

2. 宇宙生物も化学反応で生きている

宇宙の元素は何種類か

地球上で知る限り、全ての物質は電子、中性子、陽子の 3 種の微粒子が組み合わせられて出来ていると思われています。最も質量の小さな電子は 9.1×10^{-31} kg で負電荷を帯びています。電子の 1839 倍の質量を持つ中性子は電氣的に中性で、電子の 1836 倍の質量を持つ陽子は正電荷を帯びています。質量が格段に大きい陽子と中性子が結びついて原子核を形成し、その周囲に電子が分布する形で元素あるいはイオンが出来ています。元素は陽子と電子の数が等しく電氣的に中性であり、イオンは陽子と電子の数が異なるため正電荷あるいは負電荷を帯びています。元素やイオンの性質は原子核の周囲に広く分布する電子の数に大きく影響を受けています。種々の元素の陽子の数と中性子の数の和を質量数といい、陽子の数が同じでも質量数の異なる元素がいろいろとありますのでこれを同位元素と呼んでいます。水素原子は陽子と電子が 1 つずつで中性子を含んでいません。水素陽イオンは水素原子から 1 つの電子が失われたものですから、陽子だけとなります。そのため水素陽イオンと陽子は全く同じものです。ヘリウム原子は陽子 2、中性子 2、電子 2 で出来ています。他にも陽子、中性子、電子の数の異なる元素が無限に考えられますが、地球上には陽子の数の違う元素は 90 種類しか存在しませんし、陽子と中性子の数の割合は図 2 - 1 に示すように 1 から 1.5 で一定しています。原子核の中で陽子と中性子を結び付けている力が相対的に弱くなるため、表 2 - 1 に示すように安定な元素は陽子の数が 83 以下に限られており、陽子の数が 84 以上の元素では不安定で、如何なる環境でも放射能を出しながら一定の寿命を持って徐々に壊れてゆきます。また、陽子に対して中性子の割合が大きな元素も不安定で放射

