

生活的な力学概念・理論と

教科学習との関わりについて

—— 児童中期～青年前期 ——

関 谷 健

はじめに

人間は心身の発達で、幼少の頃の思考は昆虫の殻のように脱ぎ捨てられ、エピソード記憶は思い出せても、自然事象についての考えは思い出せない。子どもに聞いても、短い話し言葉では理解できない。小学校の教師から教わった「 $\times\times$ にかかる力」という言葉に挿絵を添えた調査で見透しをつけ、言葉も「 $\times\times$ に働く力」、「 $\times\times$ に加わる力」に、調査、実験対象は人体から道具や運動物体に広げ、対象者も児童期から青年期にまで広げた。こうして教科教育では無視され続けてきた子どもだけの世界、躍動する力学世界とその発達の姿を垣間見ることが出来た。

さて、この力学世界がその後の教科学習で発達のいかにどう変容するか、しないか、その水準は学習にどう関わるかを確かめ、その世界を順次科学の世界に高める教育のあり方を展望する。

I 児童中・後期の生活的な力学諸概念の特徴とその特質

物理学の基礎である力学の中でも、質量・力・運動の諸概念は重要な概念であるが、物理学領域の生活的諸概念の中でも、それらの生活的概念は単独でも、相互にも大きな役割を持ち、教科学習にも深い関わりを持つと考えられる。まず力概念についてであるが、関谷はそれを発達の捉えようと質問紙による横断的研究(1990)と事例面接法による縦断的研究(1997b)を行い、児童中期～青年前期の生活的力概念の発達とその過程を明らかにしているので、後述する諸実験、諸調査との関連で先ずその概要を述べ、ついで重さ・力・力と運動の各生活的概念とその特徴を検討し、併せて児童期の力学的概念・理論の特質を明らかにする。

1. 児童中期～青年前期の生活的な静力学的力概念の発達

力概念の発達とその過程の研究は前記の通り2つの調査よりなる。調査Iは10歳から14歳まで

の児童・生徒352名と17歳生徒79名を対象とし、質問紙法によって1990年に行われた。調査Ⅱは20名の児童（1学級）について平均年齢8歳4か月時（1990）より12歳4か月時（1994）まで毎年3月、事例面接法によって行われた。課題は共通して挿絵による人体系2題（滑る人、押す人）人体・道具系1題（木と引っ張る人）物体系2題（シーソーと人、立て掛けられたバット）の計5題に関し、「力がかかっていると思う所に×印をつけなさい」という主として静力学的力の作用点の認知に関する課題であった。面接法では各課題ごとに記入後「どうしてそう思ったのですか？」と問い、その判断理由の説明を求めた。

力がかかっているとして×印された挿絵の部分あるいは位置（力の部位）と、説明でその力に与えられた意味（力の意味）とを力学的・心理学的に検討した。力の部位については人体あるいは物体の内部か、人体と物体の接する面あるいは点（人体－物体界面）であるか、2つの物体が接する面あるいは点（2物体界面）であるかの3つのカテゴリーに、また力の意味については人体の筋力的なものか、物体の内因的なものか、あるいは「××を押す」など挿絵の人体が他の物体に働きかけている場合のような対象活動的・一方向的なもの、2物体のうち1つが他方に働きかけているとする主客（主従）物体関係的なものかの各カテゴリーに位置づけ、調査Ⅰ・Ⅱを通じて年齢による特徴と個人特性による特徴を見た。その結果、人体内の部位には主として身体的・筋力的意味、物体内の部位には内因的な意味が対応し、人体－物体界面にはほぼ対象活動的・一方向の意味が、また2物体界面には主客物体関係の意味がそれぞれ対応していることが認められた。力の部位は年齢とともに人体内から人体－物体界面へ、さらに2物体界面へと変化している。以上のことから日常的・生活的な静力学的力概念は8歳頃の筋力的・内因的な概念から11～13歳頃に対象活動的あるいは主客物体関係の概念に、さらに17歳以降に相互物体関係の概念へと発達することが認められた。概念の変化の過程には新旧両概念の混在状態が見られ、また個人特性の推移によれば人体から物体への力概念の拡大には道具等による力の伝達・統合の認知の過程を経過する被験者が多いことも明らかにされた。

これらを図式化すれば図1のようになる。

児童期から青年前期の重さ概念については青木の系統的な研究がある。滑車の両側に吊り下げられた錘のどちらが下がるかの課題で、同じ重さの錘を両側に同数吊しても、下の方に集めて吊した方が上下に分散して吊した方より重いと考える者が多く（1988）、グラム単位を付して重さは同じと明示しても、判断を変えない者が殆どであった（1995）。また、運動物体の重さについての関谷の研究によれば、空中を飛んでいる場合の重さはその方向を向いていると感じたり（1988）、運動方向や速さによって重さが増・減すると判断する被験者が多い（1989）。他方、関谷（1994a）は9歳以上の児童を対象に、吊下げられた電灯や釣橋など静止構造物の「どこに一番大きな力がかかっているか」との重力的力概念の調査の結果、認知された力の部位が構造力学的

両部位の混合



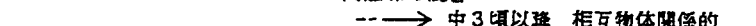
觀念水準 I 1 0

[illegible]

概合水準 1 2



1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 26



1. *Journal of the American Medical Association*, 1997; 277: 1039-1043.

概念水準 1 1- 2 1-



に大きな応力や歪のかかる部位に集中していることを明らかにしている。

2. 8～9歳頃の力学的諸概念とその特徴

8～9歳頃は感覚受容機能及び運動機能を基礎に、手・指の働きに巧緻性を獲得し、生活技術の諸能力の向上が見られ（森下たち, 1988）、スポーツ技術の捕球動作では前方の手先のみで受取ろうとするパターンから、腕も用いて引きつけて取るパターンへと移行する（本間, 1988）など、身体活動の様式が大きく変化する年齢である。またこの頃には、重さ、力などの言葉と結びついて、身の回りの人体や物体の動きや力の働きを力学的概念によって認識しようとする傾向が始まる。この年齢から、まず重さおよび力の認知に関する実験を開始した。対象はいずれも20名（1学級、男子17名、女子3名）の児童で、方法は事例面接法である。場所は特別教室、実験者は筆者である。実施に当たっては保護者及び学校長、担任教諭に調査の目的・方法を説明し、同意を得た。

(1) 実験1：力——手指の押す力の大小調整能力について

（平均年齢8歳4か月 1990年3月実施）

椅子に坐った被験者に、まずきき手の人さし指で自動秤を小さい力で、ついで大きい力、中位の力の3力を順に押させ、さらに小より小、大より大、小と中の間、中と大の間の4力を続いて押させ、他方の手で同様に行わせた。実験者は反対側から多少振動する目盛板の目盛を0.05kg単位で読取った。秤としては2.2kg用を、特に力の大きな被験者には5.0kg用を用いた。

