航空機による MSS の幾何学的諸問題に関する考察

星 仰*

Cosiderations on Geometrical Problem of MSS by Aircraft

by Takashi Hoshi

This paper describes a special character of the multispectral scanner mechanism and can be related to such parameters as sun direction, relative height and scan angle between the dead and shadow angle space by the MSS.

This correlation can be easily observed by figure 2-10, 12. Next, it describes a approximate rectifiable theory of the MSS imagery that is based on Konecny's theory. Using this theory, behaviors of the rectifiable elements are investigated; $\varphi, \omega, \kappa, b_x, b_y, b_z$.

The result is applied to determine the overlap quantity by the flight plan and will be suggest to use hardware of a regenerated MSS imagery in the futuer.

1. 概 説

従来の中心投影による解析理論は内部標定要素が製作時に精密測定されている場合と内部標定要素が未知の場合の2分野に区分することができ、内部標定要素が既知の場合の外部標定要素の決定方法に関する理論は O. Gruber¹⁾ などによって研究されてきている。一方、内部標定要素が未知な場合で外部標定要素と同時に解析する理論としては A. D. N. Smith²⁾ や E. L. Merritt³⁾ などによって究明されてきている。

これらの写真測量の標定理論を基礎にして1966年頃から G. Konecny⁴⁾ らによって MSS 画像の偏位修正理論が提唱されてきている。この理論によればスキャナから抽出されたアナログ信号を FMテープに保管するのを画像面に直接投影したかのごとく想定し、MSS の走査線ごとの画像位置と対地座標を関係づけている。この方法を MSS の標定に応用するにはハード的に問題があり画像の厳密な標定は現在困難であるが偏位要素の挙動を知る上で重要であると考えられる。また、画像全体の偏位修正を行なう近似的方法として適用できるものと思われる。これらのことから3節では G. Konecny の理論に基づいた⁵⁾ 近似的偏位修正理論を述べ、この理論を用いて偏位修正要素の挙動を対地高度、地表の起伏要因などを考慮しつつ調べることにする。この結果を用いて偏位修正要素の変動に対する位置のズレ量を算出し今後の飛行計画への考察を行な

い、G. Konecny 理論を発展的とするための MSS 画像作成用器材へのハードウェア改良提案を結論で述べる。

また、偏位修正理論を述べるに当り MSS の機構を知る必要があるので放射輝度が MSS に入射してから光学経路を述べセンサの瞬時視野による対地面積変動の関係式を導びくと共に、地表起伏と走査角による D.S. 空間の理論式を導きこれらの挙動傾向を調べ考察を加える。

2. MSS の機構

2.1 MSS 内部の光学的経路と情報の流れ

太陽光線による地物の反射エネルギー、あるいは地熱や太陽光線による地物の加熱による放射エネルギーをセンサが捕えた後の光学的経路は主鏡、副鏡など複数の反射鏡を経て各波長帯に適した検出器に至る経路が主要なものといえる。これらの MSS の光学的経路は最近開発された国産製と米国製とは大差ないと思われるので国産のを例にとって述べる。

センサーに入力する電磁波は紫外光線部、可視光線部、赤外光線部に分けられる。紫外光線部ではレンズ、アパーチャ、反射鏡、フィルタおよび検出器を光学経路構成要素としている。可視光線部分ではレンズ、ダイクロイックミラー、アパーチャ、反射鏡分光グレーディング、フィルタを経て可視光検出素子に電磁波が入力する。赤外部では近赤外と中間赤外では物理的性質を異にするため反射鏡を経てから光線路に分光され近赤外部ではアパーチャ、ダイクロイックミラー、レンズ、フィルタを経て検出素子に電磁波が入力する。

* 和歌山工業高等専門学校 (昭和52年5月～53年2月まで文部省内地研究員として京都大学工学部に内地留学中)
「写真測量とリモートセンシング」Vol. 17 No. 1 1975

図 2-1 MSS の光学的経路の実例

一方、中間赤外光線では、ほぼ近赤外の経路と同様な構成要素を経て Hg・Cd・Te の検出素子に入力する。これらの電磁波の経路図を示したものが図2-1である⁶⁾。

検出素子は波長帯によってその応答特性が異なるため図2-2のごとく各検出素子による応答曲線が示されてきた⁷⁾⁸⁾。この応答強度の最も高い部分の波長帯で地表情報を抽出すれば MSS の検出素子として最適である。これらのことを考慮して検出素子を含む検出器の設計には上述の応答分光感度と雑音、応答速度が加味され紫外・可視光線域では光電子増倍管を、熱赤外光線域には半導体が使われている。

つぎに検出器より出力される信号電圧は各チャンネル情報として広幅テープレコーダによってアナログテープに記録される。このアナログテープをFMテープと呼んでいる。FM テープレコーダの代用として一般

図 2-3 MSS 情報処理の概要

図 2-2 検出器別の検出波長範囲

科学実験用のデータレコーダを用いた例もあるが、以後のデータ処理装置の関連性から察すると試作処理装置を必要とすることが多いといえる。このFMテープの情報は地上に送信する方法と機上でデジタル変換する方法さらにはFMテープを地上ステーションに持帰りデータ処理する方法などがある。前2者は送信・

表 2-1 CCT のデータ構成

FILE NO.	FILE NAME	STANDARD REFERENCE DATA	DUMBY	CHANNEL 1 VIDEO DATA	CHANNEL 2 VIDEO DATA	CHANNEL 3 VIDEO DATA
DATA	NAME	801 802		803 Bytes	804 805 806 Bytes	807 808 809 Bytes
FILE NO.	FILE NAME	810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000				