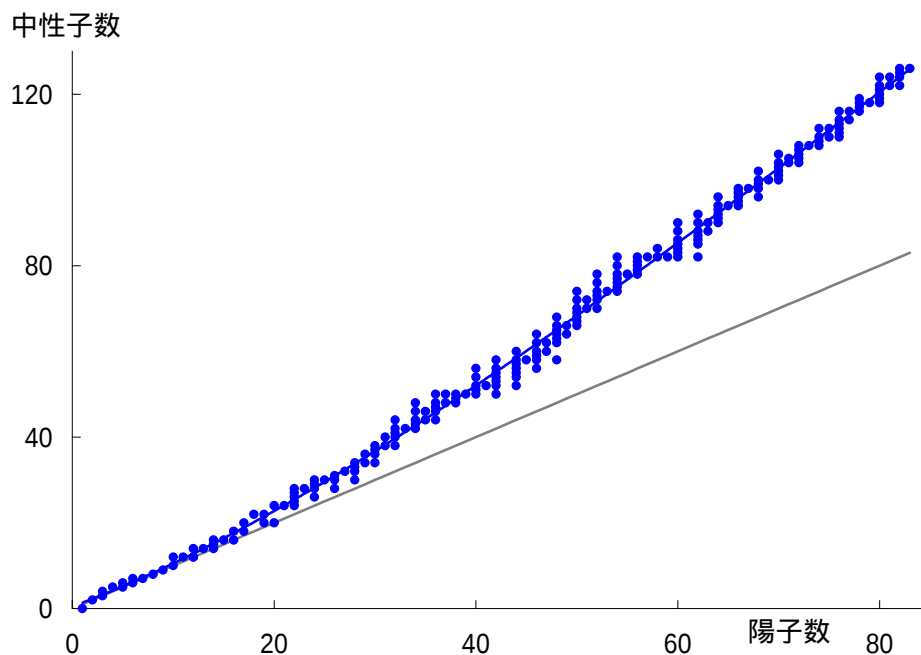


図 2 - 1 安定同位元素の陽子数と中性子数

表 2 - 1 天然に存在する安定元素（その 1）

	陽子数	中性子数	質量数	同位対比		陽子数	中性子数	質量数	同位対比
H	1	0	1	100.0	Ca	20	20	40	96.9
He	2	2	4	100.0	Ca	20	24	44	2.1
Li	3	3	6	7.5	Sc	21	24	45	100.0
Li	3	4	7	92.5	Ti	22	24	46	8.0
Be	4	5	9	100.0	Ti	22	25	47	7.3
B	5	5	10	19.9	Ti	22	26	48	73.8
B	5	6	11	80.1	Ti	22	27	49	5.5
C	6	6	12	98.9	Ti	22	28	50	5.4
C	6	7	13	1.1	V	23	28	51	99.8
N	7	7	14	99.6	Cr	24	26	50	4.3
O	8	8	16	99.8	Cr	24	28	52	83.8
F	9	9	19	100.0	Cr	24	29	53	9.5
Ne	10	10	20	90.5	Cr	24	30	54	2.4
Ne	10	12	22	9.2	Mn	25	30	55	100.0
Na	11	12	23	100.0	Fe	26	28	54	5.8
Mg	12	12	24	79.0	Fe	26	30	56	91.7
Mg	12	12	25	10.0	Fe	26	31	57	2.2
Mg	12	14	26	11.0	Co	27	32	59	100.0
Al	13	14	27	100.0	Ni	28	30	58	68.3
Si	14	14	28	92.2	Ni	28	32	60	26.1
Si	14	15	29	4.7	Ni	28	33	61	1.1
Si	14	16	30	3.1	Ni	28	34	62	3.6
P	15	16	31	100.0	Cu	29	34	63	69.2
S	16	16	32	95.0	Cu	29	36	65	30.8
S	16	18	34	4.2	Zn	30	34	64	48.6
Cl	17	18	35	75.8	Zn	30	36	66	27.9
Cl	17	20	37	24.2	Zn	30	37	67	4.1
Ar	18	22	40	99.6	Zn	30	38	68	18.8
K	19	20	39	93.3	Ga	31	38	69	60.1
K	19	22	41	6.7	Ga	31	40	71	39.9

表 2 - 1. 天然に存在する安定元素（その 2）

	陽子数	中性子数	質量数	同位対比		陽子数	中性子数	質量数	同位対比
Ge	32	38	70	20.5	Mo	42	50	92	14.8
Ge	32	40	72	27.4	Mo	42	52	94	9.3
Ge	32	41	73	7.8	Mo	42	53	95	15.9
Ge	32	42	74	36.5	Mo	42	54	96	16.7
Ge	32	44	76	7.8	Mo	42	55	97	9.6
As	33	42	75	100.0	Mo	42	56	98	24.1
Se	34	42	76	9.0	Mo	42	58	100	9.6
Se	34	43	77	7.6	Ru	44	52	96	5.5
Se	34	44	78	23.6	Ru	44	54	98	1.9
Se	34	46	80	49.7	Ru	44	55	99	12.7
Se	34	48	82	9.2	Ru	44	56	100	12.6
Br	35	44	79	50.7	Ru	44	57	101	17.0
Br	35	46	81	49.3	Ru	44	58	102	31.6
Kr	36	44	80	2.3	Ru	44	60	104	18.7
Kr	36	46	82	11.6	Rh	45	58	103	100.0
Kr	36	47	83	11.5	Pd	46	56	102	1.0
Kr	36	48	84	57.0	Pd	46	58	104	11.1
Kr	36	50	86	17.3	Pd	46	59	105	22.3
Rb	37	48	85	72.2	Pd	46	60	106	27.3
Rb	37	50	87	27.8	Pd	46	62	108	26.5
Sr	38	48	86	9.9	Pd	46	64	110	11.7
Sr	38	49	87	7.0	Ag	47	60	107	51.8
Sr	38	50	88	82.6	Ag	47	62	109	48.2
Y	39	50	89	100.0	Cd	48	58	106	1.3
Zr	40	50	90	51.5	Cd	48	62	110	12.5
Zr	40	51	91	11.2	Cd	48	63	111	12.8
Zr	40	52	92	17.2	Cd	48	64	112	24.1
Zr	40	54	94	17.4	Cd	48	65	113	12.2
Zr	40	56	96	2.8	Cd	48	66	114	28.7
Nb	41	52	93	100.0	Cd	48	68	116	7.5