結果によれば、3力の調整では、中位の力を大と同じ、あるいはそれ以上とした2名以外の18名は正確であった。より困難な4力では、3力で全体的に小さくて微調整が出来なかった1名と大が4kg重になって混乱した1名を除き、右または左手で1～2の狂いの範囲となった者は14名、全て正確は4名であった。4力を含めた力の最小値は0.02kg重、最大値は4.00kg重、力の大小幅の最小値は0.65kg重、最大値は3.80kg重であった。なお3力それぞれの平均値は右・左手別に表1の通りで、中位の力は小・大の中間に近い値をとった。調整能力はほぼ成人の水準に達していると考えられる。

力の大小	8歳：手指の力の平均値 (kg重)	
	右手	左手
小さな力	0.40	0.50
大きな力	1.89	1.95
中位の力	1.06	1.07

(2) 実験2：重さ——手の触・圧感覚情報または視覚情報による物体の重さ（慣性的質量）の

弁別（平均年齢8歳4か月 1990年3月実施）

幼児期より用いてきた生活用語としての「重さ」の概念は、物体としての身体活動の中で、重力的側面と慣性的側面が融合した形で知覚的に獲得されていると考えられる。吊下げられた物体を、道具によって間接的に、あるいは掌によって直接的に水平方向に打撃することによって、重

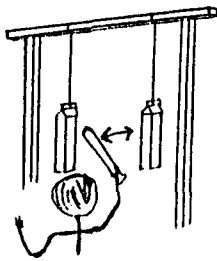


図2 実験2 慣性的質量の
大小による重さの弁別

さの大小をどの程度弁別出来るか、次の方法によって明らかにした。

まず、図2のように目隠しによる視角遮断下にプラスチックバットによって、外見上同一の2物体を相ついで叩かせた。そして2物体はどう違うかを問い、答えられない場合には重さはどうかを問うた。それでも答えられない時には直接手で、さらには目隠しを取ってという順に行った。

2物体には同一物体(牛乳パック)を用い、その重さは実験Aでは1.0kgと0.6kg、実験Bではともに1.0kg、実験Cでは0.6kgと0.4kg

とした。

結果は、視角遮断下のバットで13名が違いを認め、内訳は重さ9名、硬さ1名、不明3名であった。視角を含めての正反応者は、実験Aではバットのみで16名、手までで3名、手のみで1名、実験Bではそれぞれ9名、9名、2名、実験Cではそれぞれ2名、12名、6名、であった。手まで含めた重さ弁別の正反応者数は実験A・B・Cでそれぞれ18名、9名、9名であり、実験A・B・Cとも正反応であった者は6名であった。結果から見ると、実験Aではバットを介しての触圧感覚のみで被験者の約半数が、視角を含めると約8割が1.0kgと0.6kgの物体の慣性的質量を弁別し、掌による触圧感覚情報或いは視覚情報によって、同一の筋力による打撃での物体の動きにくさ、動きやすさから質量の大小を判断し得ることを(偶然性を考慮しても)ある程度示したと考える。

(3) 実験3：重さ——台車どうしの反発・運動に関する視覚情報による台車の重さの大小判断

(平均年齢8歳8か月 1990年7月実施)

低学年児童でも日常の運動と感覚受容による身体的経験を基礎に、衝突或いは反発する人体や物体の運動速度とその変化、走行距離などの視覚情報から、重さの相対的大小を識別することが出来ると考えられるので、台車の反発を用いて確かめる実験を行った。同形で質量の異なる台車A(1.4kg)、B(2.0kg)を教室の平らな床上に接触させて置き、実験者が台車Aに内蔵されたばねで反発・運動させ、停止するまで走行させ、被験者は約3m離れた地点より観察した。実験者はまず両台車の重さは同じか異なるかを問い、違うとした時はどう違うか、なぜそう思ったか説明を求めた。

結果は正反応16名のうち、「重い」と距離が短い」「早く止まる」、「軽い」とよく行く」など距離による説明7名、「重い」とゆっくり、「軽い」と速い」など速さによる説明3名、距離と速さ双方が2名であり、他はバネ、輪ゴムの有無の3名、音の違い1名であった。

12名の被験者が走行距離または速さ、あるいは双方を相対的重さの判断基準としており、瞬間

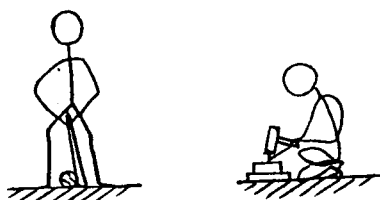
の速さによるよりも距離による方が判りやすいことが明らかとなった。「重いと速い」など逆の判断基準を持つ被験者が3名あったが、如何にして生じるか、明らかに出来ていない。鉛直方向の落下物体の場合の「重い物は速い」との基準の適用ではないかと推察される。なお、ばねや音など微妙な情報に注目した被験者が4名もあり、実験器具へのより緻密な配慮が求められたが、課題事象への詳細な観察が出来るようになってきていることを示しており、興味深い。

(4) 実験4：力 — 人体の対象活動の挿絵に関する力の作用点認知と実行行為による新たな認知 (平均年齢9歳4か月 1991年3月実施)

児童の生活的概念は水準がより上位の概念との混在状態を経て、上位の概念への発達を遂げると考えられるが、力概念における筋力的概念からの発達は道具等を用いた目的的な対象的活動による力の伝達を視覚的に認知することによ

て引き起こされるのではないかと考えられる (関谷, 1997b)。挿絵上での力の作用点認知とその直後の挿絵同様の実行行為による新たな作用点の認知との関連から、実行行為の影響を検討する。課題A：打球と課題B：釘打ち (図2) の挿絵 (B5版) を提示し、「力がかかっていると思う所に×印をつけなさい」と指示し、記入させた。ついで課題Aに関し

「力がかかっていると思う所に×印をつけなさい」



課題A打球

課題B釘打ち

図3 実験4 課題の挿絵

て「バットはボールに力を加えましたか」「ボールはバットに力を加えましたか」と『力を加える』という言葉を用いて作用、反作用の順に力の有無を問い、課題Bも同様に行った (相互作用に作用、反作用の区別はないが、便宜上被験者が主体とみなす傾向の強い物体から客体とみなす物体への力を作用、客体から主体への力を反作用と呼ぶ)。ついで席を立ち、実際に考えながら打つよう指示して、床上の

表2 9歳：行為前後の力の認知部位別人数

A 打球の場合				B 釘打ちの場合			
行為前	行為後	人数	±	行為前	行為後	人数	±
B	B	2		B	B	2	
	F	3	+				
BF	x	1			B	1	
BS	x	1		BF	BF	1	
BFS	B	1			F	3	
					S	1	+
	B	3	-		B	2	-
	F	1		F	F	3	
F	BS	1			S	3	+
	S	3	+		x	1	
	x	1					
FS	x	1		FS	S	1	
S	F	2	-	S	F	1	-
					S	1	
計		20		計		20	