表 2-2 CCCT のデータ構成

FILE NO.	FILE NAME	COMPUTING SYSTEM ID	TAPE LIBRARY ID	SENSOR ID	DATE OF THIS TAPE GENERATION	FLIGHT NO.	PROJECT/AREA	DATE OF ORIGINAL TIME GENERATION	FLIGHT TIME
DATA	NAME	CH-10	CH-11	CH-12	CH-13	CH-14	CH-15	CH-16	CH-17
FILE NO.	FILE NAME	CH-18	CH-19	CH-20	CH-21	CH-22	CH-23	CH-24	CH-25
FILE NO.	FILE NAME	CH-26	CH-27	CH-28	CH-29	CH-30	CH-31	CH-32	CH-33
FILE NO.	FILE NAME	CH-34	CH-35	CH-36	CH-37	CH-38	CH-39	CH-40	CH-41
FILE NO.	FILE NAME	CH-42	CH-43	CH-44	CH-45	CH-46	CH-47	CH-48	CH-49
FILE NO.	FILE NAME	CH-50	CH-51	CH-52	CH-53	CH-54	CH-55	CH-56	CH-57
FILE NO.	FILE NAME	CH-58	CH-59	CH-60	CH-61	CH-62	CH-63	CH-64	CH-65
FILE NO.	FILE NAME	CH-66	CH-67	CH-68	CH-69	CH-70	CH-71	CH-72	CH-73
FILE NO.	FILE NAME	CH-74	CH-75	CH-76	CH-77	CH-78	CH-79	CH-80	CH-81
FILE NO.	FILE NAME	CH-82	CH-83	CH-84	CH-85	CH-86	CH-87	CH-88	CH-89
FILE NO.	FILE NAME	CH-90	CH-91	CH-92	CH-93	CH-94	CH-95	CH-96	CH-97
FILE NO.	FILE NAME	CH-98	CH-99	CH-100	CH-101	CH-102	CH-103	CH-104	CH-105
FILE NO.	FILE NAME	CH-106	CH-107	CH-108	CH-109	CH-110	CH-111	CH-112	CH-113
FILE NO.	FILE NAME	CH-114	CH-115	CH-116	CH-117	CH-118	CH-119	CH-120	CH-121
FILE NO.	FILE NAME	CH-122	CH-123	CH-124	CH-125	CH-126	CH-127	CH-128	CH-129
FILE NO.	FILE NAME	CH-130	CH-131	CH-132	CH-133	CH-134	CH-135	CH-136	CH-137
FILE NO.	FILE NAME	CH-138	CH-139	CH-140	CH-141	CH-142	CH-143	CH-144	CH-145
FILE NO.	FILE NAME	CH-146	CH-147	CH-148	CH-149	CH-150	CH-151	CH-152	CH-153
FILE NO.	FILE NAME	CH-154	CH-155	CH-156	CH-157	CH-158	CH-159	CH-160	CH-161
FILE NO.	FILE NAME	CH-162	CH-163	CH-164	CH-165	CH-166	CH-167	CH-168	CH-169
FILE NO.	FILE NAME	CH-170	CH-171	CH-172	CH-173	CH-174	CH-175	CH-176	CH-177
FILE NO.	FILE NAME	CH-178	CH-179	CH-180	CH-181	CH-182	CH-183	CH-184	CH-185
FILE NO.	FILE NAME	CH-186	CH-187	CH-188	CH-189	CH-190	CH-191	CH-192	CH-193
FILE NO.	FILE NAME	CH-194	CH-195	CH-196	CH-197	CH-198	CH-199	CH-200	CH-201
FILE NO.	FILE NAME	CH-202	CH-203	CH-204	CH-205	CH-206	CH-207	CH-208	CH-209
FILE NO.	FILE NAME	CH-210	CH-211	CH-212	CH-213	CH-214	CH-215	CH-216	CH-217
FILE NO.	FILE NAME	CH-218	CH-219	CH-220	CH-221	CH-222	CH-223	CH-224	CH-225
FILE NO.	FILE NAME	CH-226	CH-227	CH-228	CH-229	CH-230	CH-231	CH-232	CH-233
FILE NO.	FILE NAME	CH-234	CH-235	CH-236	CH-237	CH-238	CH-239	CH-240	CH-241
FILE NO.	FILE NAME	CH-242	CH-243	CH-244	CH-245	CH-246	CH-247	CH-248	CH-249
FILE NO.	FILE NAME	CH-250	CH-251	CH-252	CH-253	CH-254	CH-255	CH-256	CH-257
FILE NO.	FILE NAME	CH-258	CH-259	CH-260	CH-261	CH-262	CH-263	CH-264	CH-265
FILE NO.	FILE NAME	CH-266	CH-267	CH-268	CH-269	CH-270	CH-271	CH-272	CH-273
FILE NO.	FILE NAME	CH-274	CH-275	CH-276	CH-277	CH-278	CH-279	CH-280	CH-281
FILE NO.	FILE NAME	CH-282	CH-283	CH-284	CH-285	CH-286	CH-287	CH-288	CH-289
FILE NO.	FILE NAME	CH-290	CH-291	CH-292	CH-293	CH-294	CH-295	CH-296	CH-297
FILE NO.	FILE NAME	CH-298	CH-299	CH-300	CH-301	CH-302	CH-303	CH-304	CH-305
FILE NO.	FILE NAME	CH-306	CH-307	CH-308	CH-309	CH-310	CH-311	CH-312	CH-313
FILE NO.	FILE NAME	CH-314	CH-315	CH-316	CH-317	CH-318	CH-319	CH-320	CH-321
FILE NO.	FILE NAME	CH-322	CH-323	CH-324	CH-325	CH-326	CH-327	CH-328	CH-329
FILE NO.	FILE NAME	CH-330	CH-331	CH-332	CH-333	CH-334	CH-335	CH-336	CH-337
FILE NO.	FILE NAME	CH-338	CH-339	CH-340	CH-341	CH-342	CH-343	CH-344	CH-345
FILE NO.	FILE NAME	CH-346	CH-347	CH-348	CH-349	CH-350	CH-351	CH-352	CH-353
FILE NO.	FILE NAME	CH-354	CH-355	CH-356	CH-357	CH-358	CH-359	CH-360	CH-361
FILE NO.	FILE NAME	CH-362	CH-363	CH-364	CH-365	CH-366	CH-367	CH-368	CH-369
FILE NO.	FILE NAME	CH-370	CH-371	CH-372	CH-373	CH-374	CH-375	CH-376	CH-377
FILE NO.	FILE NAME	CH-378	CH-379	CH-380	CH-381	CH-382	CH-383	CH-384	CH-385
FILE NO.	FILE NAME	CH-386	CH-387	CH-388	CH-389	CH-390	CH-391	CH-392	CH-393
FILE NO.	FILE NAME	CH-394	CH-395	CH-396	CH-397	CH-398	CH-399	CH-400	CH-401
FILE NO.	FILE NAME	CH-402	CH-403	CH-404	CH-405	CH-406	CH-407	CH-408	CH-409
FILE NO.	FILE NAME	CH-410	CH-411	CH-412	CH-413	CH-414	CH-415	CH-416	CH-417
FILE NO.	FILE NAME	CH-418	CH-419	CH-420	CH-421	CH-422	CH-423	CH-424	CH-425
FILE NO.	FILE NAME	CH-426	CH-427	CH-428	CH-429	CH-430	CH-431	CH-432	CH-433
FILE NO.	FILE NAME	CH-434	CH-435	CH-436	CH-437	CH-438	CH-439	CH-440	CH-441
FILE NO.	FILE NAME	CH-442	CH-443	CH-444	CH-445	CH-446	CH-447	CH-448	CH-449
FILE NO.	FILE NAME	CH-450	CH-451	CH-452	CH-453	CH-454	CH-455	CH-456	CH-457
FILE NO.	FILE NAME	CH-458	CH-459	CH-460	CH-461	CH-462	CH-463	CH-464	CH-465
FILE NO.	FILE NAME	CH-466	CH-467	CH-468	CH-469	CH-470	CH-471	CH-472	CH-473
FILE NO.	FILE NAME	CH-474	CH-475	CH-476	CH-477	CH-478	CH-479	CH-480	CH-481
FILE NO.	FILE NAME	CH-482	CH-483	CH-484	CH-485	CH-486	CH-487	CH-488	CH-489
FILE NO.	FILE NAME	CH-490	CH-491	CH-492	CH-493	CH-494	CH-495	CH-496	CH-497