表 2 - 1. 天然に存在する安定元素（その 3）

	陽子数	中性子数	質量数	同位対比		陽子数	中性子数	質量数	同位対比
In	49	64	113	4.3	Ba	56	82	138	71.7
In	49	66	115	95.7	La	57	82	139	99.9
Sn	50	66	116	14.5	Ce	58	82	140	88.5
Sn	50	67	117	7.7	Ce	58	84	142	11.1
Sn	50	68	118	24.2	Pr	59	82	141	100.0
Sn	50	69	119	8.6	Nd	60	82	142	27.1
Sn	50	70	120	32.6	Nd	60	83	143	12.2
Sn	50	72	122	4.6	Nd	60	84	144	23.8
Sn	50	74	124	5.8	Nd	60	85	145	8.3
Sb	51	70	121	57.3	Nd	60	86	146	17.2
Sb	51	72	123	42.7	Nd	60	88	148	5.8
Te	52	70	122	2.6	Nd	60	90	150	5.6
Te	52	72	124	4.8	Sm	62	82	144	3.1
Te	52	73	125	7.1	Sm	62	85	147	15.0
Te	52	74	126	19.0	Sm	62	86	148	11.3
Te	52	76	128	31.7	Sm	62	87	149	13.8
Te	52	78	130	33.8	Sm	62	88	150	7.4
I	53	74	127	100.0	Sm	62	90	152	26.7
Xe	54	74	128	1.9	Sm	62	92	154	22.7
Xe	54	75	129	26.4	Eu	63	88	151	47.8
Xe	54	76	130	4.1	Eu	63	90	153	52.2
Xe	54	77	131	21.2	Gd	64	90	154	2.2
Xe	54	78	132	26.9	Gd	64	91	155	14.8
Xe	54	80	134	10.4	Gd	64	92	156	20.5
Xe	54	82	136	8.9	Gd	64	93	157	15.7
Cs	55	78	133	100.0	Gd	64	94	158	24.8
Ba	56	78	134	2.4	Gd	64	96	160	21.9
Ba	56	79	135	6.6	Tb	65	94	159	100.0
Ba	56	80	136	7.9	Dy	66	94	160	2.3
Ba	56	81	137	11.2	Dy	66	95	161	18.9

表 2 - 1. 天然に存在する安定元素（その４）

	陽子数	中性子数	質量数	同位対比		陽子数	中性子数	質量数	同位対比
Dy	66	96	162	25.5	Re	75	110	185	37.4
Dy	66	97	163	24.9	Re	75	112	187	62.6
Dy	66	98	164	28.2	Os	76	110	186	1.6
Ho	67	98	165	100.0	Os	76	111	187	1.6
Er	68	96	164	1.6	Os	76	112	188	13.3
Er	68	98	166	33.6	Os	76	113	189	16.1
Er	68	99	167	23.0	Os	76	114	190	26.4
Er	68	100	168	26.8	Os	76	116	192	41.0
Er	68	102	170	14.9	Ir	77	114	191	37.3
Tm	69	100	169	100.0	Ir	77	116	193	62.7
Yb	70	100	170	3.1	Pt	78	116	194	32.9
Yb	70	101	171	14.3	Pt	78	117	195	33.8
Yb	70	102	172	21.9	Pt	78	118	196	25.3
Yb	70	103	173	16.1	Pt	78	119	198	7.2
Yb	70	104	174	31.8	Au	79	118	197	100.0
Yb	70	106	176	12.7	Hg	80	118	198	10.0
Lu	71	104	175	97.4	Hg	80	119	199	16.8
Lu	71	105	176	2.6	Hg	80	120	200	23.1
Hf	72	104	176	5.2	Hg	80	121	201	13.2
Hf	72	105	177	18.6	Hg	80	122	202	29.8
Hf	72	106	178	27.3	Hg	80	124	204	6.9
Hf	72	107	179	13.6	Tl	81	122	203	29.5
Hf	72	108	180	35.1	Tl	81	124	205	70.5
Ta	73	108	181	100.0	Pb	82	122	204	1.4
W	74	108	182	26.3	Pb	82	124	206	24.1
W	74	109	183	14.3	Pb	82	125	207	22.1
W	74	110	184	30.7	Pb	82	126	208	52.4
W	74	112	186	28.6	Bi	83	126	209	100.0