ソフトボールを木製バットで挿絵の形で打たせ、付け加える所があれば挿絵上に赤で×印をさせた。課題Bも同じ手続きで床上の板に木槌で釘を打ち込ませて行った。

認知作用点の部位が人体のみをB、人体－物体接面（以下第一接面）までをF、2物体接面（以下第二接面）までをSで表し、認知部位の範囲を行為前後で比較した（表2）。実行行為によって、BにFがあるいはFにSが追加され、上位の認知範囲への拡大が認められた被験者（表2の＋印）は課題Aで6名、課題Bで4名あり、下位の認知範囲内への部位の追加、すなわちFにBあるいはSにFを追加した被験者（－印）は課題Aで5名、課題Bで3名となり、他は同一カテゴリ内の認知がそれぞれ5名と12名、追加なしが4名と1名であった。この結果は、仮説のように実行行為によって力の認知範囲が身体から第二接面の方向に拡大し、概念的に高い水準を示した被験者がある程度認められた。しかし、他方で実行行為という筋力的活動によって筋力的力が刺激され、身体内認知が復活したと考えられる被験者も3名と2名現れた。

9歳児童の力概念は筋力的なものから主客物体関係のものの範囲で、発達途上の概念が混在する流動状態にあり、また個人特性にも大きな差異があることも明らかとなった。なお、作用・反作用の認知に関しては、作用の認知は両課題とも19名（否定1名は共通）だが、反作用の認知は僅か6名と1名であった。即ち、手に握った道具のバットや槌から他の物体への力は認めながら、他の物体のボールや釘から道具への力は認めようとしない被験者が多いのである。ともに第二接面における2物体間の関係でありながら、より身近で、運動している物体を主体とし、より遠くで静止している物体を客あるいは従体と見なし、それによって力の有・無の判断をしたのではないかと考えられ、この年齢での主客物体関係概念の特徴がみられる。

(5) 8～9歳児童の力学的概念の特徴

- ① 視覚ならびに精緻化した全身の触圧感覚等の統合によって、物体の慣性的質量と重力的質量を不可分に重さとして認知している。
- ② 力概念には既に力の大小を含み、筋力的要素を残しながらも9歳頃には第一接面においての対象活動的概念をほぼ獲得し、更に第二接面にまで作用の認知を広げつつあり、未熟ながら主客物体関係の概念への発展も見られる。個人特性では概念発達過程における水準の異なる概念の混在が一般的であり、また個人差も大きいことが認められるなど、多様で流動的な概念状況にある。
- ③ 物体の重さと運動の関連については、動きにくい物＝重い物、動きやすい物＝軽い物という対になった基準を、実用的概念として多くの児童が用いている。しかし、一部の児童は重い物＝速い、軽い物＝遅いという判断基準を見せた。
- ④ しかしながら、詳細な観察が可能になったことによって、多様な知覚情報に左右され、力学的判断を誤る例も散見された。筋力的・知覚的概念の限界を表したものと言えよう。

3. 10～11歳頃の力学的概念と特徴

Osborne たち（1980）は力概念に関し、事例面接法で故障車課題を用いた。それは人が車を後ろから押している挿絵について、「人が車を押しているが動きません。エンジンはかかっています。Is there a force on the car?」と問っている。関谷（1994b）はこの課題を用いる際、労働を連想させて筋力的力感を誘発する可能性も考慮しながら、「車に力が働いているか」という言葉を用いて、この20名の児童の9歳8か月と10歳8か月に面接調査を行ったところ、車に「働く力」を認めた者が9歳時の5名から10歳時には10名となった。新たに加えた挿絵について「やっと動きだしました。この時、車に力が働いているでしょうか」との問いには、9歳時の6名から10歳時には14名に増加した。漠然とした反応から静止場面に「じっとしている力」、運動場面に「働く力」など明快な反応への変化が見られるなど、1年間に力概念に大きな変化が見られたと報告している。10～11歳の実験は力と運動という2つの概念の関連する課題を中心に行うこととなった。

(1) 実験5：力と運動——外力下の物体が静止から運動に転じた場合、その前後に物体に働く力の有無とその意味、前後の説明間の整合性

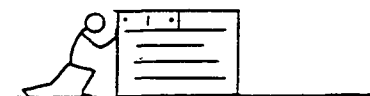
（平均年齢10歳8か月 1992年7月実施）

前述の故障車では、本来の自動性のために、「タイヤが回っている」「エンジンが動いていない」などが、力の有無の判断根拠となっている例が見られた。従って全く自動性のない物体を用いれば、被験者の力と運動の関係概念がより明確に表れ、静止と運動の間にもより整合性をもった説明が得られると考えられる。実験は物体をたんすとし、まず「人がたんすを押していますが動きません。この時、たんすに力が働いているでしょうか」と挿絵（図4 A）を示しながら質問し、続いて「どうしてそう思ったのですか」と説明を求め、力にはその向きを質した。つづいて、運動に移った図Bについて「やっと動きだしました。

この時たんすに力が働いているでしょうか」と問い、力の向きを質し、説明を求めた。力が働いている、いないの反応をそれぞれY反応、N反応とし、静止－運動の力の関連をY－Nのように表すと、次の結果となった。（カッコ内はY反応での力の方向、数字は人数）

Y－Y反応（3名） 人が押している（前）－
人が押している（前）、動かない力（後）－
前に進む力（前）、じっとしている力（後）－

A 静止：「人がたんすを押しているが、動きません
この時、たんすに力が働いているでしょうか。」



B 運動：「やっと動きだしました。この時、
たんすに力が働いているでしょうか。」



図4 実験5 たんすに働く力の課題

戻ろうとするけど、前へ行く（後と前）：各1名

Y-N反応（7名） 動かないから（後3名、下1名、不明1名）－ 人の力に負けたなど：5名、人が押している（前）－ 力を抜いた：1名、重い力（後）－ 力が入っていない：1名

N-Y反応（7名） 動いてない－ 前に動いた（前2名、不明1名）：3名、動いていない－ 前に進む力（前）：2名、わからない－ 動く力（前）：1名、わからない－ 力がかかっている（不明）：1名

N-N反応（3名） 重くて動かない－ 人の力で動いている：2名、まだ動いてない－ 人が押している：1名

全体としてY、Nの各反応は静止、運動とも10名ずつであり、説明をたんすとの双方で話したか、たんすのみか、人のみかの人数を静止、運動別に見ると、双方は1名と4名、たんすのみは15名と11名、人のみは2名と5名、わからないは2名と0名であった。しかし、静止状態でのY反応のうち、力の方向を後向きとしている場合は、人力への抵抗力を意味していると考えられ、その表現が「動かない力」、「動かないから」であった6名は2力の合力=0で静止と考えたとみられ、双方について述べた1名を加えると、双方を考慮した被験者は3分の1を占めている。他方、静止しているから力は働いていない、動いているから力が働いているとする反応がそれぞれ6名、5名あった。

