The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	最近の円周率計算
Author(s)	金田, 康正
Citation	大阪大学大型計算機センターニュース. 1987, 65, p. 73-83
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/65737
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

資　料

最近の円周率計算

東京大学大型計算機センター　　金田康正

はじめに

この１年の間に，人類が知り得た円周率の値は2936万桁から，一挙に1億3355万4千桁になっています。これは以前東大大型計算機ｾﾝﾀｰが保持していた1001万3395桁から1億の大台にのるまでについての報告です。第1章で東大ｾﾝﾀｰが保持していた記録が米国によって破られ再びｾﾝﾀｰに戻るまでの経過を簡単に，第2章でCRAY-2を用いた2936万桁計算のあらまし，第3章でHITAC S-810/20による3355万4千桁計算の概要，第4章で日本電気SX-2を用いて樹立した1億3355万4千桁の記録について，それぞれ述べています。

１．1983年11月1日から1986年9月2日までに何が起こったか？

1983年11月1日において，円周率は検証ずみの値として10,013,395桁まで求まっていました。この1000万桁の大台にのった結果は，当然ながら当時の世界記録でした。この種の記録は，「大飯ぐらい」，「早飯ぐらい」といった類の記録とは異なり，いずれは破られる運命にありますが，それは意外にもはやく訪れたのです。―1985年11月にその第一報〔1〕，1986年1月に別人による第二報〔2〕によって，完全に記録は破られた事が分かったのです。

第一報によって分かった事は，LISPの仕事で名を知られたMr. R. Wm. Gosper, Jr.がSymbolics 3670を用いて17,526,100桁を計算したこと（計算方法，計算時間等不明。）また第二報によって分かった事は，CRAY-2ｽｰﾊﾟｰｺﾝﾋﾟｭｰﾀｰを用いて2936万桁が28時間（検証には40時間，主記憶を両計算とも1Gb以上使用）で計算された事です。

Symbolics 3670 ﾘｽﾌﾟﾏｼﾝを用いて得られた1752万桁については，ｱﾙｺﾞﾘｽﾞﾑが不明な為にはっきりした事が分かりません。しかし，我々が1600万桁を計算した方法と同じ方法を使ったとしても約1か月，古典的なArctangentの公式を使っていたとすると3~6か月は実時間でかかったはずですから，「良くやった」と謙虚に喜べたものです。しかし，2か月もたたずにとどいた第二報によると，CRAY-2を用いて2936万桁（29,360,128桁まで主計算，検証計算を行い，それぞれの計算結果を比較することで計算成功を確認したとの事です：主計算，検証計算のｱﾙｺﾞﾘｽﾞﾑについては後述）を計算した，と追い討ちをかけられてしまいました。この記録は言わば出るべくして出たものです。これをきっかけに今迄の1000万

＊これは1987年1月箱根で開催された，情報処理学会第28回ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾐﾝｸﾞｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑで発表した「円周率－高速計算法と統計性－(2)」（金田康正，田村良明）をもとに，加筆訂正，削除を行ったものです。

桁の記録を更新しよう，という気が起きた事の理解はたやすい事でしょう。（何か目標がないと，なかなかやる気は起こらないものです。）

ところで，HITAC M-280Hで10日もの経過時間がかっかた1600万桁を計算するﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑが，HITAC S-810/20を用いると1時間36分と大幅に経過時間が短縮できることが判明し，CRAY-2の記録を破れる見込みが出てきたのは1986年3月末でした。（I/O時間を大幅に短縮できるES(Extended Storage:拡張記憶装置)と呼ばれる装置の装備とS-810/20向けのFFTﾙｰﾁﾝがﾒｰｶｰから提供された事が，経過時間の短縮に大きく関係しています。）しかし，1600万桁の2倍である3300万桁を計算するためには問題が二つありました。