FILE NO.	FILE NAME	CH-498	CH-499	CH-500	CH-501	CH-502	CH-503	CH-504	CH-505
FILE NO.	FILE NAME	CH-506	CH-507	CH-508	CH-509	CH-510	CH-511	CH-512	CH-513
FILE NO.	FILE NAME	CH-514	CH-515	CH-516	CH-517	CH-518	CH-519	CH-520	CH-521
FILE NO.	FILE NAME	CH-522	CH-523	CH-524	CH-525	CH-526	CH-527	CH-528	CH-529
FILE NO.	FILE NAME	CH-530	CH-531	CH-532	CH-533	CH-534	CH-535	CH-536	CH-537
FILE NO.	FILE NAME	CH-538	CH-539	CH-540	CH-541	CH-542	CH-543	CH-544	CH-545
FILE NO.	FILE NAME	CH-546	CH-547	CH-548	CH-549	CH-550	CH-551	CH-552	CH-553
FILE NO.	FILE NAME	CH-554	CH-555	CH-556	CH-557	CH-558	CH-559	CH-560	CH-561
FILE NO.	FILE NAME	CH-562	CH-563	CH-564	CH-565	CH-566	CH-567	CH-568	CH-569
FILE NO.	FILE NAME	CH-570	CH-571	CH-572	CH-573	CH-574	CH-575	CH-576	CH-577
FILE NO.	FILE NAME	CH-578	CH-579	CH-580	CH-581	CH-582	CH-583	CH-584	CH-585
FILE NO.	FILE NAME	CH-586	CH-587	CH-588	CH-589	CH-590	CH-591	CH-592	CH-593
FILE NO.	FILE NAME	CH-594	CH-595	CH-596	CH-597	CH-598	CH-599	CH-600	CH-601
FILE NO.	FILE NAME	CH-602	CH-603	CH-604	CH-605	CH-606	CH-607	CH-608	CH-609
FILE NO.	FILE NAME	CH-610	CH-611	CH-612	CH-613	CH-614	CH-615	CH-616	CH-617
FILE NO.	FILE NAME	CH-618	CH-619	CH-620	CH-621	CH-622	CH-623	CH-624	CH-625
FILE NO.	FILE NAME	CH-626	CH-627	CH-628	CH-629	CH-630	CH-631	CH-632	CH-633
FILE NO.	FILE NAME	CH-634	CH-635	CH-636	CH-637	CH-638	CH-639	CH-640	CH-641
FILE NO.	FILE NAME	CH-642	CH-643	CH-644	CH-645	CH-646	CH-647	CH-648	CH-649
FILE NO.	FILE NAME	CH-650	CH-651	CH-652	CH-653	CH-654	CH-655	CH-656	CH-657
FILE NO.	FILE NAME	CH-658	CH-659	CH-660	CH-661	CH-662	CH-663	CH-664	CH-665
FILE NO.	FILE NAME	CH-666	CH-667	CH-668	CH-669	CH-670	CH-671	CH-672	CH-673
FILE NO.	FILE NAME	CH-674	CH-675	CH-676	CH-677	CH-678	CH-679	CH-680	CH-681
FILE NO.	FILE NAME	CH-682	CH-683	CH-684	CH-685	CH-686	CH-687	CH-688	CH-689
FILE NO.	FILE NAME	CH-690	CH-691	CH-692	CH-693	CH-694	CH-695	CH-696	CH-697
FILE NO.	FILE NAME	CH-698	CH-699	CH-700	CH-701	CH-702	CH-703	CH-704	CH-705
FILE NO.	FILE NAME	CH-706	CH-707	CH-708	CH-709	CH-710	CH-711	CH-712	CH-713
FILE NO.	FILE NAME	CH-714	CH-715	CH-716	CH-717	CH-718	CH-719	CH-720	CH-721
FILE NO.	FILE NAME	CH-722	CH-723	CH-724	CH-725	CH-726	CH-727	CH-728	CH-729
FILE NO.	FILE NAME	CH-730	CH-731	CH-732	CH-733	CH-734	CH-735	CH-736	CH-737
FILE NO.	FILE NAME	CH-738	CH-739	CH-740	CH-741	CH-742	CH-743	CH-744	CH-745
FILE NO.	FILE NAME	CH-746	CH-747	CH-748	CH-749	CH-750	CH-751	CH-752	CH-753
FILE NO.	FILE NAME	CH-754	CH-755	CH-756	CH-757	CH-758	CH-759	CH-760	CH-761
FILE NO.	FILE NAME	CH-762	CH-763	CH-764	CH-765	CH-766	CH-767	CH-768	CH-769
FILE NO.	FILE NAME	CH-770	CH-771	CH-772	CH-773	CH-774	CH-775	CH-776	CH-777
FILE NO.	FILE NAME	CH-778	CH-779	CH-780	CH-781	CH-782	CH-783	CH-784	CH-785
FILE NO.	FILE NAME	CH-786	CH-787	CH-788	CH-789	CH-790	CH-791	CH-792	CH-793
FILE NO.	FILE NAME	CH-794	CH-795	CH-796	CH-797	CH-798	CH-799	CH-800	CH-801
FILE NO.	FILE NAME	CH-802	CH-803	CH-804	CH-805	CH-806	CH-807	CH-808	CH-809
FILE NO.	FILE NAME	CH-810	CH-811	CH-812	CH-813	CH-814	CH-815	CH-816	CH-817
FILE NO.	FILE NAME	CH-818	CH-819	CH-820	CH-821	CH-822	CH-823	CH-824	CH-825
FILE NO.	FILE NAME	CH-826	CH-827	CH-828	CH-829	CH-830	CH-831	CH-832	CH-833
FILE NO.	FILE NAME	CH-834	CH-835	CH-836	CH-837	CH-838	CH-839	CH-840	CH-841
FILE NO.	FILE NAME	CH-842	CH-843	CH-844	CH-845	CH-846	CH-847	CH-848	CH-849
FILE NO.	FILE NAME	CH-850	CH-851	CH-852	CH-853	CH-854	CH-855	CH-856	CH-857
FILE NO.	FILE NAME	CH-858	CH-859	CH-860	CH-861	CH-862	CH-863	CH-864	CH-865
FILE NO.	FILE NAME	CH-866	CH-867	CH-868	CH-869	CH-870	CH-871	CH-872	CH-873
FILE NO.	FILE NAME	CH-874	CH-875	CH-876	CH-877	CH-878	CH-879	CH-880	CH-881
FILE NO.	FILE NAME	CH-882	CH-883	CH-884	CH-885	CH-886	CH-887	CH-888	CH-889
FILE NO.	FILE NAME	CH-890	CH-891	CH-892	CH-893	CH-894	CH-895	CH-896	CH-897
FILE NO.	FILE NAME	CH-898	CH-899	CH-900	CH-901	CH-902	CH-903	CH-904	CH-905
FILE NO.	FILE NAME	CH-906	CH-907	CH-908	CH-909	CH-910	CH-911	CH-912	CH-913
FILE NO.	FILE NAME	CH-914	CH-915	CH-916	CH-917	CH-918	CH-919	CH-920	CH-921
FILE NO.	FILE NAME	CH-922	CH-923	CH-924	CH-925	CH-926	CH-927	CH-928	CH-929
FILE NO.	FILE NAME	CH-930	CH-931	CH-932	CH-933	CH-934	CH-935	CH-936	CH-937
FILE NO.	FILE NAME	CH-938	CH-939	CH-940	CH-941	CH-942	CH-943	CH-944	CH-945
FILE NO.	FILE NAME	CH-946	CH-947	CH-948	CH-949	CH-950	CH-951	CH-952	CH-953
FILE NO.	FILE NAME	CH-954	CH-955	CH-956	CH-957	CH-958	CH-959	CH-960	CH-961
FILE NO.	FILE NAME	CH-962	CH-963	CH-964	CH-965	CH-966	CH-967	CH-968	CH-969
FILE NO.	FILE NAME	CH-970	CH-971	CH-972	CH-973	CH-974	CH-975	CH-976	CH-977
FILE NO.	FILE NAME	CH-978	CH-979	CH-980	CH-981	CH-982	CH-983	CH-984	CH-985
FILE NO.	FILE NAME	CH-986	CH-987	CH-988	CH-989	CH-990	CH-991	CH-992	CH-993
FILE NO.	FILE NAME	CH-994	CH-995	CH-996	CH-997	CH-998	CH-999	CH-1000	CH-1001