人力が加わったたんすに働く力とは問われると、筋力的力感が根強く、内因的力を認知する傾向も強く表れているが、人－たんす、静止－運動、力の有－無という3つの関係を何とか結び合わせて、未熟ながらも整合性のある判断が手取り早くされていた。2つ以上の生活的な基礎的力学概念（重さ、力、運動、エネルギー等の）を組合わせた時空的な力学的事象の説明を力学的な生活理論と呼ぶなら、静止状態における2力関係や、静止から運動への変化に関して「戻ろうとするけど前へ行く」などの説明は、子ども言葉で綴られた生活的力学理論と言うことが出来る。なお、故障車課題との比較では、説明に人力を用いた被験者が静止、運動でそれぞれ2名増えたほか、タイヤ等の部品の介入がなく、より明瞭な反応が得られたと考える。

(2) 実験6：力と運動 — 推進力を停止した物体に働く力の認知とその意味

（平均年齢10歳8か月、1992年7月実施）

質問紙法によって物体の運動方向の「力」（誤概念）の認知を調査した研究（関谷 1993a）によれば、15歳頃以上の年齢では半数以上の対象者に、その「力」は認知されているとされる。ではそれ以下の年齢でも、同じ結果がみられるだろうか。また、物体が地上を走る自転車と宇宙空間を飛ぶロケットで、その認知に違いはあるだろうか。この2点についてこの実験で検討した。課題としては、両物体が推進力によって前進している場面と、力の停止後も運動を続けている場

面の挿絵を併せ用いた。まず、「自転車をこいでいます。どんどんスピードがついてきました」「こぐのを止めたんですが、勢いよく走っています」と、両場面の説明をしたのち、後者の挿絵について「この時、自転車に力は働いているでしょうか」と問い、方向を含めて力の有無とその説明を求めた。宇宙ロケットについても、エンジンの噴射と停止によって同様の手続きで進化した。

第一の点についての結果では、自転車で力を認めた反応（Y反応）14名のうち、走る力：10名、こいだ力：2名の12名が、ロケットではY反応8名のうち、前へ進む：4名、自転車と同じ：2名の計6名が運動方向の「力」を認めた。この結果は質問紙による11、13歳の結果に近く、15歳頃以上との違いを示した。第二点の自転車とロケットの比較では、自転車－ロケットの形でY、N両反応を対比させると（カッコ内は力の向き）、Y－Y反応（8名）には、動く力－動く力：6名が含まれ、N－N反応（6名）は全員が、力を止めた－力を止めたとしているなど、自転車とロケットに同一基準を適用している。しかし、Y－N反応（6名）では、動いている（前3）－勢い（或は力）はない：3名、タイヤが回っている（不明）－勢いで：1名などいづれも互に異なる基準を適用しており、ロケットでは運動方向の力の認知が少なく、慣性的な運動とみている被験者が約半数いることとともに、両者に対する反応の違いとなっていることが判った。

(3) 実験7：力と運動 — 日常的事象と非日常的事象に関する力の認知と説明における主客物体関係の相違（平均年齢10歳8か月、1992年7月）

一般に発達的には作用の認知が反作用に先行し、静止2物体間に比して静止・運動物体間の力の認知が先行する（関谷、1991）。しかし、静止・運動物体間の衝突の場合でも、静止物体の物性の違い（硬軟など）がある場合には、反作用の認知に大きな差が認められるとの青年前期を対象とした質問紙法による調査研究（関谷、1992）があるが、児童後期においても同様の傾向が認められるであろうか。更に、運動する物体が特に柔らかい特殊な素材で、対する静止物体に付着するという非日常的な事象を観察した場合、作用・反作用の認知はどう変わるか、その際、2物体に関する主客物体関係は変化するのかを、次の4種類の実験によって明らかにする。まず第一の点については、課題を同じテニスボールの対壁と対マットとし、第二の点については粘土ボール対壁及びマジックボール対机とした。ボールの投げ方はテニスボールと粘土ボールは水平方向に投げ、マジックボールは自由落下（約15cm）で、粘土ボールとマジックボールは付着するものを用いた。手続きはまず実験者が投げ、或は落として被験者に観察させたのち、被験者に「ボールが当たった瞬間、ボールは壁に力を加えたでしょうか」「壁はボールに力を加えたでしょうか」と問い、力の有無に拘わらず、どうしてそう考えたかについて説明を求めた。

作用・反作用の認知と説明は次の通りであった。

すなわち、ボールの対壁で作用18名、反作用14名であったのに対して、対マットでは13名と5

名で、特に反作用が少なかった。また全被験者の反作用の説明における主体は、対壁ではボール15名に対して壁4名、不明1名だが、対マットではボール11名、マット7名不明2名とマットが増加し、説明ではマットの柔らかさ：5名、はね返らない：3名、下に落とした：2名などマットの物性とボールの運動性喪失への着目が目立ち、反作用の力を否定した被験者にマットの物性とそれによるボールの動きが影響していることが明らかとなった。次に第2の点については、粘土ボール対壁では作用、反作用の認知は17名と11名、マジックボール対机では17名と9名で、説明で語られた主体は粘土ボール1名、壁13名、ほか1名、不明5名とマジックボール5名、机11名、不明4名となっていて、主体が運動物体から静止物体に移っていること、これによってテニスボールの場合と比べて、反作用の認知が増えていることが明らかとなった。非日常的な事象による主客物体観の逆転が、静止物体の反作用の認知とそれによる相互作用の認知へと道を拓いたことは注目されねばならない。

(4) 実験8：重力的力——不安定状態の人体と電柱に関する力概念とその構造力学的特徴

(平均年齢11歳4か月、1993年3月実施)

静止構造物の挿絵に関して10歳以上の児童が一番大きな力がかかっているとする部位は、構造力学的に重力で最も大きな応力(Stress)がかかる基底部および最も大きな歪(Strain)がかかる接合部に相当しており、それらは身体による推論に基づくとされる(関谷, 1994a)。とすれば力学的不安定状態の場合、人体と同様電柱にもほぼ対応する部位に、倒れないような力を認知すると考えられる。課題は鉛直方向から5°傾いた人体と電柱の挿絵について、「力がかかっていると思う所に×印をつけなさい」と指示して記入させたのち、どうしてそう思ったのかの説明を求めた。なおこの2課題は連続しないように、他の人体、物体に関する5題に含め、間隔をおいて配置し、実施された。

結果は、力がかかっていないとした人体で2名、電柱で4名を除いて、1人当たりの力の部位数は人体で1.2箇所、電柱で1.7箇所であった。部位別に比較すると、人体で足もとの立地点(足首を含む)に力を認めた16名のうち、14名は電柱の立地点に力を認め、人体の手(肘を含む)の4