◎主計算と検証用のﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑは，我々の場合，同一の計算ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑを用い，計算桁を2倍して計算した結果を検証用に使用しています。従って検証ずみで3300万桁の計算をするには6600万桁まで計算を行う必要があるという事になります。ーしかしそのおかげで，6600万桁の結果に「つば」をつけておくことができます?!。ー

◎3300（6600）万桁の計算を行う為にESを384Mb(768Mb)程度，計算時間を8(24)時間程度必要とするために，東京大学大型計算機ｾﾝﾀｰで実行するﾁｬﾝｽは年に2~3回しかない事。（6600万桁計算はｾﾝﾀｰのESの容量の関係で全く不可能です。）

といった事柄がその問題です。

しかし，CRAY-2での主計算で使用した方法にならい，新しく我々の検証用のﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑを作ることができました。このﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑを1986年9月2日に日立神奈川工場で流すことで，33,554,000桁までの円周率の値が求まりました。（計算機の入れ替えの為にｻｰﾋﾞｽを中止していた1986年7月3日に東大ｾﾝﾀｰで主計算を行ってあり，その時の結果と検証計算結果と比較して最後の18桁を除き全てあっていました。それで，記憶の容易さ，もしもの場合を考慮して記録を33,554,000桁としています。実際には33,554,432桁まで計算してあるので400桁余りが保険となっていた訳です。）この結果はそれまでに知られていた2936万桁の結果とも合っている事はもちろんのです。また同年10月10日にそれまでの倍の67,108,864桁までの値が日立神奈川工場でもとまり，検証はされてはいませんが，記録は更新されています。

2．　CRAY-2を用いた2936万桁計算の方法

Dr. David H. Baileyによって書かれた文献〔2〕を読むと，CRAY-2を用いて2936万桁を計算した方法が分かります。ここではその資料に従って彼が採用した方法を簡単に示します。

2．1　主計算・検証計算に用いられた方法

1985年ｶﾅﾀﾞDalhousie大学のJ. M. BorweinとP. B. Borweinによって発見された次に示す4次の収束を示す級数が主計算に用いられています。

$a_0=6-4\sqrt{2}$ 及び $y_0=\sqrt{2}-1$ として

$$y_{h+1}=\frac{1-(1-y_h^4)^{\frac{1}{4}}}{1+(1-y_h^4)^{\frac{1}{4}}}$$

$$a_{h+1}=a_h(1+y_{h+1})^4-2^{2h+3}y_{h+1}(1+y_{h+1}+y_{h+1}^2)$$

の級数を求める精度まで繰り返し計算すると

a_h は $\frac{1}{\pi}$ に近ずいていく

検証の為の計算は，これまた前述の二人が1984年に発見した2次より少し良い収束を示す次の公式（文献〔3〕）が用いられています。

$a_0=\sqrt{2}$，$b_0=0$ 及び $p_0=2+\sqrt{2}$ として

$$a_{h+1}=\frac{(\sqrt{a_h}+\frac{1}{\sqrt{a_h}})}{2}$$

$$b_{h+1}=\frac{\sqrt{a_h}(1+b_h)}{a_h+b_h}$$

$$p_{h+1}=\frac{p_h b_{h+1}(1+a_{h+1})}{1+b_{h+1}}$$

の級数を求める精度まで繰り返し計算すると

p_h は π に近ずいていく

計算時間，使用記憶容量の面から彼の計算をまとめると，使用計算機はCRAY-2，主計算の計算時間は12回の繰り返して28時間，138M語（=138*8=1104Mb）の主記憶を使用，検証計算は24回の繰り返しで40時間，147M語（=147*8=1176Mb）の主記憶を使用したということです。

