

科学研究の進む方向

持続性時代の科学研究

吉川弘之

日本学術振興会・科学技術振興機構

次世代スーパーコンピューティングシンポジウム
ニチイ学館・神戸ポートアイランド 2011年1月17日

科学研究の潮流

1. 開発性科学から持続性科学へ

20世紀で開発の時代は終わり、持続性の時代に入った。
その時科学研究の流れは変わる

2. 科学の情報化

計算機の発達は計算能力を量的に上げただけでなく、
質的な変化を科学研究にもたらした。

1. 開発性科学から持続性科学へ

21世紀における時代の精神(社会的期待)の変化

	15c (~20c)	21c
時代の呼称	大航海時代(探検と開発)	環境時代(持続と修復)
時代の精神	未知の探求	既知の保存
研究対象	不変な存在(天体、物質)	長期的な変化過程(気候、生物多様性)
視点	より遠く、より微視的に	変化の規則
手段	望遠鏡、顕微鏡 (空間的局所観測)	総合観測 (空間大局・時系列観測)
知識体系	領域化された知 (世界を理解する科学)	総合的知識 (総合的理解のための知識、 知識を使用する知識)
行動	自然の局所的人工化(=開発)	自然と人工の総合的構成(=持続)

現代科学と持続性科学

相補的な知識

	現代科学 / 持続性科学		相違点
目的	すべてを理解し個々を制御する	すべてを理解し関係を制御する	個別/全体
知るべきもの	宇宙の各現象を生じさせる各普遍的法則	地球の長期的な変動の全体	普遍性/唯一性
研究対象	宇宙に存在するもの全て	地球上の個々のもの	抽象/具体
観察対象	不変な存在物*	ゆっくりとした変化	存在/変化
検証	実験室での実験	現実世界の進化	確実/不確実
研究成果	理解のための知識	行動のための知識	分析/構成
期待される効果	人類の繁栄	地球の持続性	繁栄/持続

*変化は存在の性質に基づいて推測できる

不変存在の解明 → 変化過程の解明

科学者が存在物の不変性に興味を持ったとき(デモクリトス:アトム)、彼らは物質の局所的性質を調べ、不変性を理解するのに有効な学問領域を創出した:

- (1) 存在あるいは現象の背後にある法則に関する理論として
物性論、素粒子物理学、分子生物学、等
- (2) 微視的変化の法則に関する理論として、
拡散理論、化学反応論、発生学、等

これらの学問はそれぞれ自立した領域をつくり、各学問領域の完成度は高い。

科学者が存在物の変化に興味を持ったとき(ヘラクレイトス:パンタレイ)、彼らは物質の全体を対象として変化を調べ、変化を理解するのに有効な学問領域を創出した:

- (1) 巨視的変化についての法則に基づく理論として
地質学、考古学、古生物学、等
- (2) 変化原因の法則の理論として
進化論、地層生成論、気候変動論

これらの学問は、自立した領域を作ることができず、領域としての完成度は低い。

持続性科学では、両者が対等の完成度を持つことが必要である。

研究対象と観測法

不変存在における法則を探求するための観察手段

1. できるだけ小さな領域を観察するための顕微鏡(2次元)
2. できるだけ遠くの状況を観測するための望遠鏡(3次元)

巨視的変化の法則を探求するための観察手段

1. 多数の領域を観測する顕微鏡
2. 広域を観測するための望遠鏡
3. 変化を観察し、未来を推測するモデルとシミュレーション*

*スーパーコンピューターは第三の観測手段(4次元レンズ)である

観測法の進歩

より詳細に観る

2次元



Robert Hooke (1665)



電子顕微鏡
E.Ruska(1933)

観測法の展開

加速器
放射光
中性子線
核磁気共鳴

観測

3次元



反射望遠鏡
James Gregory
1663
国友藤兵衛
(1778-1840)

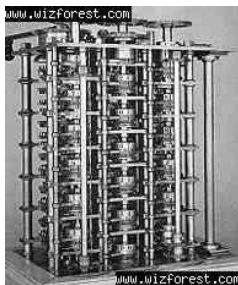


すばる反射望遠鏡 1999

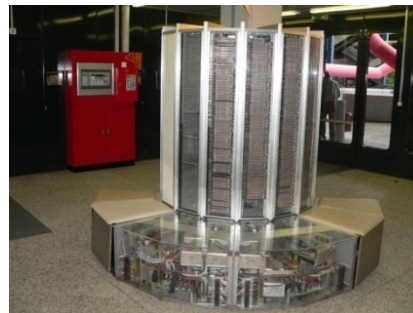
X線
粒子線
重力波
ニュートリノ

観測

4次元
(予測)