「力がかかっていると思う所に×印をつけなさい」

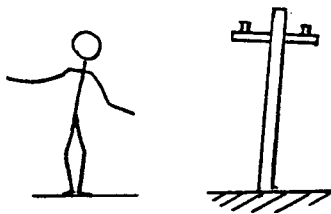


図5 実験8 人体と電柱にかかる力の課題

名のうち2名は電柱上部の横木接合部に力を認めた。次にそれらの力の意味については、人体の場合は立地点の16名のうち、「足に力を入れなかったら倒れる」など、倒れないようにする力：5名、体を支える：4名、体重がかかる：2名で、他の5名は単なる状況説明即ち、立っているので：4名、体を曲げている：1名であった。これに対して電柱の場合も

立地点の15名のうち、倒れないようにする：6名、全部を支えている：3名、体重がかかる：2名、折れないように：2名、重さの力と落ちない力：各1名であった。なお、力の部位とともに意味も両課題で対応した者は11名（力学的安定10、重さ1）であった。次に人の手に関しては、4名のうち、だるい：2名、体を支えている、曲げている：各1名、電柱の接合部では11名のうち、支えている：5名、落ちないように：3名、折れないように：1名のほかは状況説明の、立っているだけ、シーソーの足みたい：各1名であった。これら力の意味は、科学的には重力に基づくものであるが、被験者の児童たちで重さに関して述べたのは各2、3名で、ともに力学的安定という目的論的意味が支配的であり、各被験者が選んだ力の部位と意味の両課題間の相関性ととともに、人体から電柱への推論の根拠となり得ると考える。

(5) 10-11歳頃の力学的概念の特徴

① この年齢になると、「働く力」という言葉によってはなお筋力的・内因的力感を誘発される弱さをもちながらも、人体を主、物体を客とし、或は運動する物体を主、静止する物体を客とする観点で2物体の関係をみることによって力の有無を判断し、運動に関連する場合の力には前後の範囲内で方向を付することが出来るに至っている。

② 外力下の物体の静止から運動への状態変化や異なる物体の相似た運動に関して、同一基準を適用したり、或は異なる基準を用いたりしながら、時空的推移や力の有無の判断間に整合性をもたせることが出来るようになっていく。2つ以上の生活的な基礎的・力学的概念を組み合わせ、時空的に変化する力学的現象あるいは2物体の力学的要素の比較などが説明される場合には、過半数の児童に力と運動に関する生活的理論の成立がみられる。

③ これらは科学概念に照らせば総て誤概念であり、誤理論であるが、それは知覚的・生活的で、実在する現象に基礎を置いているが故に、重さ・力・力と運動に関する領域では実用的で有効な概念・理論とすることが出来る。ただし、円運動や放物運動など2次元の運動あるいは密度・圧力等複雑な要素を含んだり、仕事・エネルギーの概念を含んだ領域は論外である。

④ 実験で現れたような直感的な重さや力、運動の概念は基礎的、単位的な概念であり、青年期の概念研究で対象とされる2次元運動や浮力など、数個の単位的概念の関係した複合的概念・理論、あるいは問題解決においてそれらを用いた方略において誤概念・理論といわれているものとは、概念・理論の水準において異なるものである。

⑤ 力には力学的な意味以外に科学的意味はないが、児童が力に付与する意味は、単に物体の状態を説明するに過ぎないものから、力学的安定の目的論的なものへと進歩し、更に将来は大人が日常筋力や道具、機械による力に付与する「支える力」など、社会的・文化的意味も含んだものへ変化していくと考えられる。

なお、以上の被験者はいわゆる古きよき時代の自然・生育環境を残した、農業を主とした地域の児童たちであり、事例面接法による前述のような力の認知は、都市部の児童、生徒を対象とした質問紙法による同一課題の結果と比較すると、年齢的に1年～3年早くなっている。その差異は対象者、方法のいずれによるか、両方によるか明らかにすることは出来ていない。

4. 児童期の力学的概念・理論の特質

以上の諸実験の結果を以て断定的に言うことは出来ないが、他の諸実験・諸調査の結果と総合すれば、児童期の力学的概念・理論は、ほぼ次のような特質をもつと考えられる。

(1) 児童は身体を物体として、道具として活動し、自然或は人工物体へ目的的な対象的活動を疲れることなく展開する。それによって力や物性等の認知範囲を、物体に関する一人称世界から二人称世界へと広げ、更に身体による推論を用いて三人称世界にまで広げようとしている。こうして自らの身体周辺に身体的力学世界を構成し、初期条件を明確に意識しながら、その後の力学的運動過程に習熟し、そこに遊ぶ楽しみを、あるいはそれによって生活的目的を達成しているのである。したがって自らの内に構成したこれらの概念・理論は、知覚的・身体的な特質をもっている。

(2) しかしながら、重力や大気がほぼ同一の地球上での児童の力学的概念・理論は、経験の質的或は量的違いや言語能力の違いによって個性的特徴をもつにしても、一般的には同等或は相似するのは必然である。同一状況のもとで異なる反応を表す場合もあるが、発達過程の新旧概念の混在による現われ方の違いや、用いる基準の組み合わせ方の違いの範囲にあると考えられる。

(3) 児童後期までに構成された力学的諸概念と理論の総体を「身体的力学」（関谷 1993b）と呼ぶなら、それは力学的認識の源泉であり、人類の作った力学の原形であり、一つの文化であると考えられる。児童の重さ概念や平面上の物体の運動等の一部に、科学史に類似した概念や理論があるのは当然であろうが、それを以て児童の力学観をアリストテレス的などと呼ぶ（板倉たち、1958または板倉1969）のは適切でない。

(4) 稲垣（1992）は幼児が形成している「自立的領域としての生物学」を、種としての人間が生きていくための食物の採取、家畜の飼育、農耕等の基礎、健康や病気への関心を発達させる基礎として早くから獲得するよう進化したものと考えたと良く理解出来ると述べているが、「身体的力学」も同様に二足歩行による力学的不安定から身体と生命を守り、自由になった手の筋力、更には道具による力を用い、またより複雑な道具や住居等の製作と利用の基礎として、早くから獲得されるよう進化したものと考えられる。

Ⅱ 児童後期・青年前期の生活的な力学諸概念・理論が教科学習によって受ける影響および学力テスト結果との相関

発達途上の力学的概念・理論は教科学習によってどう変化するか、また、教科学習のない2年間にはどのように変容するか、それら生活的概念や生活的理論の水準は教科学習後の学力テストの成績と相関するかについて、力学領域の教科学習のある小学5年生、中学1年生および3年生について調査研究を行った。

1. 生活概念・理論に関する課題の設定、概念・理論の水準による学習の影響の測定、ならびに指数を用いての概念・理論の水準と学力テスト素点との相関

力概念に関する課題については主として静力学領域の課題を、力と運動に関する理論については衝突における作用・反作用の課題を用いた。小学5年生には力概念の課題のみとし、中学3年生には力と運動に関する理論の課題に運動物体の慣性の課題を加えた。課題に対する反応は概念・理論の発達過程の水準に位置づけ、その変化を測るため各水準を指数で表わし、その合計値と学力テスト素点によるピアソンの相関係数によって相関をみた。