主計算を実施した日付は1986年1月7日から1月9日にかけてです。主計算の結果と検証計算の結果は最後の17桁を除いて全てあっており，安全性を考慮しDr. Baileyは2936万桁まで計算したと主張しています。尚，使用された計算機は米国NASA AMES研究所にある2Gbの主記憶をもつCRAY-2です。FORTRAN，UNIXをﾍﾞｰｽにしたOSそしてﾊｰﾄﾞｳｪｱの試験をかねて円周率計算が計画され，その副産物として世界記録が出たとの事です。（CRAY-2は4台のCPUから成る計算機ですが，円周率の計算にはその中の1台のCPUだけを使用しています。またﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑはFORTRANで書かれ，ｱｾﾝﾌﾞﾗは使用していないとの事です。現在彼は計算時間の短縮をめざしてﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑの改良を行っていると聞いています〔4〕。）

2．2　多倍長計算

以前の我々の方法もそうでしたが，Dr．Baileyの方法においても，前述のa_k，v_k あるいはa_k，b_k，p_k は，正確に計算をしようとする桁数＋α の精度でもって繰り返し計算を行わなければなりません。従って，いかに速い多倍長演算ﾙｰﾁﾝがﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑできるかに計算時間の大部分がかかることになる訳です。

CRAY-2の浮動小数点表示における仮数部は48ﾋﾞｯﾄであるために，我々が開発した実数FFT演算にもとづくﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑは，誤差の面からそのままでは百万桁同士の掛け算を主記憶だけを用いて行う事はできません。（HITAC S-810，FACOM VP-，NEC SX-の各ｽｰﾊﾟｰｺﾝﾋﾟｭｰﾀｰの浮動小数点表示の仮数部は56ﾋﾞｯﾄですから，我々のﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑはそのまま使えます。）それに代わる方法として，彼はmodularなFFT法を採用したのです。（p を$p=k2^m+1$ の形をした素数とした時に，そのp でのmodularな計算をFFT，たたき込み演算，逆FFTに対して行います。この計算を幾つかのp について実行し，最後にChinese Remainder Theoremを用いて正確な結果を得る方法な訳です。この方法の利点は，すべての計算がmodularに行われるので，計算に誤差が入り込まない点にあります。しかし幾つかのp について同じ演算を行わなければならぬ事，Chinese Remainder Theoremという余分な計算が入り込む事，等の欠点があります。）彼が採用した方法は主記憶容量の制限から素数を2つ使う方法です。一素数を3つ用いた場合，2Gbの主記憶での実行は困難だったようです！一尚，modularなFFT法について詳しい事は文献〔5〕などを参考にしてください。

3．　S-810/20による3355万4千桁の計算方法，CRAY-2との比較

今回3300万桁計算に使用したﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑは，基本的にはこれまで使用してきた方法と全く同じです。（ｽｰﾊﾟｰｺﾝﾋﾟｭｰﾀｰ向けの改良，記憶容量が少なくても良いようにする工夫，等が行われていますが，それは大勢には影響ありません。）しかし計算結果の検証用に，新しく2.1節で示した4次の収束を示す級数方法を採用したﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑを作り，それを用いて検証を行った事は新しい試みです。

計算時間について，CRAY-2の記録を含めた最近の計算機による円周率計算の記録を表1に示しておきます。（ただし1億桁の最新記録はそれには含まれていません。）ここで注意しておきたい事は，新しい4次の収束を示す公式と言っても，2次の収束を示す1976年に発表されたものよりも実際の計算では遅いということです。これは当然の事です。なぜならば，表2に示す多倍長演算回数の比較から明らかなように，全体の計算時間に強く関係する多倍長逆数の計算回数が多い為です。又，表2から，1976年に発見された，我々のﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑが採用したGauss-Legendreの関係式にもとづく方法は計算桁数が多い場合，一番効率的である事も分かります。

4. NEC SX-2による1億3355万4千桁の計算

ｽｰﾊﾟｰｺﾝﾋﾟｭｰﾀｰによってCRAY-2の記録が破れる見込みが出てから，実際に記録が破れるまでに約半年かかっています。一応6700万桁まで計算してあるにしろ，CRAY-2を用いればそれまでの記録の倍，6000万桁程度までは計算ができそうでした。この際，記録を破られないようにする為にここで最大限の努力をしておこうと思い，日本電気にその旨の話をしてみたところ協力が得られることになったのです。

