から GTX まで GeForce を比較 (参照 : 2023 年 11 月 15 日)  
<https://pcrecommend.com/gpu/geforce/>
- [3] GeForce RTX スペック & 性能ベンチマークを検証 (参照 : 2023 年 11 月 15 日)  
[https://gamingpcs.jp/hikaku/hikaku\\_gpu](https://gamingpcs.jp/hikaku/hikaku_gpu)
- [4] 台湾 TSMC、22 年の設備投資 5 兆円 2 ナノ品新工場建設, 日本経済新聞, 2022/1/23, (参照 : 2023 年 11 月 15 日)  
<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOGM136Q70T10C22A1000000/>
- [5] CORSAIR DDR5-4800MHz ノート PC 用 メモリ VENGEANCE DDR5 64GB [32GB×2 枚] SO-DIMM CMSX64GX5M2A4800C40 (PC5-38400) ブラック  
<https://amzn.asia/d/hkvtLur>
- [6] ASUS NVIDIA GeForce RTX 5080 ビデオカード 16GB GDDR7 PCI Express 5.0 / ROG-ASTRAL-RTX5080-016G-GAMING 国内正規代理店品  
<https://amzn.asia/d/8YB9zXt>
- [7] [リーク電流 \(漏洩電流\) | 電源の用語集 | 松定プレジジョン](#)
- [8] [DNA 変異が量子世界のトンネル効果で起きていると判明! - ナゾロジー](#)
- [9] Analyzing the Decline in Windows PC Performance in 2025: Insights into System Optimization

Challenges

[Analyzing the Decline in Windows PC Performance in 2025: Insights into System Optimization Challenges - Chip - C114Pro](#)