表 2 - 2 放射性元素の陽子数、中性子数、半減期

	陽子数	中性子数	質量数	半減期	壊変形式
Po	84	124	208	2.898y	α
Po	84	126	210	138.4d	α
Rn	86	136	222	3.824d	α
Ra	88	136	224	13.62d	α
Ra	88	138	226	1.6×10^3 y	α
Ra	88	140	228	5.75y	β
Ac	89	138	227	21.77y	α
Th	90	138	228	1.913y	α
Th	90	141	231	25.52h	β
Th	90	142	232	1.41×10^{10} y	α
Th	90	143	233	22.3m	β
Pa	91	140	231	3.28×10^4 y	α
Pa	91	142	233	27.0d	β
U	92	140	232	68.9y	α
U	92	141	233	1.592×10^5 y	α
U	92	143	235	7.038×10^8 y	α
U	92	145	237	6.75d	β
U	92	146	238	4.468×10^9 y	α
U	92	147	239	23.50m	β
Np	93	146	239	2.355d	β
Pu	94	144	238	87.74y	α
Pu	94	145	239	2.412×10^4 y	α
Pu	94	146	240	6.57×10^3 y	α
Am	95	146	241	432.2y	α
Am	95	147	242	16.02h	β
Cm	96	146	242	162.9d	α
Cm	96	148	244	18.10y	σ
Bk	97	150	247	1.4×10 y	α
Cf	98	154	252	2.64y	α

能を出しながら分解します。一般にこの寿命は半分が壊れてゆくために要する時間（半減期）で表し、半減期の 10 倍の時間では $(0.5)^{10}$ となりますが、この値を計算すると約 0.1% しか残らないことになり、ほとんど壊れてしまいます。表 2 - 2 には現在知られている比較的半減期が長く陽子の数の多い元素の半減期を纏めておきます。地球上に自然に存在する最も陽子数の大きな元素はウラニウムですが、この元素の中で半減期の最も長い同位体でも 10 億年です。さらに陽子数が 93 以上の全ての元素は極めて寿命が短く、例えどこかの天体で生成したとしても、生物の誕生から進化までに要する歳月に比べてきわめて短い 20 万年ほどで全て消滅してしまいます。このことから地球上で性質を知ることの出来る 90 種類の元素しか宇宙でも存在しないものと考えてよいという結論に達します。宇宙生物の存在が不可能と思われる中性子星などいくつかの例外を除けば、太陽を始めとする多くの天体から宇宙空間に存在するほとんどの星間物質までこの 90 種類の元素で出来ていることになります。

高い温度で燃えている天体の元素

地球上で 100 億個弱の天体が観測されていますが、これらの天体はそこから来る光などの電磁波を観測することによってのみ確認されてきました。太陽をはじめとして光り輝く天体では、石炭や石油が高温で燃える化学反応ではなく、4 個の水素原子が非常に高い温度で 1 個のヘリウム原子に変わる核反応が起こっています。このとき 4 個の陽子と 4 個の電子から 2 個の陽子、2 個の中性子、2 個の電子になりますが、合計 $3.32 \times 10^{-30} \text{ kg}$ の質量の変化が起こります。この質量の変化とともに大量のエネルギーと放射能を放出しますから、高い温度になり連鎖的にこの核反応が持続します。このような核反応により発生した膨大なエネルギーで多くの天体は高温に燃え続け、光を放っています。

核反応にはいろいろな原子核同士の反応のほかに原子核と中性子などいろいろの組み合わせの核反応があり、大量のエネルギーと放射能を放出します。太陽で起こっている水素の核反応により発生するエネルギーや放射能は太陽光線のほかに宇宙線となって地球の上空にまで到達しています。この宇宙線の中の中性子が大気に含まれる窒素原子と核反応を起こし、質量数 14 の炭素原子を定常的に生成しますから、質量数 14 の炭素と通常の質量数 12 の炭素との割合は一定しています。この質量数 14 の炭素は陽子に対して中性子の割合が高いため不安定で、半減期 5730 年で分解してゆきます。生物が活着している間は新陳代謝を続けていますから、質量数 14 の炭素と通常の質量数 12 の炭素との割合は一定していますが、生物は死とともに新陳代謝をしなくなりますから、10000 年前に棲息していた生物の死骸では質量数 14 の炭素原子は約 25% に減っています。この分解反応を利用して、古生物学や考古学の分野で興味のある化石や遺物の質量数 14 の炭素と通常の質量数 12 の炭素との割合を正確に測定しますと、そのものの歴史を明らかにすることが出来ます。