1億桁の大台に乗せるためのネックは拡張メモリーのサイズです。日本電気府中工場で2Gbの拡張メモリーのついたSX-2が用意できたのは協力依頼を行ってから約半年たった12月にはいってからです。まず12月中に1億桁の計算を検証するための計算を48時間2分かけて行い，年が明けた87年1月11日から13日にかけ，本計算を行ったわけです。（CPU時間は35時間15分でした。）両方の計算結果は最後の28桁を除き全てあっていました。（結局1億3421万7700桁まで合っていたことになります。）ところで記録のほうは東大ｾﾝﾀｰの記録にちょうど1億桁プラスした値としています。あと70万桁ほど残っていますが，これも保険です。表3に1億桁前後5千桁の円周率の値を示しておきます。

今迄の記録樹立の時と同様，五つの検定（Frequency test，Serial test，Pocker hand test，Gap test，Five-digit sum test）を行っていました。さらに連続する同じ数の出現頻度，昇べき順，降べき順，314159..，1515213..そして271828..の数列がどこに出現するかを調べてみました。表4に示す検定はFrequency testの検定結果です。なおすべての結果は文献〔6〕に載せる予定です。

5. おわりに

計算機で円周率を10万桁から100万桁にするのに12年，100万桁から1000万桁にするのに10年，1000万桁から1億桁にするのに4年かかっています。ここ最近の1000万桁，1億桁の記録は，新しい級数の発見，新しい多倍長計算方式の発明，それとｽｰﾊﾟｰｺﾝﾋﾟｭｰﾀｰの出現の三つがあって初めて樹立できたものです。それでは1億桁から10億桁になるのにあと何年ほどかかるのでしょうか？現在利用できるｽｰﾊﾟｰｺﾝﾋﾟｭｰﾀｰを用いても10億桁まで計算することは記憶容量の大きさ，計算時間の両方の点から非現実的です。従って次の世代のｽｰﾊﾟｰｺﾝﾋﾟｭｰﾀｰの出現待ちという事になります。次の大台にのる記録をたてるｽｰﾊﾟｰｺﾝﾋﾟｭｰﾀｰはいつできるのか，5年後?それとも10年後?それとももっと先?―こればかりは「神のみぞ知る」といったところです。

最後に，3355万4千桁の検証を行うにあたって，日立神奈川工場のS-810/20を使わせていただいた事に感謝致します。また1億桁の記録更新に協力いただいた日本電気（株）にも感謝致します。

文献

〔1〕: Gosper, W., private communication.

〔2〕: Bailey, D. H., "The Computation of π to 29,360,000 Decimal Digits Using Borweins' Quartically Convergent Algorithm", submitted to Math. Comp., 1986.

〔3〕: Borwein, J. M., & Borwein, P. B., "The Arithmetic-Geometric Mean and Fast Computation of Elementary Functions", SIAM Review, 26(1984), pp. 351-366.

〔4〕: Mendez, R., private communication.

〔5〕: Hardy, G. H. & Wright, E. M., "An Introduction to the Theory of Numbers," 5th edition, Oxford University Press,London, 1984.

〔6〕: Y. Kanada, et. al. "Randomness of pi up to 100,000,000 Decimal digits," (Tentative) CCUT-TR-87-01, Computer Centre, Univ. of Tokyo.

記録保持者	使用計算機	実行年	（計算桁数）	正確な計算桁数	計算時間	（検証時間）
田村	MELCOM 900II	1982	(2097152)	2097144	7h 14m	(2h 21m)
田村及び金田	HITAC M-280H	1982	(4194304)	4194288	2h 21m	(6h 52m)
田村及び金田	HITAC M-280H	1982	(8388608)	8388576	6h 52m	(30h以上)
金田，吉野及び田村	HITAC M-280H	1983	(16777216)	16777206	30h以上	(6h 36m)
後及び金田	HITAC S-810/20	1983	(10013400)	10013395	24h以下	(30h以上)
Gosper	Symbolics 3670	1985	(17526200以上)	17526200	10週以上	---
Bailey	CRAY-2	1986	(29360128)	29360111	28h	(40h)
金田及び田村	HITAC S-810/20	1986	(33554432)	33554414	6h 36m	(8h 12m)