図 2-4 CCT のデータフォーマット

図 2-6 飛行時によるXの移動量

図 2-5 飛行走査線X方向の移動量

と走査方向Yの関係などを調べることにする。

スキャナの回転数； n_0 ，走査角度； θ ，飛行速度； V とすれば最大走査角 $2\theta_{\max}$ における地表のX方向の移動量 ΔX は図 2-5 から式 (2-1) となる。

$$\Delta X = V t = \frac{1}{180} \cdot \frac{\theta_{\max}}{n_0} V \quad (2-1)$$

$\theta_{\max} = 45^\circ$ とした場合の $n_0 = 20 \sim 100$ における V と ΔX の関係は走査鏡の面数 $\bar{n} = 1$ の場合、図 2-6 となる。

つぎに、MSS の一走査における平地部での瞬時対地面積 A は飛行直下では式 (2-6) のごとく円形で表わされ、図 2-7 のごとく $\theta \neq 0$ においては楕円形状となる。この楕円の長短軸を $2W_x$, $2W_y$ とし、これを θ と β で関係付けてみる。

$$A_{\theta=0} = \pi h^2 \tan^2 \left(\frac{\beta}{2} \right) \quad (2-2)$$

$$A_{\theta \neq 0} = \pi W_x W_y \quad (2-3)$$

図 2-7 走査角による瞬時対地面積

$$W_x = h \sec \theta_1 \tan \frac{\beta}{2} \quad (2-4)$$

$$W_y = \frac{h}{2} \left\{ \tan \left(\theta + \frac{\beta}{2} \right) - \tan \left(\theta - \frac{\beta}{2} \right) \right\} \quad (2-5)$$

ここに、 $\theta_1 = \tan^{-1} \left\{ \tan \left(\theta + \frac{\beta}{2} \right) + \tan \left(\theta - \frac{\beta}{2} \right) / 2 \right\}$ とする。

瞬時対地面積 A の走査角 θ に対する変化率を求めるために A の近似式を

$$A \doteq \frac{\pi}{2} h^2 \tan \beta \sin \beta \left\{ 1 + \frac{5}{2} \theta^2 - \theta^4 \right\}$$

とおくことができるので、 A の変化率は式 (2-6) となる。

$$\frac{\partial A}{\partial \theta} = \frac{1}{4} \pi h^2 \tan \beta \sin \beta \{ 5\theta - 4\theta^3 \} \quad (2-6)$$

また、ピクセル情報を連続的に抽出するには A が接するべく抽出することになり、 A の中心位置 Y を

 図 2-8 等走査角サンプルと m の Y/h 量

$h \tan(n'\beta)$ で近似したとき、 $n'=1$ におけるサンプル数 m と Y/h の関係は図2-8(a)となる。図2-8(b)は瞬時視死角の飛行直下で示される βh でサンプルした場合の関係を求めたもので (a), (b) の差がスキャナ特性でもある。この特性は MSS 画像を作成するときの補正量として使用できよう。また、比高 Δh を生じた場合にも Y/h の代りに $Y/(h+\Delta h)$ を代入し(a)と(b)の差から補正量が求められる。

2.3 地物の高低差による死角と陰影空間

地物を MSS で走査していくときに地表面が平坦で地物に高低差がない理想平面における対地関係を前節で述べてきた。本節では地表が平坦に近くても人工構築物による凹凸も（近年の高層ビルなどに備えて）考慮する必要があるので直立構築物や地表面・堤防における傾斜をもった地物に対する死角と陰影の相互関係を求めてみる¹⁰⁾。

MSS のミラーが図 2-9 の位置にあり、 O_1, O_2 上に太陽がある場合を想定してみると走査角 θ における死

図 2-9 走査角による死角部分

角地表長 l_θ （スキャナに感知されない部分）は人工構築物の高さ h_0 としたとき次式となる。

$$l_\theta = h_0 \tan \theta \quad (2-7)$$

今、直立構築物の飛行ライン方向の幅は充分長いものとすれば構築物の位置による死角空間 D_θ はスキャナの走査幅 β から式 (2-4) を用いて近似的に式(2-8)を導くことができる。

$$\begin{aligned} D_\theta &\doteq 2(h-h_0)h_0 \sec \theta \tan \frac{\beta}{2} \\ &= 2(h-h_0)h_0^2 \tan \frac{\beta}{2} \cdot \frac{\sin \theta}{\cos^3 \theta} \end{aligned} \quad (2-8)$$

D_θ を θ で微分して変化率を求めると式 (2-9) となる。

$$\frac{dD_\theta}{d\theta} = \alpha_1 \cdot \frac{1 + \sin^2 \theta}{\cos^3 \theta} \quad (2-9)$$

ただし、 $\alpha_1 = 2(h-h_0)h_0^2 \tan \frac{\beta}{2}$ とする。

これらの関係から l_θ/h_0 , D_θ/α_1 , $(1/\alpha_1)dD_\theta/d\theta$ と θ の関係を求め図示すると図2-19 となる。この図から明らかなように $\theta \gg \pi/6$ なる θ においては急激に死角距離と死角空間が増大することがわかる。

図2-10 死角空間の変化率

つぎに太陽光線の位置における影響による死角部と陰影部の影響を調べることにする。

太陽光線が地表垂直方向と γ をなすときの構築物 h_0 による陰影地表距離 l_γ と陰影空間 S_γ の内、 l_γ はセンサーの走査幅においては一様であると近似してもさしつかえない。図2-11(a)は太陽光線が天頂距離 γ のときの陰影の状態を示したもので図2-11(b)は $\gamma < 0$ の場合である。

図2-11 D.S. 空間の断面

$$l_1 = h_0 \tan \gamma \quad (2-10)$$

しからば、 S_1 は式 (2-8) と同様に近似的に式(2-11)となる。

$$S_1 \doteq 2(h-h_0)h_0 l_1 \sec \theta \tan \frac{\beta}{2} = \alpha_2 \sec \theta \quad (2-11)$$

ただし、 $\alpha_2 = 2(h-h_0)h_0^2 \tan \gamma \tan \frac{\beta}{2}$ とする。

S_1 を θ で微分すると

$$\frac{dS_1}{d\theta} = \alpha_2 \cdot \frac{\sin \theta}{\cos^2 \theta} \quad (2-12)$$

式 (2-11) (2-12) から V_1/α_2 , $(1/\alpha_2)dV_1/d\theta$ と θ の関係を求めると図2-12 となる。

図2-11(a) の $Y \geq 0$ において $\theta < \gamma$ では死角空間は陰影空間に含まれ、 $\theta = \gamma$ のとき死角空間と陰影空間(以後 D.S. 空間という)が等しくなる。

$\theta > \gamma$ においては死角空間に陰影空間が含まれるため人工構造物の陰影の影響は全く無く、MSSによる情報抽出に陰の部分に含まれないことになる。 $Y < 0$ の地点においては死角空間と陰影空間は全く相殺することなく人工構造物の陰の影響を受ける。

図2-11(b) は $\gamma < 0$ のときであり Y の符号を逆にすれば上述と同様な傾向となる。したがって、D.S.空間が起りやすい状態は $Y \cdot \gamma < 0$ のときとなる。

つぎに山岳地の斜面や堤防などのように地表水平面より δ を有する地物が存在するときの D.S. 空間について、 l_0 , D_0 , l_1 , S_1 を求めると図2-13 の地形モデルの比高 h_0 に対して

$$\left. \begin{aligned} l'_{\theta > \delta} &= h_0(\tan \theta - \tan \delta) \\ l'_{\theta \leq \delta} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-13)$$

$$\left. \begin{aligned} D'_{\theta > \delta} &= D_0 - 2(h-h_0)h_0^2 \tan \frac{\beta}{2} \tan \delta \cdot \sec \theta \\ D'_{\theta \leq \delta} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-14)$$