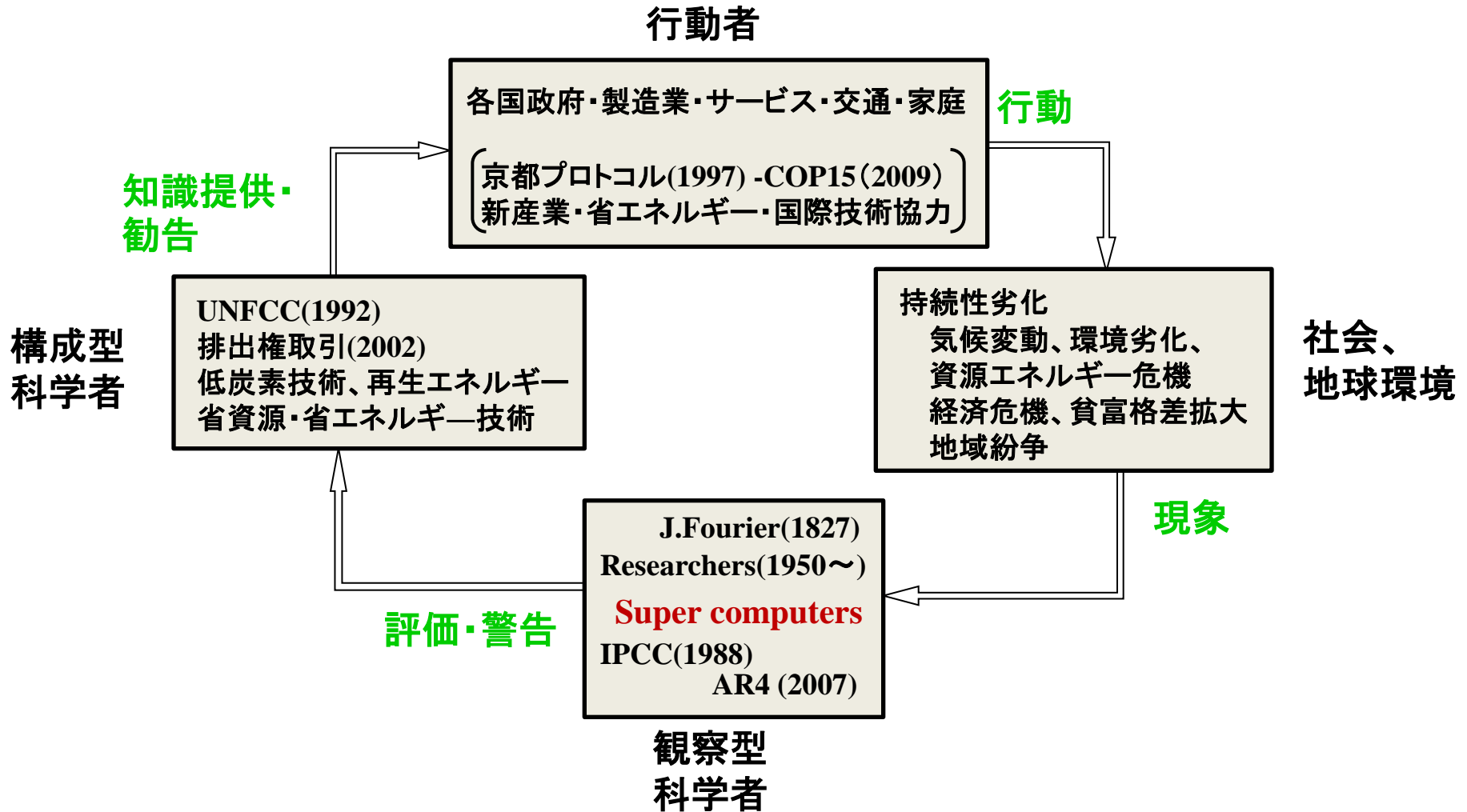
Babbage
1791-1871



スーパー
コンピューター
Cray-1(1976)
250MFLOPS

TERA → PETA → EXA flops?