表１　最近の計算機による円周率計算の記録
（1976年以降に発見された公式を使用して計算を行ったもの。表2も合わせて参照）

方法	S-810/20の場合	CRAY-2の4次の場合	CRAY-2の2次の場合
平方の数	n	2＊n	n
積の数	3＊n＋2	6＊n	6＊n
逆数の数	1	n＋1	2＊n
加減の数	3＊n＋1	7＊n	5＊n

表２　高速円周率計算級数の演算回数（ここでnは繰り返し回数）
（CRAY-2の4次の場合，1/4乗根をﾆｭｰﾄﾝ法で1/2乗根の時と同様に求めることができる。その場合平方の数は2*nをnと読み替える。）

SXOS　VER. R 1.22　円周率の計算結果　DATE : 87-01-13 TIME : 12:07:19 PAGE : 00004

スーパーコンピュータ　SX-2　ギネス挑戦　（ 円周率　一億三千万桁　計算 ）

計算結果 桁数 : 99999900 桁目 から 100004899 桁目 まで

	*....+....1	....+....2	....+....3	....+....4	....+....5	....+....6	....+....7	....+....8	....+....9	....+....0
99999900	3994868255	6396753056	0335286966	7773461071	8447186852	9757220317	5207489816	1168313937	5149705811	2018775159
100000000	2215058809	5783279634	8730951352	8491103341	7975720125	8834062136	9054229583	8789460714	2485597221	0084815660
100000100	5866632207	8824576171	8568941818	6113666451	2469850286	6183082458	4857101130	7191963369	9816798176	6438993993
100000200	6150093891	2955890318	7514825515	5595577374	4691551613	6888264683	7101818713	7492708379	9031995826	3562052641
100000300	4905832413	1067048219	5140696186	2406492722	9052560026	8106245717	1282207964	1491593074	4398704150	3683409027
100000400	4778584957	5449980372	7683303187	2334678728	5441010093	5167932290	2577481646	7072442225	7316136806	8529681274
100000500	5543404455	3471870825	7279758698	8468320734	6942308696	3133950632	9641698800	0398781993	5574891033	8744057731
100000600	9098274204	9030712763	9534973431	8782348882	2202490382	3758765197	2485901740	7917053540	0833340956	4621759283
100000700	4784755036	1851114172	2573119120	5899411973	8585249946	7995525987	7423759024	2192833600	9186661111	3106600409
100000800	6893440618	3591669121	0749137108	1848045661	7652503071	9593555368	4641307946	2226136501	2977859176	3334086381
100000900	6893455070	7559923820	8211882717	5117285500	9050724072	6259614441	0675114792	3486507728	1563535909	5987138232
100001000	8040101665	7738730371	2526436524	0635876546	9161078597	5875356626	3049108254	7301341839	4804014250	1842289654
100001100	1104856699	6717353414	3223893491	7626228082	0941855109	8386508207	1802267462	6211429286	3067860924	1122392298
100001200	7522727182	0427033435	1825277564	7373098186	0752073717	8938196594	6455404031	4001955151	5032263873	9369655929
100001300	6545072416	3055496454	8559141383	2607202154	9207208169	2028125701	1038653662	1856278537	9639751674	5599954209
100001400	6883709729	3818416472	3292410920	8351373925	3639806644	5767458935	5477289655	3167173787	9037270093	1059085952
100001500	7895172973	0202660389	7320444210	2223517539	1190112072	2811655721	7742334451	9725740300	8611366517	5204797736
100001600	9229657726	2509668359	4088703854	9980302528	2636188603	8459947744	5852319535	1015696557	9235594907	2880740288
100001700	0659392363	6237906434	4196693074	1545261111	4874041584	6081812982	2630766220	3566567355	5122548855	7603711233
100001800	6911118350	5820037670	8014966805	2576684708	7328484256	0558860744	5016372319	4569974262	2367320149	7662341354
100001900	1727846409	4681415440	1957568753	3714793512	1816856620	9679583383	9855095852	7478856539	9048604637	6662441078
100002000	5817975735	3052615194	0766168132	5966368489	9989053110	5311728434	5238943601	1862138487	8350807172	8780350724
100002100	8745589056	1410096274	5034914829	5191600975	8073847442	1315422188	0284838502	1065156334	9383345760	0877131642