図2-12 走査角と陰影率の関係

図2-13 地物傾向と D.S. の距離

$$\left. \begin{aligned} l'_{\gamma > \delta} &= h_0 \tan \gamma - \tan \delta \\ l'_{\gamma \leq \delta} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-15)$$

$$\left. \begin{aligned} S'_{\gamma > \delta} &= S_1 - 2(h-h_0)h_0^2 \tan \delta \cdot \tan \frac{\beta}{2} \sec \theta \\ S'_{\gamma \leq \delta} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-16)$$

地表の地物に傾斜 $\delta (\pi/4 > \delta > 0)$ が存在するとき、式 (2-7) から式 (2-16) において明らかのごとく δ が零に近づくにつれて D.S. 空間は減少することになり走査角 θ と地物の傾斜角 δ とが補角をなすとき D.S. 空間は零となる。さらに太陽光線の入射角 δ の D.S. 空間への影響は Y の正または負のいずれか一方にのみ影響し、他方では死角空間と陰影空間が相殺するため減少することになる。

これらのことから MSS 調査時において $\delta \approx 0$ に近づけると D.S. 空間を最小に近づけることは言うまでもないが、特定の傾斜面の情報を欠かすことなく調査するには D.S. 空間特性を点検することにより可能であり、式 (2-13)~(2-16) などから情報欠損量を算出することができる。

3. MSS の近似的偏位修正理論

MSS の近似的偏位修正理論は G. Konecny, E. Derenyi によって発表されているのでこの理論に基づき述べ、飛行コース再現にはフーリエ級数による近似式から多項展開法の適用を試み、多項式係数の決定には未知係数の個数が多く実用的でないと思われるため、未知数係数を減ずる手法として、未知係数の分散共分散行列に対応するものから相関係数を求め相関性の高い係数の一方を省略する方法を述べる。

(1) 中心投影モデルの幾何学

平面 I と II が中心投影によって 1 対 1 の対応関係にあり、平面 I は空間 x, y, z の xy 平面上に、平面 II は空間 X, Y, Z の XY 平面上にあるものとする。 z, Z 軸は共通、2 空間の原点 0 は共通とする。しからば図 3-1 の中心投影モデルによって 2 平面上の対応関係を示すことができる。この図の x, y, z 軸の回転量を ω, φ, κ 、回転方向は左手座標系にとり各軸の正方向に向

図 3-1 中心投影モデル

って回転したものを正とする。いま平面 I II が平行な場合 $Z = -h, z = -c$ とすると式 (3-1), (3-2) となり、 x, y, z に回転を与えると式 (3-3) となる。

$$X = \frac{x}{z} Z, \quad Y = \frac{y}{z} Z \quad (3-1)$$

$$X_0 = \frac{x}{c} h, \quad Y_0 = \frac{y}{c} h \quad (3-2)$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 0 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{\varphi\omega\kappa} \\ y_{\varphi\omega\kappa} \\ z_{\varphi\omega\kappa} \end{pmatrix} \quad (3-3)$$

上式の $x_{\varphi\omega\kappa}, y_{\varphi\omega\kappa}, z_{\varphi\omega\kappa}$ を写真上の座標 $(x, y, -c)$ に変換して考え、式 (3-1) に代入すると

$$\begin{aligned} X &= \frac{h \{ x (\cos \varphi \cos \kappa + \sin \varphi \sin \omega \sin \kappa) \\ &\quad + y (-\cos \varphi \sin \kappa + \sin \varphi \sin \omega \cos \kappa) \\ &\quad + z (-\cos \varphi \sin \omega \cos \kappa - \sin \varphi \sin \kappa) \\ &\quad + c \sin \varphi \cos \omega \} }{x (\sin \varphi \cos \kappa - \cos \varphi \sin \omega \sin \kappa) \\ &\quad + y \cos \omega \cos \kappa - c \sin \omega \} \\ &\quad + y (-\cos \varphi \sin \omega \cos \kappa - \sin \varphi \sin \kappa) \\ &\quad + c \cos \varphi \cos \omega} \end{aligned} \quad (3-4)$$

いま、 $\varphi\omega\kappa$ に微小量 $d\varphi, d\omega, d\kappa$ を与えたとき式 (3-2) (3-4) の関係から X_0, Y_0 の微小変動量 $\Delta X, \Delta Y$ を式 (3-5) として表わせる。

$$\Delta X = X - X_0, \quad \Delta Y = Y - Y_0 \quad (3-5)$$

$d\varphi, d\omega, d\kappa$ が微小である性質を用いて $\Delta X, \Delta Y$ の近似式を導くと式 (3-6), (3-7) となる。

$$\Delta X = -\frac{h}{c} y d\kappa + h \left(1 + \frac{x^2}{c^2} \right) d\varphi - \frac{h}{c^2} x y d\omega \quad (3-6)$$

$$\Delta Y = \frac{h}{c} x d\kappa + \frac{h}{c^2} x y d\varphi - h \left(1 + \frac{y^2}{c^2} \right) d\omega \quad (3-7)$$

さらに上式を平面 II の座標系で表現すれば式 (3-8) となる⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= -Y d\kappa + h \left(1 + \frac{X^2}{h^2} \right) d\varphi \\ &\quad - \frac{1}{h} X Y d\omega \\ \Delta Y &= X d\kappa + \frac{1}{h} X Y d\varphi - h \left(1 + \frac{Y^2}{h^2} \right) d\omega \end{aligned} \right\} \quad (3-8)$$

上式はMSSの偏位修正の際に重要なものである。

(2) MSS の偏位修正の基礎関係式

MSS の走査鏡は飛行方向の軸に回転する機構のため、地表を飛行方向と直角な帯状で走査する

図 3-2

図 3-3

ことになる。このため、上述の中心投影モデルの関係式は $X=0$ の初期条件においてのみ成立つことになる。図 3-2 は図 3-1 の原点に走査鏡をおき、平面 II に地表面 X, Y を対応させたものである。図 3-3 は陽画面を想定し平面 I と MSS の情報抽出仮想円弧と対応させたものである。この図における点 O を写真測定の投影中心とし、陽画面 y 、画面距離 c とすれば式 (3-9) が成立つ。

$$y' = c \cdot \theta, \quad y = c \tan \theta, \quad Y = h \tan \theta \quad (3-)$$

この Y と $X=0$ を式 (3-8) に代入することにより MSS の飛行直下の関係式 (3-10) をえる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= -h \tan \theta d\kappa + h d\varphi \\ \Delta Y &= -h \{1 + \tan^2 \theta\} d\omega \end{aligned} \right\} \quad (3-10)$$

機上の重心と走査鏡の回転中心とが一致していると仮定すれば、回転中心の平行移動量を db_x, db_y, db_z としたとき、 $\Delta X, \Delta Y$ の移動量は式 (3-11) となる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= (h/c) db_x \\ \Delta Y &= (h/c) db_y + (h/c) \tan \theta db_z \end{aligned} \right\} \quad (3-11)$$

回転量 $d\varphi, d\omega, d\kappa$ と平行移動量 db_x, db_y, db_z の影響を総合して $\Delta X, \Delta Y$ を求めると次式となる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= -h \tan \theta d\kappa + h d\varphi + (h/c) db_x \\ \Delta Y &= -h(1 + \tan^2 \theta) d\omega + (h/c) db_y \\ &\quad + (h/c) \tan \theta db_z \end{aligned} \right\} \quad (3-12)$$