地球温暖化問題における予測



気候変動問題の国際合意に、スーパーコンピューターによる予測が大きく貢献している

W. GLÄNZEL, A. SCHUBERT:

A new classification scheme of science fields,
Scientometrics 56 (2003) 359

Table 1. Fields and subfields of sciences,
social sciences and arts & humanities

2. 科学の 情報化

1. AGRICULTURE & ENVIRONMENT

- A1 Agricultural Science & Technology
- A2 Plant & Soil Science & Technology
- A3 Environmental Science & Technology
- A4 Food & Animal Science & Technology

2. BIOLOGY

(ORGANISMIC & SUPRAORGANISMIC LEVEL)

- Z1 Animal Sciences
- Z2 Aquatic Sciences
- Z3 Microbiology
- Z4 Plant Sciences
- Z5 Pure & Applied Ecology
- Z6 Veterinary Sciences

3. BIOSCIENCES

(GENERAL, CELLULAR & SUBCELLULAR
BIOLOGY; GENETICS)

- B0 Multidisciplinary Biology
- B1 Biochemistry/Biophysics/Molecular Biology
- B2 Cell Biology
- B3 Genetics & Developmental Biology

4. BIOMEDICAL RESEARCH

- R1 Anatomy & Pathology
- R2 Biomaterials & Bioengineering
- R3 Experimental/Laboratory Medicine
- R4 Pharmacology & Toxicology
- R5 Physiology

5. CLINICAL AND EXPERIMENTAL MEDICINE

I (GENERAL & INTERNAL MEDICINE)

- I1 Cardiovascular & Respiratory Medicine
- I2 Endocrinology & Metabolism
- I3 General & Internal Medicine
- I4 Hematology & Oncology
- I5 Immunology

6. CLINICAL AND EXPERIMENTAL MEDICINE

II (NON-INTERNAL MEDICINE SPECIALTIES)

- M1 Age & Gender Related Medicine
- M2 Dentistry
- M3 Dermatology/Urogenital System
- M4 Ophthalmology/Otolaryngology
- M5 Paramedicine
- M6 Psychiatry & Neurology
- M7 Radiology & Nuclear Medicine
- M8 Rheumatology/Orthopedics
- M9 Surgery

7. NEUROSCIENCE & BEHAVIOR

- N1 Neurosciences & Psychopharmacology
- N2 Psychology and behavioral science

8. CHEMISTRY

- C0 Multidisciplinary Chemistry
- C1 Analytical, Inorganic & Nuclear Chemistry
- C2 Applied Chemistry & Chemical Engineering
- C3 Organic & Medicinal Chemistry
- C4 Physical Chemistry
- C5 Polymer Science
- C6 Materials Science

9. PHYSICS

- P0 Multidisciplinary Physics
- P1 Applied Physics
- P2 Atomic, Molecular & Chemical Physics
- P3 Classical Physics
- P4 Mathematical & Theoretical Physics
- P5 Particle & Nuclear Physics
- P6 Physics of Solids, Fluids And Plasmas

10. GEOSCIENCES & SPACE SCIENCES

- G1 Astronomy & Astrophysics
- G2 Geosciences & Technology
- G3 Hydrology/Oceanography
- G4 Meteorology/Atmospheric
& Aerospace Science & Technology
- G5 Mineralogy & Petrology

11. ENGINEERING

- E1 Computer Science/Information Technology
- E2 Electrical & Electronic Engineering
- E3 Energy & Fuels
- E4 General & Traditional Engineering