100002200	1995007255	9670873705	5251647233	4072143113	1733024172	6569560037	2279761309	9909125831	1198825123	3163420750
100002300	0704205101	0338294603	6743279719	7572783715	4157810137	5787357582	3822965485	0849487976	8613766362	4532512724
100002400	8795973342	1781150666	0836641010	9624420248	7638369664	7791448895	6280684902	3559252591	5982858764	0789480227
100002500	3885411241	0978166693	9503335910	6491274984	3536465340	8569471710	3746541712	9864905113	7542693099	1701935234
100002600	2035701803	8486808471	5663045196	4634225268	5621194104	0251937255	2226942958	1753603938	7266918700	4019774265
100002700	9122988853	9861986680	2358596648	9062848751	1266352480	1140335884	9749207682	2050084028	0099159192	2982107823
100002800	6083118940	5186580622	6774490744	5950400779	5655179338	3229046249	3452609993	5813961947	4794730549	9919910580
100002900	4746073958	0703013273	4867117316	6279242852	2634574860	9403556205	7500962638	1635027360	3413726619	9555413072
100003000	0536523035	6516294741	7739204383	0045119023	6914282616	5309574232	7551469038	8754587152	4834894783	4679739316
100003100	6018842956	1049251636	6201918519	7238841773	8697459529	6874428501	0782550977	4981623125	8042926883	8945909197
100003200	1008500931	1814172780	6428466073	2536415481	5672398004	1236971779	5503374103	2255267803	9919243370	3527094433
100003300	6187986566	8113943807	7160483175	2440876954	5540842452	6875844649	3872061722	8679691652	6699138860	7221582563
100003400	8575410557	4923938186	5532459580	2159597677	9049802574	2465607523	1858522024	8500565593	2353978733	8979623281
100003500	3756325882	2065045735	6284624646	7602595131	8950941084	4751055644	1363551032	7089989855	7513506136	0643807980
100003600	7125103658	5778302531	8295650296	4663897710	3650240506	3834158657	1318226885	9938902771	2975228074	1749219760
100003700	0889642100	7225210753	6657742578	6503312265	3141883910	7925286685	3848928279	1401842599	3299083105	5303086648
100003800	1447466131	6633999317	5039066634	8537387533	0500555591	2833204410	5673498350	1728872040	5606261569	8469235164
100003900	1583700469	6063912899	1925013924	0293677749	5962372568	3025105388	8868005389	5522842557	4293421265	8677394915
100004000	6536503646	1059390408	2001667517	4813994452	3397353609	5035058839	0017262227	9205836538	7605736320	7443232435
100004100	5501622220	7513453904	7890152535	9449651371	2344528287	2807761844	8882740387	5719713228	5018152423	0525622807
100004200	1723099444	2247141525	4835729859	2526442579	4508289262	7728533900	5787993270	5067733441	7076925822	7630321038
100004300	3300237208	0546271727	0878560486	4879932232	2329888036	1189145111	6199335794	5194736373	5077503294	6164071603
100004400	4144348956	2320214442	1173147815	4240236629	8234162181	6131372456	9531002461	2519394244	6706102762	1939623458
100004500	9656034217	8694428113	9656017093	3349733764	2882200357	8988048432	2774038094	8405356272	7256829195	5762681333
100004600	8651364876	3534486197	6527290603	6700889034	5207430880	5132277541	8725607048	2803428253	9968928643	5861651249
100004700	2140904296	6964484642	7023468352	2942724905	1059807833	1884873892	1372247239	9392592484	1801234702	9021913163
100004800	9699662604	3495434312	2206178980	7748532584	0498050898	1949409220	9114801407	6209064859	9136890291	4071732160