話が多少それますが、質量数 235 のウランと中性子の核反応では Sr と Xe に分解しますが、同時に 3 個の中性子を大量のエネルギーや放射能とともに放出します。ここで 2 次的に放出された中性子はまた近くにあるウランと核反応を連鎖的に起こしますから、一気に膨大なエネルギーと

表 2 - 3 宇宙における元素存在度 (Si 原子 = 1.00×10^6 を基準にして)

	Suess.Urey (1956)	Cameron (1966)	松井義人 (1967)		Suess.Urey (1956)	Cameron (1966)	松井義人 (1967)
¹ H	4.00×10^{10}	3.2×10^{10}	3.2×10^{10}	⁴² Mo	2.42	2.42	2.8
² He	3.08×10^9	2.6×10^9	5.1×10^9	⁴⁴ Ru	1.49	1.58	1.6
³ Li	100	38	45	⁴⁵ Rh	0.214	0.26	0.33
⁴ Be	20	7	0.69	⁴⁶ Pd	0.675	1.00	1.6
⁵ B	24	6	6.2	⁴⁷ Ag	0.26	0.26	0.64
⁶ C	3.5×10^6	1.66×10^7	1.23×10^7	⁴⁸ Cd	0.89	0.89	2.3
⁷ N	6.6×10^6	3.0×10^6	3.65×10^6	⁴⁹ In	0.11	0.11	0.26
⁸ O	2.15×10^7	2.9×10^7	2.8×10^7	⁵⁰ Sn	1.33	1.33	3.6
⁹ F	1600	$\sim 10^3$	$\sim 3 \times 10^4$	⁵¹ Sb	0.246	0.15	0.40
¹⁰ Ne	8.6×10^6	2.9×10^6	1.59×10^7	⁵² Te	4.67	3.00	6.8
¹¹ Na	4.38×10^4	4.18×10^4	6.4×10^4	⁵³ I	0.80	0.46	1.16
¹² Mg	9.12×10^5	1.046×10^6	1.05×10^6	⁵⁴ Xe	4.0	3.15	4.7
¹³ Al	9.48×10^4	8.93×10^4	8.51×10^4	⁵⁵ Cs	0.456	0.25	0.32
¹⁴ Si	1.00×10^6	1.00×10^6	1.00×10^6	⁵⁶ Ba	3.66	4.0	4.7
¹⁵ P	1.00×10^4	9320	1.22×10^4	⁵⁷ La	2.00	0.38	0.36
¹⁶ S	3.75×10^5	6.0×10^5	5×10^5	⁵⁸ Ce	2.26	1.08	1.17
¹⁷ Cl	8850	1836	1750	⁵⁹ Pr	0.40	0.16	0.17
¹⁸ Ar	1.5×10^5	2.4×10^5	2.4×10^5	⁶⁰ Nd	1.44	0.69	0.77
¹⁹ K	3160	2970	3800	⁶² Sm	0.664	0.24	0.23
²⁰ Ca	4.90×10^4	7.28×10^4	7.36×10^4	⁶³ Eu	0.187	0.083	0.091
²¹ Sc	28	29	33	⁶⁴ Gd	0.684	0.33	0.55
²² Ti	2440	3140	2300	⁶⁵ Tb	0.0956	0.054	0.037
²³ V	220	590	196	⁶⁶ Dy	0.556	0.33	0.36
²⁴ Cr	7800	1.20×10^4	1.17×10^4	⁶⁷ Ho	0.118	0.076	0.090
²⁵ Mn	6850	6320	9200	⁶⁸ Er	0.316	0.21	0.22
²⁶ Fe	6.00×10^5	8.42×10^5	8.9×10^5	⁶⁹ Tm	0.0318	0.032	0.035
²⁷ Co	1800	2290	2300	⁷⁰ Yb	0.220	0.18	0.21
²⁸ Ni	2.74×10^4	4.44×10^4	4.18×10^4	⁷¹ Lu	0.050	0.031	0.035
²⁹ Cu	212	39	290	⁷² Hf	0.438	0.16	0.17
³⁰ Zn	486	202	1170	⁷³ Ta	0.065	0.021	0.021
³¹ Ga	11.4	9.05	51	⁷⁴ W	0.49	0.11	0.13
³² Ge	50.5	134	135	⁷⁵ Re	0.135	0.054	0.07
³³ As	4.0	4.4	5.9	⁷⁶ Os	1.00	0.73	0.79
³⁴ Se	67.6	18.8	89	⁷⁷ Ir	0.821	0.500	0.59
³⁵ Br	13.4	3.95	16.1	⁷⁸ Pt	1.625	1.157	1.05
³⁶ Kr	51.3	20	58	⁷⁹ Au	0.145	0.13	0.13
³⁷ Rb	6.5	5.0	7.1	⁸⁰ Hg	0.284	0.27	3.3
³⁸ Sr	18.9	21	20	⁸¹ Tl	0.108	0.11	0.18
³⁹ Y	8.9	3.6	4.8	⁸² Pb	0.47	2.2	1.6
⁴⁰ Zr	54.5	23	32	⁸³ Bi	0.144	0.14	0.17
⁴¹ Nb	1.00	0.81	1.5	⁹⁰ Th		0.069	0.070
				⁹² U		0.042	0.026