12. MATHEMATICS

- H1 Applied Mathematics
- H2 Pure Mathematics

13. SOCIAL SCIENCES I (GENERAL, REGIONAL & COMMUNITY ISSUES)

- S1 Education & Information
- S2 General, Regional & Community Issues

14. SOCIAL SCIENCES II (ECONOMICAL & POLITICAL ISSUES)

- O1 Economics, Business & Management
- O2 History, Politics & Law

15. ARTS & HUMANITIES

- U1 Arts & Literature
- U2 Language & Culture
- U3 Philosophy & Religion

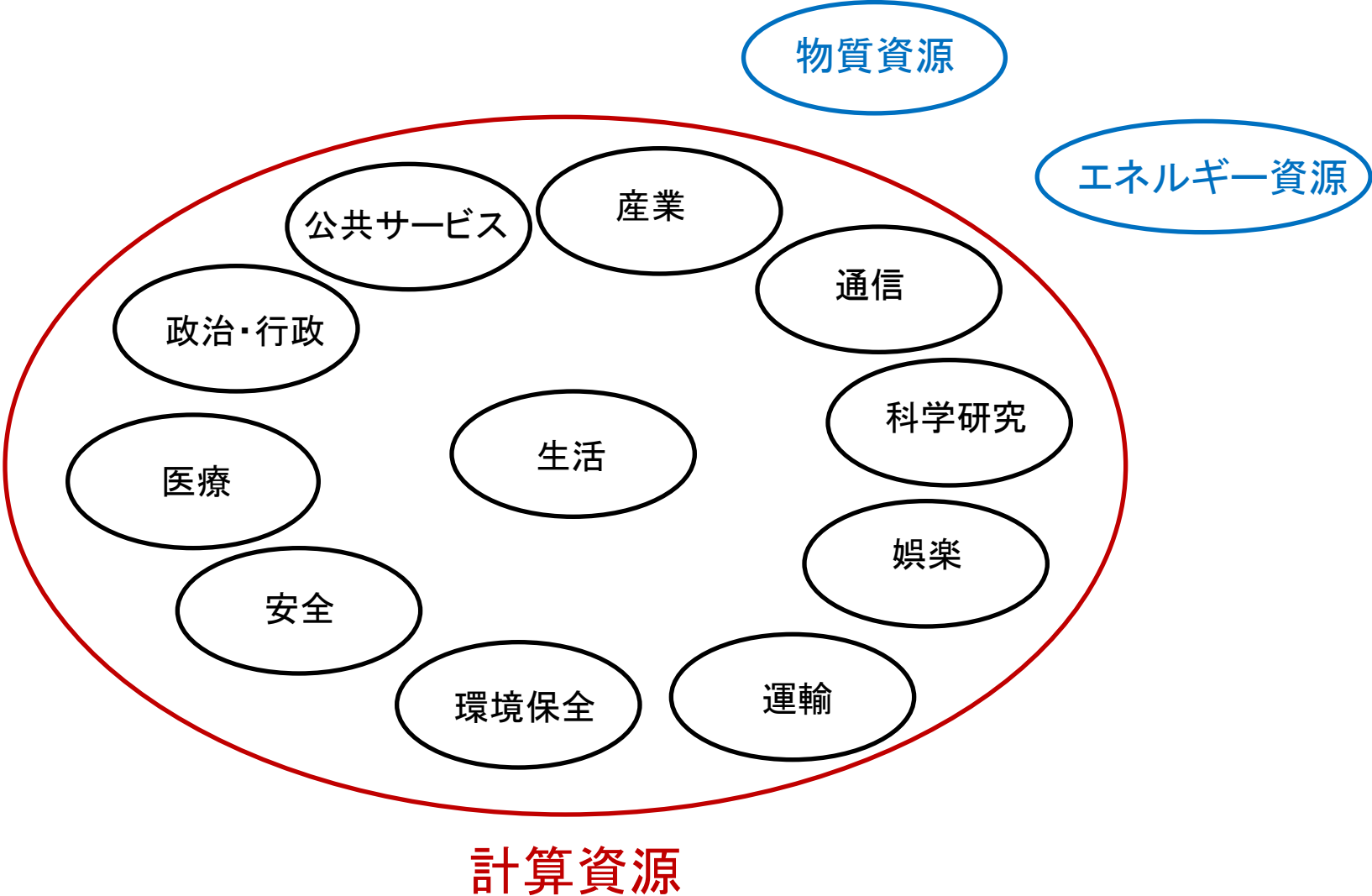
North American Industry Classification System