上式の $\tan \theta$ をテーラ展開して第 3 項まで採用し、さらに θ の 5 次以上を省略すると式 (3-12) は式 (3-13) となる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= -h \left(\theta + \frac{1}{3} \theta^3 \right) d\kappa + h d\varphi \\ &\quad + (h/c) db_x \\ \Delta Y &= -h \left(1 + \theta^2 + \frac{2}{3} \theta^4 \right) d\omega + (h/c) db_y \\ &\quad + (h/c) \left(\theta + \frac{1}{3} \theta^3 \right) db_z \end{aligned} \right\} \quad (3-13)$$

さらに、比高 h_0 を考慮すると式 (3-14) をえる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= -(h-h_0) \left(\theta + \frac{1}{3} \theta^3 \right) d\kappa \\ &\quad + (h-h_0) d\varphi + \frac{h-h_0}{c} db_x \\ \Delta Y &= -(h-h_0) \left(1 + \theta^2 + \frac{2}{3} \theta^4 \right) d\omega \\ &\quad + \frac{h-h_0}{c} db_y + \frac{h-h_0}{c} \left(\theta + \frac{1}{3} \theta^3 \right) db_z \end{aligned} \right\} \quad (3-14)$$

ここに、式 (3-9) における $\theta = y'/c$ を式 (3-14) に適用することによって MSS の偏位修正要素による $\Delta X, \Delta Y$ の関係式 (3-15) をえることができる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= -(h-h_0) \left\{ \frac{y'}{c} + \frac{1}{3} \left(\frac{y'}{c} \right)^3 \right\} d\kappa \\ &\quad + (h-h_0) d\varphi + \frac{h-h_0}{c} db_x \\ \Delta Y &= -(h-h_0) \left\{ 1 + \left(\frac{y'}{c} \right)^2 \right. \\ &\quad \left. + \frac{2}{3} \left(\frac{y'}{c} \right)^4 \right\} d\omega + \frac{h-h_0}{c} db_y \\ &\quad + \frac{h-h_0}{c} \left\{ \left(\frac{y'}{c} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{y'}{c} \right)^3 \right\} db_z \end{aligned} \right\} \quad (3-15)$$

ところで飛行軌跡は 3 次元的波形をすると想定できるので偏位修正要素 $d\varphi, d\omega, d\kappa, db_x, db_y, db_z$ を従属関数として飛行時間 t によるフーリエ級数で表現するならば、式 (3-16) の関係が成立つことになる¹³⁾。

$$\left. \begin{aligned} b_x &= a_{0x} + \sum_{k=1}^n (a_{kx} \cos kt + b_{kx} \sin kt) \\ b_y &= a_{0y} + \sum_{k=1}^n (a_{ky} \cos kt + b_{ky} \sin kt) \\ b_z &= a_{0z} + \sum_{k=1}^n (a_{kz} \cos kt + b_{kz} \sin kt) \\ b\varphi &= a_{0\varphi} + \sum_{k=1}^n (a_{k\varphi} \cos kt + b_{k\varphi} \sin kt) \\ d\omega &= a_{0\omega} + \sum_{k=1}^n (a_{k\omega} \cos kt + b_{k\omega} \sin kt) \\ d\kappa &= a_{0\kappa} + \sum_{k=1}^n (a_{k\kappa} \cos kt + b_{k\kappa} \sin kt) \end{aligned} \right\} \quad (3-16)$$

ここで $n=1$ で近似し、飛行時間 t は飛行距離に比例することから、仮想陽画面の x 座標 x' に置き換えることができ、 $\sin t$, $\cos t$ をテーラ展開して第2項まで採用してみると ΔX , ΔY は次式となる。

$$\begin{aligned}\Delta X &= -(h-h_0) \left\{ \left(\frac{y'}{c} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{y'}{c} \right)^3 \right\} \\ &\quad \cdot \{ a_{0\kappa} + a_{1\kappa}x' + a_{2\kappa}(x')^2 + a_{3\kappa}(x')^3 \} \\ &\quad + (h-h_0) \{ a_{0\varphi} + a_{1\varphi}x' + a_{2\varphi}(x')^2 + a_{3\varphi}(x')^3 \} \\ &\quad + \frac{h-h_0}{c} \{ a_{0x} + a_{1x}x' + a_{2x}(x')^2 + a_{3x}(x')^3 \} \\ \Delta Y &= -(h-h_0) \left\{ 1 + \left(\frac{y'}{c} \right)^2 + \frac{2}{3} \left(\frac{y'}{c} \right)^3 \right\} \\ &\quad \cdot \{ a_{0\omega} + a_{1\omega}x' + a_{2\omega}(x')^2 + a_{3\omega}(x')^3 \} \\ &\quad + \frac{h-h_0}{c} \{ a_{0y} + a_{1y}x' + a_{2y}(x')^2 + a_{3y}(x')^3 \} \\ &\quad + \frac{h-h_0}{c} \left\{ \left(\frac{y'}{c} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{y'}{c} \right)^3 \right\} \\ &\quad \cdot \{ a_{0z} + a_{1z}x' + a_{2z}(x')^2 + a_{3z}(x')^3 \} \quad (3-17)\end{aligned}$$

上式は Konecny の2次式をさらに3次まで採用したにすぎない¹⁴⁾。ここで式(3-17)をつぎのように書き改めしてみる。

$$\left. \begin{aligned}\Delta X_i &= b_{1i}a_{0\kappa} + b_{2i}a_{1\kappa} + b_{3i}a_{2\kappa} + b_{4i}a_{3\kappa} \\ &\quad + b_{5i}a_{0\varphi} + b_{6i}a_{1\varphi} + b_{7i}a_{2\varphi} + b_{8i}a_{3\varphi} \\ &\quad + b_{9i}a_{0x} + b_{10i}a_{1x} + b_{11i}a_{2x} \\ &\quad + b_{12i}a_{3x} \\ \Delta Y_i &= e_{1i}a_{0\omega} + e_{2i}a_{1\omega} + e_{3i}a_{2\omega} + e_{4i}a_{3\omega} \\ &\quad + e_{5i}a_{0y} + e_{6i}a_{1y} + e_{7i}a_{2y} + e_{8i}a_{3y} \\ &\quad + e_{9i}a_{0z} + e_{10i}a_{1z} + e_{11i}a_{2z} + e_{12i}a_{3z}\end{aligned} \right\} \quad (3-18)$$

上式を解くには、24個の未知係数を決定する必要がある、MSS によって抽出された地表物体の放射・反射応答波形をそのまま再生したのでは、図3-4(a)の地形格子が図3-4(b)のごとく歪むことになる。この歪補正をするために対地座標点 (X, Y, Z) を地図上で抽出して、MSS の走査方向のレスポンスと対応づけなければならない。

いま MSS のレスポンスを一定速度でフィルム上に焼き付けた MSS 画像 (b) があると仮定するならば、この画像から地図上に対応する位置 (x'_i, y'_i) と地図座標 (X_i, Y_i) の関係を式(3-19)で示すことができる。

$$\left. \begin{aligned}\Delta X_i &= -x'_i \frac{h}{c} + X_i \\ \Delta Y_{ii} &= -y'_i \frac{h}{c} + Y_i\end{aligned} \right\} \quad (3-19)$$

ここで $i=24$ のとき未知係数は一義的に決定され、 $i>24$ なら最小二乗法を適用することになる。

$$\left. \begin{aligned}X &= B \cdot A_1 \\ Y &= E \cdot A_2\end{aligned} \right\} \quad (3-20)$$