放射能を放出します。1945 年に広島に投下された原子爆弾はこの核反応を兵器として利用したものでした。また、質量数 2 の水素原子を重水素と呼んでいますが、この重水素は天然に 0.02% ほど存在しています。この重水素同士からヘリウム原子を生成する核反応に成功しますと多量のエネルギーを生み出すことが出来ますから、エネルギー問題を世界的に解決するために多くの物理学者が研究を続けています。

炭火の上に醤油がたれたときに橙色の炎が上がります。また、水の入っていない銅の薬缶を間違えてガスコンロに架けてしまうと、炎が緑色に変わります。このように元素を極めて高温に熱すると、その元素固有の波長の光を出すことが知られており、これを炎色反応あるいは原子発光といいます。また、元素の気体はその元素固有の光を吸収する現象も知られており、この現象は非常に感度が高く再現性に優れているため、原子吸光分光分析および ICP 発光分光分析という化学的分析法としてほとんど全ての元素の組成を決めるときに広く利用されています。この分析法を応用すれば、高い温度で燃えている太陽から来る光を調べることにより太陽を形づくっている元素や、太陽の周りを取り巻いている気体の元素組成がわかります。また天体の運行の様子からその天体の重さも見積もることが出来ます。この方法で Clarke という学者が太陽系全体の元素組成を見積もっていますが、その後多くの学者が宇宙の元素組成を見積もりましたので、3 人の学者の見積もりした値を表 2 - 3 に示しておきます。

天空には赤い色の星や青白い光で輝く星などいろいろの星が観測できますが、これらの多くの星から来る光も高温に燃えた星における原子発光によるものです。太陽からの光と同じように望遠鏡を使って遠くの星から来る光を調べることも出来るため、高い温度で燃えている天体の平均的な元素組成を見積もることが出来ます。その結果は太陽系が一つの典型的な天体系であり、いずれの天体の元素組成もクラークの見積もりと大差のないものと考えてよいようです。

冷えて固まった天体の元素

核反応により高い温度で燃える星の元素組成は原子発光の現象により知ることが出来ますが、地球のように冷えて固まった天体では光の発生がありませんから地球上から直接調べる事が出来ません。地球の元素組成は種々の岩石や海水や大気元素組成を調べるにより地表近くの平均的な元素組成を見積もることが出来ます。また、火山の溶岩などの元素の分析から地表からある程度深い所の元素組成まで考慮することが出来ます。さらに、地球の外から飛んでくる隕石やアポロ宇宙船が持ち帰った月の石の分析の値を加味して、地殻の元素組成が表 2 - 4 のように見積もられています。さらに、表 2 - 4 には海の水の中に溶けている元素の組成と人間の身体を構成している元素の組成もまとめておきました。マリナー 2 号が金星に接近して以来、ベネラ 7 号、ベネラ 14 号などの宇宙船が金星に軟着陸して、金星表面の大気および地表の岩石の情報を送信してきました。また、1975 年にパイキング 1 号・2 号が火星への軟着陸に成功しましたが、近年になって米航空宇宙局(NASA)の無人探査機『スピリット』と『オポチュニティー』が火星着陸に成功し、水の湖の痕跡を始め火星表面の多くの情報が送信されてきています。現在までに得られた情報を総合すると、金星、地球、火星、小惑星などの地殻の元素組成はほとんど類似し