産業の情報化

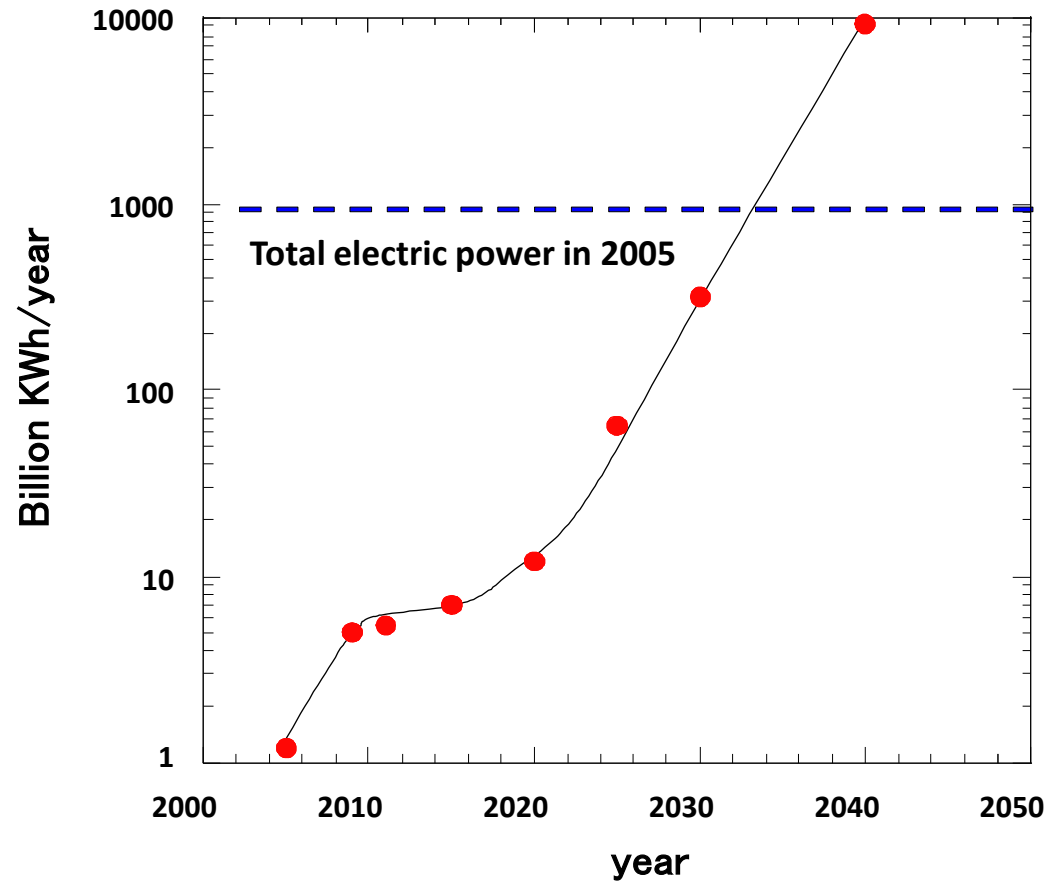
大分類

11	Agriculture, Forestry, Fishing and Hunting	農林水産業
21	Mining	鉱業
22	Utilities	電気・水道・ガス
23	Construction	建設業
31-33	Manufacturing	製造業
42	Wholesale Trade	卸売業
44-45	Retail Trade	小売業
48-49	Transportation and Warehousing	運輸・倉庫業
51	Information	情報
52	Finance and Insurance	金融・保険業
53	Real Estate and Rental and Leasing	不動産・レンタル・リース業
54	Professional, Scientific, and Technical Services	専門・科学・技術サービス業
55	Management of Companies and Enterprises	持株会社
56	Administrative and Support and Waste Management and Remediation Services	ビジネスサービス業
61	Education Service	教育産業
62	Health Care and Social Assistance	医療・社会サービス業
71	Arts, Entertainment, and Recreation	芸術・娯楽業
72	Accommodation and Food Services	ホテル・飲食業
81	Other Services (except Public Administration)	他のサービス業(公的部門を除く)
91	Public Administration	公的部門 Link to NAICS Page by Census Bureau, Department of Commerce

計算資源に支えられる情報化時代



通信の電気エネルギー消費量(世界)