(1) 調査1：小学5年生に関する調査

課題は学習前後とも同一課題とし、A：人体系2題（滑る人、押す人）B：人体・道具系2題（木と引っ張る人、シーソーと人）C：変形物体系2題（吊下げたばね、釣り）D：不変形物体系2題（立掛けられたバット、天秤）の合計8題とし、その挿絵について力がかかっていると思う箇所に×印をつけさせる。力はかかってない、わからないの欄を付記し、質問紙として学習の直前と直後に担任監督のもとに記入させた。担任教諭による単元「てこの働き」の授業は約20時間行われ、学習終了後に学力テストが実施された。課題に対する反応の指数化は力概念の発達過程（図1の図式による）における各水準に対する1～4で設定した。対象は5年生1学級36名

表3 小5：力概念指数平均値の課題別
学習前後比較 (高値値4.0)

課題	学習前	学習後	増減値
A 人体系	2.78	3.46	+0.68
B 人体・道具系	1.98	2.92	+0.94
C 変形物体系	2.88	3.32	+0.44
D 不変形物体系	2.38	2.84	+0.46

表4 小5：学習によって力概念指数が
増減した児童の課題別人数 (36名中)

課題	増加	変化なし	減少
A 人体系	13	23	0
B 人体・道具系	20	15	1
C 変形物体系	9	27	0
D 不変系物体系	14	21	1

+2以上を増加 -2以下を減少 他を変化なし

(男子18名、女子18名)、実施は1994年10～11月であった。

学習前後の指数平均値は表3、指数が増・減、あるいは変化しなかった児童数は表4の通りとなった。即ち、学習前には力概念の水準の平均値は変形物体系では高く、人体・道具系で低かったが、学習後は人体系と人体・道具系の課題で指数の増加が顕著であった。各児童の概念水準の指数の合計値と学力テストの評価の素点とに基づく相関係数の値は、学習前の指数とテスト素点では男子は0.16、 t 検定による $t=0.63$ で有意な相関はほとんどなく、女子は指数値が0.26、 $t=1.08$ で有意な相関は低かった。また、学習後については男子は係数値0.10、 $t=1.00$ で有意な相関はほとんどなく、女子のみに0.63、 $t=3.24$ でかなりの相関が $p<.01$ で認められた。なお、参考のため学力テストと同時期の読解力テストの両素点間の相関係数は男子0.80、女子0.57で、ともに $t=4.0$ 、 $p<.01$ で高い相関とかなりの相関があることが有意に認められ、この単元の理解と言語能力との間には相当の相関があることが示唆された。

(2) 調査2：中学1年生に関する調査

力概念に加えて力と運動の理論に関する課題を実施した。力概念に関してはA：人体系2題(滑る人、押す人)、B：人体・道具系1題(シーソーと人)、C：物体系2題(立て掛けられたバット、天秤)の合計5題、力と運動の理論に関してはD：ボール対壁、E：ボール対マット、F：停止車追突の各衝突場面3題、G：外力下のたんすの静止・運動の両場面でのたんすに働く力の有無とその説明をそれぞれ記述で求めた。授業では力の働きと圧力に関し、力と重さ、力の表し方、面を押す力と水圧・大気圧についての学習が約10時間行われた。授業では作用、反作用については、民間教育研究団体の実践的研究による「BがAから受ける力」と「AがBから受ける力」という表現を用いて、力が対として働くことが強調された。調査は学習の直前と直後に同一課題によって理科担当教諭監督のもとで行われ、学力テストは定期試験に含めて行われた。

結果の指数化では概念部分は小学5年生の場合と同様に、各1～4で合計5～20、理論部分は力の有無と記述の心理学的・力学的意味をあわせ考慮し、各課題1～4に評定し、4題合計4～16、総計で9～36とした。なお無記入或は無意味記述は1とした。具体的な例としては、D：ボール対壁の場合：力はないとした上で壁は立っているだけなど、事象の説明のみのときは2、力はないとしながら1物体の知覚的表現を行っている例や、「ボールの変形」あるいは力を認めながら定義的に「対として働く」と述べる場合は3、力を認めた上で、スピードが変わったなど半ば科学的な説明を含むときは4とした。対象生徒は4学級合計119名(男子62名、女子57名)、学力テスト素点との相関は、うち2学級59名(男子31名、女子28名)の学級別、男女別に検討した。実施は1993年1月～3月である。

結果を表5でみる限り、力概念では第二接面への力の認知拡大がB、C両課題で認められ、小

表5 中1：力概念指数平均値の課題別学習前後比較
(最高値4.0)

課題	学習前	学習後	増減値
A 人体系	2.90	3.34	+0.44
B 人体・道具系	2.24	2.94	+0.70
C 物体系	2.35	3.23	+0.88

表6 中1：力と運動の理論指数平均値の課題別学習前後比較
(最高値4.0)

課題	学習前	学習後	増減値
D ボール対壁	2.32	2.66	+0.34
E ボール対マット	2.13	2.48	+0.35
F 停止車衝突	1.97	2.57	+0.60
D たんす静・動	2.21	2.60	+0.39

学5年生での第一接面への拡大に対し、次の水準へ進んでいることが確かめられた。

理論では対壁と対マットの差は認められず、停止車追突でやや指数平均値に増大があったものの、全体として増大幅は僅少に止まり、力学的理論の発達はや

でないことが示唆された。各生徒の指数総計値と学力テスト素点との相関係数値とその有意性のt検定の結果は表7の通りとなり、学習前については男女とも相関は認められなかったが、学習後については男子は2学級とも高い相関が、女子は1学級でかなりの相関が有意となり、性差が認められる結果となった。

表7 中1：概念・理論指数とテスト点間のピアソンの相関係数

性	A組(男15、女13)		B組(男16、女15)	
	学習前	学習後	学習前	学習後
男	0.50	0.78***	0.38	0.81***
女	0.22	0.03	0.06	0.55*

t検定の結果 ***は $p < .001$ ** $p < .01$

*は $p < .05$ で有意

(3) 調査3：中学3年生に関する調査

課題は力概念部分は1年生の課題の人体・道具系のB課題に木と引っ張る人を加えて6題とし、力と運動の理論部分は1年生の課題からE：ボール対マットを除き、停止車追突をE、たんすの静止・運動をF課題とし、新たに運動物体の慣性に関する課題としてG：宇宙ロケット課題を加えて4題とした。なおロケット課題はClement (1982) が事例面接法に用いたものを軌道の選択としたものである。