表3　1億桁前後における円周率の値

	DIGIT	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CHI-SQ.
TO	100D	8	8	12	11	10	8	9	8	12	14	4.20
TO	200D	19	20	24	19	22	20	16	12	25	23	6.80
TO	500D	45	59	54	50	53	50	48	36	53	52	6.88
TO	1000D	93	116	103	102	93	97	94	95	101	106	4.74
TO	2000D	182	212	207	188	195	205	200	197	202	212	4.34
TO	5000D	466	532	496	459	508	525	513	488	492	521	10.77
TO	10000D	968	1026	1021	974	1012	1046	1021	970	948	1014	9.32
TO	20000D	1954	1997	1986	1986	2043	2082	2017	1953	1962	2020	7.72
TO	50000D	5033	5055	4867	4947	5011	5052	5018	4977	5030	5010	5.86
TO	100000D	9999	10137	9908	10025	9971	10026	10029	10025	9978	9902	4.09
TO	200000D	20104	20063	19892	20010	19874	20199	19898	20163	19956	19841	7.31
TO	500000D	49915	49984	49753	50000	50357	50235	49824	50230	49911	49791	7.73
TO	1000000D	99959	99758	100026	100229	100230	100359	99548	99800	99985	100106	5.51
TO	2000000D	199792	199535	200077	200141	200083	200521	199403	200310	199447	200691	9.00
TO	4000000D	399419	399463	399822	399913	400792	400032	399032	400650	400183	400694	7.92
TO	5000000D	499620	499898	499508	499933	500544	500025	498758	500880	499880	500954	7.88
TO	8000000D	799111	800110	799788	800234	800202	800154	798885	800560	800638	800318	3.79
TO	10000000D	999440	999333	1000306	999964	1001093	1000466	999337	1000207	999814	1000040	2.78
TO	15000000D	1500081	1499675	1501044	1499917	1501166	1500417	1498447	1499584	1500435	1499234	4.07
TO	20000000D	2001162	1999832	2001409	1999343	2001106	2000125	1999269	1998404	1999720	1999630	4.17
TO	25000000D	2500496	2499915	2500707	2499313	2502826	2500139	2499603	2498290	2499189	2499522	5.28
TO	30000000D	2999157	3000554	3000969	2999222	3002593	2999997	2999548	2998175	2999592	3000193	4.34
TO	50000000D	4999632	5002220	5000573	4998630	5004009	4999797	4998017	4998895	4998494	4999733	6.17
TO	80000000D	7998807	8002788	8001828	7997656	8003525	7996500	7998165	7999389	8000308	8001034	5.95
TO	100000000D	9999922	10002475	10001092	9998442	10003863	9993478	9999417	9999610	10002180	9999521	7.27
TO	130000000D	12997956	13001430	13002130	13000032	13003991	12992901	12999023	12999772	13002357	13000408	6.45

表4　円周率1億3千万桁のFrequency testの結果

付記

大阪大学 大型計算機センター　馬野　元秀

今年の 1 月 7 日 - 9 日に、情報処理学会のプログラミング・シンポジウムがあり、金田先生が「円周率 －高速計算法と統計性－ (2)」という発表を行なわれました。この段階での世界一は、東京大学 大型計算機センターの S-810/20 で計算された 3355 万 4 千桁でした(本稿の 3 節)。

そして、直接、話を伺っていますと、近々、SX-2 で 1 億桁を越える計算をするということでした。それを聞きまして、すぐに阪大のセンター・ニュースへの執筆をお願いした次第です。そして、予定通り、1 億桁を越える 1 億 3355 万 4 千桁の計算が行なわれ、世界記録が更新されました。このことは、多くの新聞で報道され、テレビのニュースでも紹介されました。