ハイテク製造業

Necessary knowledge for innovative industry in 21 century

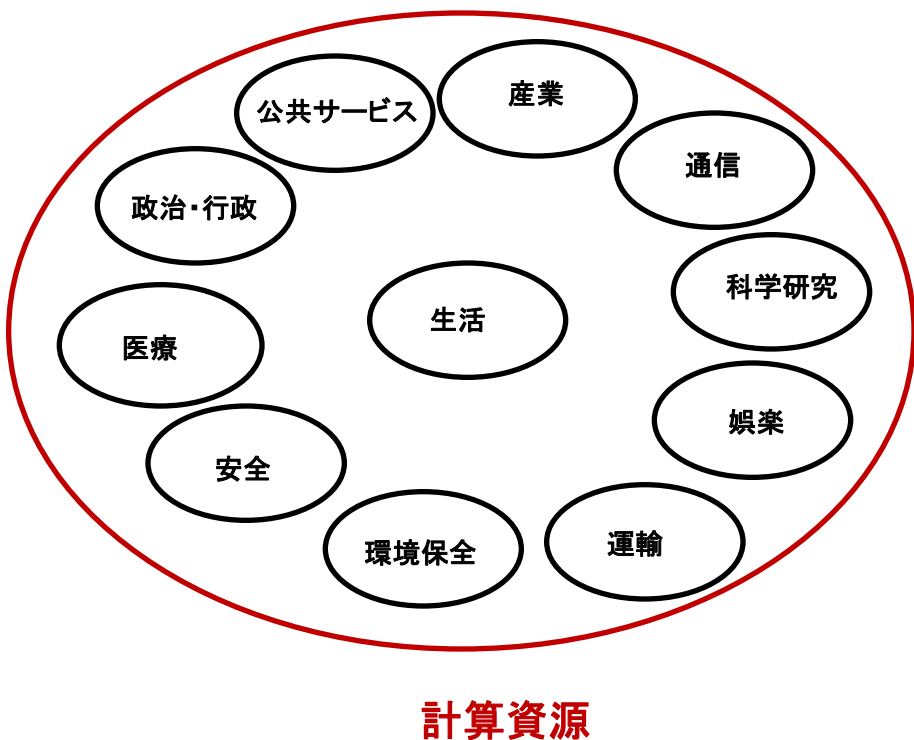


ハイテクサービス産業

情報技術によるサービスの増幅

増幅媒体	増幅媒体の分類	実際の例
道具 tool	工具、機器、機械、データベース、ソフトウェア等	テレビ、マッサージ機器、自動車、ワープロ、検索システム (すべての機器はサービス増幅器である)
状況 circum- stance	構造物、空間配置、ネットワーク等	劇場、ホテル、遊技場、情報ネットワーク、道路網
社会的 仕組み system	制度、規則、組織、慣習、等	政府、区役所、交番、銀行、店舗、通信システム、交通システム、病院、学校、企業 (政治、行政・金融・流通・通信・運輸・医療・教育サービス)
複合増幅 要素	(上記の1, 2, 3)の 合成による増幅	

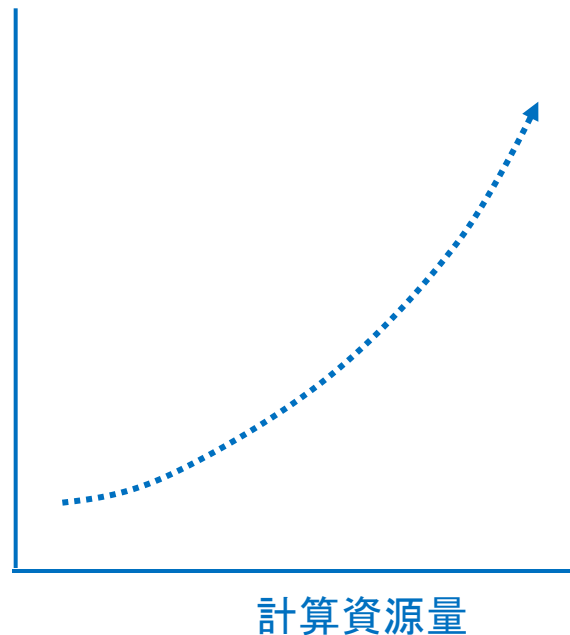
計算資源に支えられる情報化時代



情報化社会の仮説 ?

- 1) 人間の社会的行動はすべてサービスである
- 2) サービスは情報技術によって増幅される

サービスの増幅率(幸福度)



スーパーコンピュータの牽引による計算機利用の展開 (計算科学の教育強化と計算機産業の構造化)