概念部分の反応の指数化は1年生と同様の基準によって1～4とし、理論部分については、力の有無と記述についての心理学的水準と力学的水準を考慮して1～6とし、概念部分合計6～24、理論部分合計4～24、総指数値は10～48とし、1年時のそれと比較した。わからない、無意味記述、無記入はいずれも1とした。理論部分の反応の指数化はD：ボール対壁、E：停止車追突の両課題に関しては心理学的水準の①物体の状況の心理学的表現のみ、②運動物体のみの説明、③2物体の主客関係の記述、④2物体の相互関係的記述のいずれか、力学的水準としての①時空的推移のみ、②弾性、変形など物性的記述、③1物体の運動学的記述、④2物体相互の運動学的記述のいずれかに位置づけ、対象者の反応を総合して2～6に指数化した。次にF：たんす課題で

は心理学的水準を①静止、運動の比較の記述、②力の内因的表現、③力の科学的表現のいずれか、力学的水準を①物体内の1力、②水平または鉛直方向の1力、③異なる方向（水平と鉛直）の2力、④互いに反対向きの2力の水準のいずれかに位置づけ、両水準を総合して指数化した。G：宇宙ロケット課題では、ロケット噴射後の第一段階とロケット停止後の第二段階の二部分の各水準の組合わせによって指数を決定した。

授業は2、3学期にわたって力とエネルギーに関して約15時間行われ、学力テストは定期試験に含められた。生活的概念・理論調査は学習前の11月に行われ、前述の総指数値と2回の学力テストの力学領域の合計素点値との間の相関係数が算出された。対象者は4学級の107名（男子56名、女子51名、調査2の一年生と同じ生徒）である。実施は1994年11月～3月であった。

表8 中3：力概念指数の学習前課題別平均値と1年時の学習前・後との比較

課題	3年学習前	1年学習前	1年学習後
A 人体系	3.22	+0.32	-0.12
B 人体・道具系	2.81	+0.57	-0.13
C 物体系	2.90	+0.55	-0.33
最高値はいずれも4.0 3前-1前 3前-1後			

表9 中3：力と運動の理論の課題別平均値

課題	学習前
D ボール対壁	3.54
E 停止車衝突	3.74
F たんす静・動	2.78
G 宇宙ロケット	2.80

最高値はいずれも6.0

結果については、概念部分では物体に関わるB、C課題について、表8の通り指数平均値を1年学習前の結果と比べると、課題B・Cでやや増加が認められるが、課題Cでは1年学習後よりはやや減少しており、物体の関わる課題での概念発達の難しさが表れていると考える。理論部分（表9）では2力の釣り合いや運動に関するF・G課題で水準が他より低く、指数が2.0以下の対象者の割合はD・E課題で約22%、F・G課題で約42%を占めた。これは2力の釣り合いや合力、

表10 中3：概念・理論発達指数とテスト点間のピアソン相関係数

性	A組(N=24)	B組(N=28)	C組(N=28)	D組(N=27)
男	0.62*	0.56*	0.70**	0.78**
女	0.48	0.71**	0.79***	0.72**

t検定の結果 *** は $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$ で有意

分力など力のベクトル的内容の学習前であったためでもあるが、個人差の大きさはその後の学習と理解にどう影響するか憂慮される。

学習前の生活的概念・理論の総指数値と学習後の学力テスト素点の合計値

との間のピアソンの相関係数は、表10のようにA～Dの4学級男女別8グループのうち、5グループで高い相関を $p < .01$ 以上の有意性をもって示し、2グループでかなり高い相関を $p < .05$ で有意に示した。この年齢における学力の基礎は、力および力と運動の関わりに関する生活的概念・理論の発達にあることを、この相関の高さは示唆したものとして注目される。

2. 児童後期・青年前期の生活的力概念・力と運動の理論の特徴と教科学習との関わり

(1) 学習前後の指数の変化から学習による概念・理論の影響をみる限り、小学5年生では力の作用点が人体・物体間の第一界面へ、中学1年生では第一界面から第二界面へと拡大していること、すなわち、筋力的概念から対象活動的概念へ、さらに主客物体関係的概念への発達が平均的にはみられる。しかし、個別にみると概念指数が増加したものは、小学5年生では約40%に過ぎず、中学1年生でも約50%にとどまり、他は変化がないまたは指数が減少した者で占められた。

(2) 生活的な力と運動の理論に関しては、中学1年生と3年生で指数化基準を変えたため、指数値による比較は出来ないが、課題F：たんすの静・動と課題G：宇宙ロケットに対する反応には力学的理解の困難さがみられた。指数を1～6とした場合の3.0未満という水準の低さは、ともに力や運動に関する概念のベクトル性の未熟によるものと考えられる。すなわち、F課題では人力とたんす・床間の摩擦力の方向が互いに反対（或は運動方向とも）、G課題ではロケットの速度と推力の方向が直角となっているなど、同一物体に互いに異なる方向の2力が働く場合、あるいは運動する物体の速度と力による加速度、速度の方向が異なる場合に、力や速度のベクトルの合成が出来ないために対応が出来ないのである。

(3) ではベクトル的思考の未成熟は青年前期の特徴なのであろうか。この点に関して青年中期以降のベクトル的思考との関連で考えてみたい。G課題の結果は、内容的にはほぼ同じロケット課題の、大学生を対象としたClement (1982) による結果、および専門学校性を対象とした中島義明 (1987) の結果とは大きな違いがあり、むしろ、児童後期の児童を対象とした関谷 (1997a) の結果に近いものとなっている。方法がそれぞれ異なるが、青年前期までと中期以降の年齢のそれぞれ2つの結果間の違いを検討する。

青年前期までの結果では、エンジン点火後ただちに直角方向に軌道を変える反応が対象者の半数を越えるが、青年中期以降の学生では斜め直線軌道とする者が過半数を占め、直角方向は少ないという第一部分での大きな違いがある。すなわち、学生たちの斜め直線方向はロケットの運動速度と推力による「速度」とをベクトル的に合成した方向であるのに対して、青年前期以下の年齢ではこの合成が出来ないため、直ちに力の方向へ移ると判断したと考えられる。両者の違いはベクトル性を獲得しているか否かの違いであり、それが力と運動の生活的理論に大きな違いをもたらしていると考えられるのである。

従来1年生で行っていた力のベクトル学習が1年と3年に分断された点については早急に回復され、力の分力は学習困難としても、合力と物体の釣り合いまでは1年生で学習するよう改編されるべきであると考ええる。

(4) 青年前期の生徒を対象とした生活的概念・理論に関する実験的研究は、児童期以上に困難なため、なお不明な部分が多い。そのため、青年中期以降の、特に大学生を対象とした研究結果

による生活的概念・理論の特徴をそのまま青年前期、さらには児童期にまで適用して論じ、或はそれによって教育内容・方法の再編を論ずる傾向がみられる。また、もともとその年齢では無理とされる水圧など圧力を、次の学年で大気圧を学習するからとして1年生の力の学習に含めたり、浮力という、生活的用語としての意味が科学的には全く異なり、重さと体積、それに単位体積当たりの重さの重力的比較という複合的概念に関する問題解決の課題等に関する反応を以て、青年前期の生活的概念・理論の特徴を論じ、あるいはそれをもとにして教育内容・方法を論じるような、実態に基づかない議論や措置は早急に見直されるべきである。