$i>24$ のとき記憶容量を多く必要とし、マトリックス

(a) 地表平面

(b) 仮想陽画面

図3-4 走査方向の歪の状態

ス計算に長時間を要することになる。そこで未知係数間の相関係数を求め係数を減少させる方法がある。この方法によれば式(3-21)の正規方程式より式(3-22)の逆軽重率行列 Q を求めることができる。

$$\begin{aligned}[b_i b_1] a_{0\omega} + [b_i b_2] a_{1\omega} + \dots \\ + [b_i b_{24}] a_{3z} = [b_i l]\end{aligned} \quad (3-21)$$

ただし、 $i=1, 2, \dots, 24$ である。

$$Q = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} & \dots & Q_{1k} \\ Q_{21} & & & & \\ \vdots & & & & \\ Q_{k1} & \dots & \dots & \dots & Q_{kk} \end{pmatrix} \quad (3-22)$$

この Q_{ij} より未知係数 $a_{0\omega} \sim a_{3z}$ の相関係数 r_{ij} が式(3-23)から定められる¹⁵⁾。たとえば、 r_{ij} が1に

近いものは未知個数間の影響力がほぼ等しいと考え未知係数の一方を省略する¹⁶⁾。

$$r_{ij} = Q_{ij} / \sqrt{Q_{ii}Q_{jj}} \quad (3-23)$$

上述の ΔX_i , ΔY_i の微小変動量は地上座標に対して求められたものであるから, MSS 画像上の (x', y') を補正して仮想陽画面上の座標 (x, y) に変換しなければならない, これを式 (3-24), (3-25) で行なうことができる。

$$\left. \begin{aligned} x_i &= \Delta X_i \frac{c}{h} + x'_i \\ y_i &= \Delta Y_i \frac{c}{h} + \frac{h-h_0}{h} \text{ctan}\left(\frac{y'_i}{c}\right) \end{aligned} \right\} \quad (3-24)$$

$y' = c\theta$ の関係から式 (3-24) は式 (3-25) となる。

以上の関係式から MSS の走査陽画像があれば, 地図の座標位置などから偏位修正が可能となる。

4. MSS の偏位修正要素の挙動

MSS の偏位修正は, 前節 3 で述べた方法で偏位修正要素 $d\omega$, $d\varphi$, $d\kappa$, db_x , db_y , db_z を決定すれば行なえることが明らかとなった。そこで, 各偏位修正要素の変動が, 対地座標 X , Y に及ぼす影響をモデル実験値により求め, 挙動を調べることにする。

i) ω の影響 (図 4-1 参照)

$\Delta\omega$ による対地座標の微小変動量 ΔX_ω , ΔY_ω は式 (3-13) から次式をえる。

$$\Delta X_\omega = 0, \Delta Y_\omega = -h \left\{ 1 + \theta^2 + \frac{2}{3} \theta^4 \right\} d\omega \quad (4-1)$$

図4-1 スキャナ偏角と ω による Y のズレ量

図 4-2 φ による X のズレ量

図 4-3 κ による X のズレ量

ii) φ の影響 (図 4-2 参照)

式 (3-12) から ΔX , ΔY の φ による影響する項を求めると式 (4-2) となる。

$$\Delta X_\varphi = h d\varphi, \Delta Y_\varphi = 0 \quad (4-2)$$

iii) κ の影響 (図 4-3 参照)

$$\Delta X_\kappa = -h \left(\theta + \frac{1}{3} \theta^3 \right) d\kappa, \Delta Y_\kappa = 0 \quad (4-3)$$

 図4-4 b_x による X のズレ量

 図 4-5 b_y による Y のズレ量

 iv) b_x の影響 (図 4-4 参照)

$$\Delta X_x = (h/c) db_x, \Delta Y_x = 0 \quad (4-4)$$

 図 4-4 における c は 75mm と仮定した場合である。

 v) b_y の影響 (図 4-5 参照)

$$\Delta X_y = 0, \Delta Y_y = (h/c) db_y \quad (4-5)$$

 vi) b_z の影響 (図 4-6 参照)

$$\Delta X_z = 0, \Delta Y_z = (\theta + \theta^3/3) db_z \quad (4-6)$$

 図 4-6 b_z による Y の偏位関係

ここで、従来の写真測量における撮影時の標定要素の制限を考慮しながら走査方向の欠損率と有効走査幅、オーバーラップなどについて次節で検討することにする。

5. 考 察

5.1 偏位修正量とその適用への考察

偏位修正を行なうためには各走査線ごとに修正量を適用しなければならないため、現実に MSS 画像を作成するには、これに対応できるハードウェアが必要とされる。

しかし、現行の MSS 画像再生機は露光光源が直線的にしか移動せず、しかも露光面のフィルム送り速度が飛行速度などに比例して一定である。このため偏位修正をするには従来使用されてきたアフィン変換用機材もしくは写真測量用偏位修正機で MSS 画像を修正する程度が限界とも思われる。さらに、比高に対する考慮も放置されているともいえる。

5.2 走査方向への考察

X, Y, Z 座標の微小回転量 $\Delta\omega, \Delta\phi, \Delta\kappa$ は現空中写真測量では $\pm 3^\circ$ 程度と考えるため、この微小回転量をスキャナに与えた場合での MSS の有効走査幅 W_y を試算してみる。式 (3-13) においてプラットフォームの位置のズレ量は現行の空中写真撮影機の場合、対地高度 h の 5~10% 程度が限度であるから、MSS の調査幅 $W_r = 1.6h$ で与えられるリモートセンサーでは

表 5-1 $W_Y=1.6$ での有効走査幅

h	Y_w
500	574
1000	1148
1500	1722
2000	2296
2500	2870
3000	3444
3500	4018
4000	4592
4500	5166
5000	5740

$(h/c)db_y=0.075h$, $(h/c)(\theta+\theta^3/3)db_z\div 0.06h$ となる。また、 $\Delta\omega=3^\circ$, $\theta=40^\circ$ における ΔY_w は約 $-0.09h$ となる。式 (3-13) の $\Delta Y_{\max}$ は $d\omega<0$, $db_y>0$, $db_z>0$ のときであるから $\Delta\omega=-3^\circ$, $\theta=40^\circ$ での $\Delta Y_{\max}$ を求めると式 (5-1) となる。

$$\Delta Y = -h\left(1+\theta^2+\frac{2}{3}\theta^4\right)d\omega + \frac{h}{c}db_y + \left(\theta+\frac{\theta^3}{3}\right)db_z \div 0.226h \quad (5-1)$$

また、走査有効幅 Y_w 、欠損率 p_y は下式となる。

$$\left. \begin{aligned} Y_w &= 2(W_Y - \Delta Y) \div 1.148h \\ p_y &= \frac{\Delta Y}{W_Y} \times 100 \div 28.3\% \end{aligned} \right\} \quad (5-2)$$

式 (5-2) の対地高度別 Y_w の一例を表 5-1 に示す。

つぎに比高 Δh のある場合は上述の関係式において h の代りに $h+\Delta h$ を代入すればよく $\Delta h/h=0.1$ 程度の地形における Y_w , p_y は $1.102h$, 31.12% となる。これらのことから $\Delta h/h=0.1$ 程度の地形では MSS 画像の両端約 1.5% 程度の欠損を生じる可能性があるといえよう。