表 2 - 4 地殻の元素組成 (%)

元素	地殻中	海水中	人間体内
O	46.6		64.6
Si	27.7	0.012	trace
Al	8.1	0.005	trace
Fe	5	trace	trace
Ca	3.6	1.2	1.96
Na	2.8	32.4	0.11
K	2.6	1.2	0.37
Mg	2.1	3.9	0.04
Ti	0.44	trace	
C	0.18	0.095	18.1
H	0.14		9.98
P	0.12	trace	1.08
S	0.05	2.7	0.25
Cl	0.03	58.2	0.45
Sr	0.03	0.04	
F	0.03	0.004	trace
Rb	0.03	trace	
Ba	0.03	trace	
Zr	0.02	trace	
Cr	0.02	trace	trace
N	0.005	0.003	3.1

ているようです。金星、地球、火星、小惑星などのようなすでに冷えて固まった天体の平均の元素組成は表 2 - 4 に示す地球の地殻の元素組成と同じと考えてよいでしょう。木星、土星、天王星へはいまだ宇宙船の軟着陸に成功していませんが、米航空宇宙局(NASA)の宇宙船パイオニア 10 号、11 号、ボイジャー1 号、2 号がかなり近距離まで接近することに成功したため、それぞれの惑星の大気の分析に成功しています。それらの宇宙船からの情報や地球上からの観測により得られた太陽系の惑星の大気のデータは表 2 - 5 にまとめておきます。

宇宙生物は分子で出来ている

ほとんどの宇宙において、構成している元素は前にも述べたように約 90 種類しかありません。その上、地殻の元素組成も太陽系の元素組成も限られた元素が大部分を占めています。

表 2 - 5 惑星の大気の組成

		金星	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星
大気圧(atm)		90	1	0.006				
水素	H ₂				89	96	85	81
ヘリウム	He				11	4	15	17
ネオン	Ne	4.4x10 ⁻⁴	1.8x10 ⁻³	2.5x10 ⁻⁴				
アルゴン	Ar	1.9x10 ⁻³	9.3x10 ⁻¹	1.6				
窒素	N ₂	3.4	78	2.7				
酸素	O ₂	6.9x10 ⁻³	21	1.3x10 ⁻¹				
二酸化炭素	CO ₂	96	3.2x10 ⁻²	95				
二酸化硫黄	SO ₂	1.9x10 ⁻²						
水	H ₂ O	1.4x10 ⁻¹	1 ~ 2.8	3x10 ⁻²	1x10 ⁻⁴			
一酸化炭素	CO	4x10 ⁻⁵	1.2x10 ⁻⁵	7x10 ⁻²	1x10 ⁻⁷			
オゾン	O ₃			3x10 ⁻⁶				
メタン	CH ₄				2x10 ⁻¹	5x10 ⁻¹	6x10 ⁻¹	2
アンモニア	NH ₃				2x10 ⁻²	2x10 ⁻²		3x10 ⁻⁴
アセチレン	C ₂ H ₂				1.0x10 ⁻⁵	3x10 ⁻⁵	2x10 ⁻²	1x10 ⁻⁴
エタン	C ₂ H ₆				5.5x10 ⁻⁴	7.0x10 ⁻⁴		2x10 ⁻⁶
りん化水素	PH ₃				1x10 ⁻⁴	1x10 ⁻⁴		