以上が、本稿が本センター・ニュースに掲載されるようになった経緯です。

最後になりましたが、お忙しいなか、本センター・ニュースの記事を御執筆下さいました金田先生に感謝致します。

円周率

小数点以下の世界記録更新

1億3355万4000ケタ

興味津々、37時間かけて

「この記録は最低半年間は破られない。破るとすれば米国の研究者か僕だろうが、たぶん僕になるだろう」と自信たっぷりに語るのは円周率（π）を小数点以下一億三千三百五十五万四千ケタまで割り出し、世界記録を大幅に更新した東大大型計算機センター助教授の金田康正さん(三十)＝写真。

πの計算は、七百ケタが最高だったが、コンピューターの出現で一九四九年に二千ケタまで進み、七三年にはフランスで百万ケタを記録。さらに八一年から八三年にかけて金田さんら日本人が次々と記録を塗り替え、千六百七十万ケタまで行ったが、八五、八六年に米国の研究者にこれを破られた。発奮した金田さんは、昨年九月に三千三百五十五万ケタまで計算して再びトップに返り咲いたが、これで満足せず、このほど三十七時間かけて、これをちょうど一億ケタ上回る記録を樹立した。

「あと六十六万ケタは計算できたが区切りのいいところでやめた」

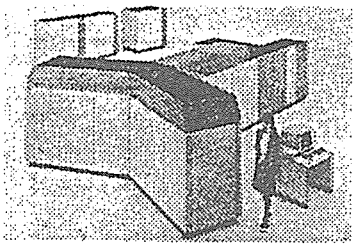
「コンピューターのテストになるとか、出てきた数字が乱数として使えるとか、理屈はいろいろいえるけど、ほんとの動機は興味があったから。山があるから登るというのと同じ」という。

次の世代のコンピューターが出れば、記録更新は可能だが「それもおそらく僕がやることになる」と、金田さんは豪快に笑った。

毎日新聞、1987 年 1 月 20 日(火) 夕刊

1億3千万ケタまで算出

円周率 3.14159…



スーパー電算機

日電、性能に自信

円周率（π）の小数点は何ケタまで解明できるか―日本電気と東京大学の金田助康正助教授が日電のスーパーコンピューター「SX2」＝写真＝を使って世界記録に挑戦した。その結果、これまでの公式記録を一億ケタ上回る一億三千三百五十五万四千ケタまで計算することに成功、近くギネスブックに掲載される見通しとなった。日米摩擦の焦点となっているスーパーコンピューターだが、ここでも日本メーカーの高速性が実証された。

円周率は三・一四のあとも延々と小数点の数字が並び永遠に割り切れないとされる。これまで世界最高の公式記録はNASA（米航空宇宙局）のバーレイ博士がクレイ・リサーチ社のスーパーコンピューターを使って計算した三千三百五十五万四千ケタ。

日電と金田助教授の共同チームはこれを大幅に上回る記録を達成した。計算に要した時間はCPU（中央演算処理装置）の稼働時間だけで三十五時間十四分五十一秒。一見、時間がかかるようだが、「現存する汎用超大型コンピューターの最高速機を使っても、計算には六カ月かかる」（日電）。

円周率の計算式は複雑で、コンピューターが処理するプログラムの量も膨大になる。超高速マシンあっての快記録樹立となった。

スーパーコンピューターは、もともとミサイルの弾道計算など米国の軍事目的で利用された超高速マシンで、日米企業が激しい開発、販売競争を展開している。

特に日電と老舗のクレイ社は世界最高速をお互い主張して譲らず、両社とも性能の実証に懸命。円周率の計算も単なる〝お遊び〟ではなく、高速機の開発競争のすさまじさを反映したものといえる。

日本経済新聞、昭和 62 年 2 月 3 日(火)