これらのことは今後の山岳地での MSS 調査計画に考慮されるべき事項と思われる、有効幅の関係式は注目値に値する。

5.3 飛行方向 X への考察

平地における X のズレ量は式 (3-13) によって与えられた。 ΔX が最大となる条件として、 $\theta=40^\circ$, $d\kappa=2.5^\circ$, $d\varphi=3^\circ$, $db_z/c=0.010$ を与えると $\Delta X=0.097h$ となり撮影高度の約 1 割のズレ量を地上で生ずることになる。

図 5-1 飛行直下の理想的走査法

いま理想的なスキヤニングを想定すると図 5-1 のごとく走査線 $i, i+1, i+2 \dots$ が接する状態のときである。しかし、上述のごとく飛行方向 X にズレ量が存在するため X 方向のオーバーラップを考慮する必要がある。

偏位修正量が零の場合、各走査時間の時間間隔 t は走査鏡が 1 秒間に回転する量 n_0 から $t=1/n_0$ 秒となる。この間に機体は前方に Vt 移動することから、この移動量を瞬時視野角 β で表わすと式 (5-3) となる。

$$V \frac{1}{n_0} = \beta h \quad (5-3)$$

機体が $X=\beta h$ 移動する間に走査鏡が n 回転したと仮定すれば、このときの飛行速度 V_n から式 (5-4) が得られる。

$$\frac{n}{n_0} V_n = \beta h \quad (5-4)$$

MSS 調査時に V/h 比が一定と考えてよいから、飛行高度 h が一定のとき、飛行速度は V/n に減速しなければならないことになる。そこで X 方向のズレ量 ΔX を要するための時間 T とすれば、この間に走査鏡は Tn_0 回転したことになるため欠損部を生じないための条件不等式は次式となる。

$$V_n \leq n_0 \beta h - \{h(\theta+\theta^3/3)d\kappa + h d\varphi + (h/c)db_z\}/T \quad (5-5)$$

上記で定めた $\theta=40^\circ$, $d\kappa=2.5^\circ$, $d\varphi=3^\circ$, $db_z/c=0.01$ の条件下では式 (5-6) となる

$$V_n \leq n_0 \beta h - 0.097h/T \quad (5-6)$$

式 (5-4), (5-6) から n を求めると式 (5-7) となり、この式を満たす n の整数部を採用すればよいことになる。

$$n \geq n_0 \beta / (n_0 \beta - 0.097/T) \quad (5-7)$$

いま、 $\beta=2.5 \text{ mrad}$, $n_0=80$ とすれば n と T の関係は

図 5-2 ΔX における時間とオーバーラップの関係 図 5-3 比高による Δh と n の関係

図 5-2 となる。小型機で $T=7.5$ 秒のものでは $n \geq 1.1$ となる。

つぎに比高 Δh のある場合、 h の代りに $h-\Delta h$ を用いればよく、平地の理想状態では βh に対して $\Delta h\beta$ の欠損部を生じることになる。これらの関係を考慮して比高 Δh とオーバーラップ度数 n の関係を図示すると図 5-3 の結果をえる。通常山岳地では $\Delta h < 0.5h$ と考えてよいから $n=3$ を採用すれば欠損部は生じないことになる。また、平地では $n=2$ を計画すれば充分といえる。

6. 結 語

現行の MSS 画像を偏位修正するための偏位修正理論を G. Konecny の理論を基礎として論述し、偏位修正要素を決定する係数を求める近似式を示してきた。この係数を減少することは連立方程式の元数を減らすことができ処理時間を短縮できる。このために係数間の相関係数の評価法を示した。

つぎに、偏位修正理論から各要素の挙動を調べオーバーラップなどについての考察を加えた。この結果から得られた成果をまとめると下記の通りである。

- i) 中心投影による撮影条件下ではサイドラップ約 30%を必要とし、有効走査幅は 70%程度といえる。
- ii) 飛行方向のオーバーラップは山岳地で 65%程度でよく $n=3$ となる。平地部では $n=2$ となる。

つぎに、D.S. 空間からの結果をまとめると次項となる。

i) 走査角 θ が增大すると地表抽出間隔が $\tan \theta$ で増大することになる。

ii) 死角空間 D_0/α_1 は $|\theta| < 20^\circ$ では 0.13 程度の

変動にとどまるが $\theta > 30^\circ$ になると D_0/α_1 が急増し情報欠損部が増大する。

iii) 陰影空間 S_T は $\sec \theta$ に比例して飛行直下を離れるに従って増大する。この傾向は死角空間の方が顕著に増大することが明らかになった。

iv) D.S. 空間の生じやすい条件は $Y_T < 0$ のときである。

さらに、MSS の機構から今後のハードウェアへの提案を示すと下記の事項となる。

- i) 瞬時視野角 β を小さくするセンサー開発。
- ii) センサーが重力以外の応力を受けないような制御装置の開発。
- iii) センサー応答放射輝度を太陽光線方向と走査角などの要素で補正できる装置の開発。

vi) FM テープのデータをデジタル変換する際、対地座標 Y において等間隔でサンプリングできる装置の開発。

v) 現行のフォトラボなどの MSS 画像作成装置内での改良としては焼付け光源を回転式とし、フィルム上面に濃度補正用グレーフィルタ（両端白色で中心部がグレーのもの）を装備させた器材とすること。

最後に本研究に当りご教示いただいた岡山大学森忠次先生ならびに偏位修正理論の討議に参加して下さい京都大学岡本厚君に対し感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) O.V. Gruber: "Photogrammetry", Chapman & Hall, 1932.
- 2) A.D.N. Smith: "The Explicit Solution of the Single Picture Resection Problem, with A Least Squares Adjustment to Redundant", Photogrammetric Record, Vol. 5, No. 25, 1965, p 113~122.

- 3) E.L. Merritt: "Explicit Three-point Resection in Space", Photogrammetric Engineering, Vol. 15, No. 4, 1949, p 649~665.
- 4) E.E. Derenyi, G. Konecny: "Infrared Scan Geometry", Photogrammetric Engineering, Vol. 32, No. 5, 1966, p 773~778.
- 5) G. Konecny: "Mathematical Models and Procedures for the Geometric Restitution of Remote Sensing Imagery", Congress of the I.S.P., Rep. III-1, 1976. 7, p 1~33.
- 6) 日本国土海洋総合学術診断委員会: "「リモートセンシング技術の利用による国土診断に関連する資料の収集」事業報告書" No.2, 1977. 3, p 79.
- 7) N. Jensen: "Optical and Photographic Reconnaissance Systems", John Wiley and Sons, 1968, p 151
- 8) 和達清夫 (他); "リモートセンシング", 朝倉書店, 1976. 8, p 51.
- 9) 日本国土海洋総合学術診断委員会; "MSS PRE-PRO
CESSING SYSTEM 報告書, 1975. 9, p 29~45.
- 10) A.J. Lewis, W. P. Waite: "Radar Shadow of Frequency" Photogrammetric Engineering, Vol. 39, No.2, 1973 p 189~196.
- 11) B. Hallart: "Photogrammetry", Mc Craw-Hill, 1960, p 125.
- 12) 森忠次, 星仰; "単写真による運動物体測定法", 写真測量, Vol. 8, No. 3, 1969, p 149.
- 13) 森忠次, 星 仰; "調和関数による地形の線情報保管について", 土木学会年次学術講演会講演概要集Ⅳ, 1974 10, p 121~122.
- 14) 前出 3. 5), p 5~8.
- 15) E. Gotthardt; "Einführung in die Ausgleichungsrechnung", Herbert Wichman Verlag, 1968, p 45~89.
- 16) 岡本 厚; "二媒質写真測量の標定理論とその適用に関する基礎的研究", p 83.

(1977. 11. 29 受理)