原子は質量の重い中性子と陽子が原子核となって中心に座り、その周囲に陽子とほぼ同じ数の軽い電子が広く分布しています。元素の性質は周囲に広く分布する電子の数に主に影響されますが、特に元素の外側に近い部分に分布する電子(外殻電子)の数が元素の性質を決定付けます。原子やイオンの電子は原子核に近い内側から 7 段階におおよそ順番に詰まっていきますが、その電子の入ることの出来る場所は一段階目から 1、4、9、16、25、36 あります。この電子の入ることの出来る場所を軌道と呼び、各軌道に 2 個の電子が入るとその軌道は充足し安定します。そのため、一段階目から 2、8、18、32、50、72 個の電子が入れるだけの許容量を持っています。一番外側に分布する電子が 1 段階目では 2 個それ以外では 8 個まで入ると次の外側の段階に電子は順次詰まってゆきます。そのため、外側の電子の数は 1 から 8 までしかありませんし、元素やイオンの性質も大まかには 8 種類しかありません。これは Mjendjeljejev が見出した元素の性質と陽子の数との間の周期表の規則性を表しています。表 2 - 6 には現在、化学の研究に使われている周期表を挙げ、陽子数、元素記号および 1 番外側に分布する電子の数を示しておきます。典型金属を淡赤色、遷移金属元素を褐色、非金属元素を黄色、希ガス元素を緑色であらわしました。さらにランタニド金属元素を赤褐色、アクチニド金属元素を赤色であらわしました。このように限

られた元素が類似の性質を持っていることから、元素そのものでは生物のような複雑な系を組織することは不可能と思われます。

表 2 - 6 周期表

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 1																	2 He 2
2	3 Li 1	4 Be 2											5 B 3	6 C 4	7 N 5	8 O 6	9 F 7	10 Ne 8
3	11 Na 1	12 Mg 2											13 Al 3	14 Si 4	15 P 5	16 S 6	17 Cl 7	18 Ar 8
4	19 K 1	20 Ca 2	21 Sc 2	22 Yi 2	23 V 2	24 Cr 1	25 Mn 2	26 Fe 2	27 Co 2	28 Ni 2	29 Cu 1	30 Zn 2	31 Ga 3	32 Ge 4	33 As 5	34 Se 6	35 Br 7	36 Kr 8
5	37 Rb 1	38 Sr 2	39 Y 2	40 Zr 2	41 Nb 1	42 Mo 1	43 Tc 2	44 Ru 1	45 Rh 1	46 Pd 2	47 Ag 1	48 Cd 2	49 In 3	50 Sn 4	51 Sb 5	52 Te 6	53 I 7	54 Xe 8
6	55 Cs 1	56 Ba 2	*1	72 Hf 2	73 Ta 2	74 W 2	75 Re 2	76 Os 2	77 Ir 2	78 Pt 1	79 Au 1	80 Hg 2	81 Tl 3	82 Pb 4	83 Bi 5	84 Po 6	85 At 7	86 Rn 8
7	87 Fr 1	88 Ra 2	*2	104 Rf 2	105 Db 2	106 Sg 2	107 Bh 2	108 Hs 2	109 Mt 2	陽子数 元素記号 外郭電子数								

*1	57 La 2	58 Ce 2	59 Pr 2	60 Bd 2	61 Pm 2	62 Sm 2	63 Eu 2	64 Gd 2	65 Tb 2	66 Dy 2	67 Ho 2	68 ER 2	69 Tm 2	70 Yb 2	71 Lu 2
*2	89 Ac 2	90 Th 2	91 Pa 2	92 U 2	93 Np 2	94 Pu 2	95 Am 2	96 Am 2	97 Bk 2	98 Cf 2	99 Es 2	100 Fm 2	101 Md 2	102 No 2	103 Lr 2

高い再現性と発展性を持ち、極めて複雑で、繊細で、効率の良い系を組織するためには、これらの限られ種類の元素が数多く集合し、結びついた高い機能を持つ多くの構成要素の形成が必要になると思われます。一般に、いくつかの元素が結びついて一つの安定な集合体になるとき、この集合体を分子といいます。言い替えれば、生物が組織されるためには、高い機能を持つ多くの分子が必要であるといえるでしょう。

多種多様な分子が変化し、新に別の分子を形成する反応を化学反応といいます。つまり、このような原子の組み合わせにより多くの分子を構成し、その分子が化学反応することにより、複雑な系を組織することが可能と思われます。宇宙の生物も、地球上の生物と同じように多種多様な分子が化学反応をして、全ての生命活動を維持しているものと考えてよいことになります。