(5) 学力テスト結果との相関に関しては、年齢とともに相関が高くなる傾向がみられ、青年前期の力学領域学習における基礎的概念の発達の重要性が示唆された。児童期からの概念発達をはかる教育を抜きにして、学習者に性急に問題解決活動を迫っても、概念の混乱は避けられず、確固とした科学的認識の形成は不可能であると考えられる。

(6) 相関がほとんどみられなかった小学5年生の場合、生活的概念では指数が比較的高いにも拘わらず、学力テスト結果は特に低い児童が男子で2名、女子で1名みられた。このような傾向をもつ児童は、他の学校の調査でもみられており、担任教諭の説明によれば、日常活動は活発だが、発言はひとこと、文章は1行という傾向を共通してもっており、この調査に関連して検討した学習後の学力テストと同時期の読解力テストの素点間の相関の高さ、および榊原たち（1959）の理科の成績と国語の成績との相関に関する研究による小・中学生での相関の高さを考慮すれば、力学学習さらには自然科学学習における言語能力の役割についての研究の必要性が痛感される。

Ⅲ 生活的概念・理論の発達とその最近接領域を考慮に入れた教育内容・方法の編成

ヴィゴツキー（1934）は「科学的概念の発達は、常に自然発生的概念の成熟の一定の水準に依拠しなければならない」とした上で、「科学的概念は対象に対する間接的な関係から始まる」のに対して、「自然発生的概念は物から概念へと進む」と述べている。図式的に描くとすれば、「ある線を上から下へと下から上へ発達の道を踏みならし」ながら概念形成は進められるとしている。下から上へは、ある程度概念・理論の拡大・深化によって可能としても、上から下への教育指導は「ある線」に表現される発達の道筋を明らかにしない限り、的確性を欠くことになる。すなわち、概念それぞれの内実とその発達過程を明らかにすることによって、はじめて最近接領域の設定が可能となる。田中（1987）は発達の最近接領域としては、発達保障の階梯とともに教育内容および教授－学習過程における最近接領域という、3重の構造が必要であると提起している。教育内容の関しては、学習者の生活的概念・理論の発達の最近接領域への設定と、稲葉（1984）に

よる科学的な到達目標の設定と到達度評価の適用が必要であり、教授－学習課程には学習者にとって透明性のある教材、実験、観察の配置と学習者の相互交流と集团的討論が保障された授業の確保が必要である。なお、現行学習指導要領の範囲を含めた学童後期の力学教育内容・方法の新たな編成とその具体的展開に関しては、現在教育者と共同で行っている授業研究を経た上で、別の機会に報告したい。

引用文献

- 青木多寿子 1988 重さの加法性判断における判断の質的变化及び性差に関する発達的研究, 教育心理学研究, 36(4), 327-332.
- 青木多寿子 1995 重さ判断における Scientific thinking 研究 (V), 教育心理学会37回総会論文集, 373.
- Clement, J. 1982 Student preconceptions in introductory mechanics, American Journal of Physics, 50(1), 66-71.
- 本間政行 1988 児童の捕球パターンとその発達——大きいボールの場合——, 弘前大学教育学部教科教育研究紀要, 8, 19-24.
- 稲葉宏雄 1984 学力問題と到達度評価 上・下, あゆみ出版.
- 稲垣佳世子 1992 小講演 幼児における自律的領域としての生物学の成立, 教育心理学会35回総会発表論文集, L 4.
- 板倉聖宣・岩城正夫・上川友好 1958 理科教育におけるアリストテレス・スコラの力学観と原子論的・ガリレイ的力学観, 科学史研究, 52, 22-33.
- 板垣聖宣 1969 科学と方法—科学的認識の成立条件, 季節社.
- 森下一期・木村誠・河合優年 1988 児童の工作技能・生活技能の発達に関する実践的研究, 昭和61～62年度科学研究費補助金研究成果報告書 名古屋大学教育学部.
- 中島義明 1987 直観物理学—運動軌道の認知—, 大阪大学人間科学部紀要, 13, 81-106.
- Osborne, R. & Gilbert, J. K. 1980 A technique for exploring Students' view of the world. Physics Education, 15, 376-379.
- 榎原茂樹・熊谷静一 1959 理科の成績と数学・国語の成績との相関について, 国立教育研究所紀要, 19.
- 関谷 健 1988 重さとその方向に関する認知からみた重さ概念の発達, 教育心理学会30回総会発表論文集, 234-235.
- 関谷 健 1989 重さの「増減」にみる重さ概念の高次化過程, 教育心理学会31回総会論文集, 7.
- 関谷 健 1990 作用点の認知からみた力観の発達, 教育心理学会32回総会論文集, 186.
- 関谷 健 1991 相互作用の認知からみた力概念の発達の变化について, 教育心理学会33回総会論文集 25-26.
- 関谷 健 1992 衝突時に認知される作用・反作用と物体の運動状態の関わりについて, 教育心理学会34

回総会発表論文集, 38.

関谷 健 1993a 物体の静・動時に認知される力の発達的变化の特徴と性差, 発達心理学会 4 回大会発表論文集, 203.

関谷 健 1993b 9・10歳児童の静止物体系に関する力概念の特徴とその「身体的力学」, 教育心理学会 35回総会発表論文集, 76.

関谷 健 1994a 静止構造物に関する重力的力概念の発達的变化と身体による推論, 教育心理学会36回総会発表論文集, 161.

関谷 健 1994b 9・10歳における内因的力概念の発達, 発達心理学会 5 回大会発表論文集, 97.

関谷 健 1997a 児童後期・青年前期における慣性概念の特質——ロケット問題を素材に——, 発達心理学会 8 回大会発表論文集, 55.

関谷 健 1997b (予定) 児童期の生活的力概念の発達とその過程, 人間発達研究所紀要.

田中昌人 1987 人間発達の理論, 青木書店.

ヴィゴツキー 1934 柴田義松訳 1962 思考と言語 下, 明治図書.

謝辞

4年間にわたって実験に協力くださった京都府峰山町立丹波小学校の当時の20人の児童と保護者の皆さん, 調査を心よく受入れて協力くださった学校長, 担任教諭はじめ教職員の皆さん, 調査に協力してくださった京都市立小・中学校の児童・生徒の皆さん, 理科サークル中心とした教諭の皆さんに心からお礼を申し上げます。実験の機会を与え, 指導してくださった田中昌人教授, 日常적으로ご指導いただいた稲葉宏雄, 天野正輝両教授はじめ, 10年間聴講生として受け入れ, 教育してくださった京都大学教育学部教官の皆さんに厚い感謝の意を表します。

(元京都府立田辺高校教諭, 元聴講生)